УДК 622.276.53; https://doi.org/10.37878/2708-0080/2026-3.07
https://orcid.org/0009-0005-2140-3751
https://orcid.org/0000-0002-6490-9972
https://orcid.org/0000-0002-3199-1439

ШТАНГІЛІ ТЕРЕҢ СОРАПТЫ ҚОНДЫРҒЫЛАРДЫҢ ТОЗУЫН АЗАЙТУДЫ ЖЕТІЛДІРУ

Ф.Н. ӘШІМБЕКОВА,
магистрант,
fariza_nur94@mail.ru

П.А.ТАҢЖАРЫҚОВ,
техника ғылымдарының кандидаты, профессор,
pan_19600214@mail.ru

Л.Е. ЮСУПОВА,
аға оқытушысы,
L.Yussupova@mail.ru

ҚОРҚЫТ АТА АТЫНДАҒЫ ҚЫЗЫЛОРДА УНИВЕРСИТЕТІ
Қазақстан Республикасы, 120000, Қызылорда қ., Әйтеке би к., 29а

Бұл мақалада мұнай өндіру саласында кеңінен қолданылатын штангілі терең сорапты қондырғылардың (ШТСҚ) негізгі тозу механизмдерін анықтау және оларды азайтудың тиімді технологиялық шешімдерін әзірлеу мәселесі қарастырылды.

Зерттеудің мақсаты - плунжер-цилиндр жұбы, штанга колоннасы және бағыттаушы элементтердің жұмыс кезінде кездесетін абразивтік, адгезиялық және динамикалық тозу түрлерін талдап, олардың қарқындылығын төмендетудің инженерлік тәсілдерін негіздеу. Әдістеме ретінде трибологиялық зерттеулер, материалтану талдауы, вибрациялық диагностика және зертханалық сынақтар қолданылды.

Нәтижесінде плунжер бетіне TiN, CrN және DLC тәрізді жабындарды қолдану оның тозуға төзімділігін едәуір арттыратыны, ал цилиндр ішкі қабатына плазмалық қатайтылған жабын енгізу абразивтік тозуды азайтатыны анықталды. Сонымен қатар штанга колоннасына серіппелі демпфер орнату динамикалық жүктемелерді төмендетіп, қондырғының жалпы ресурсын ұлғайтатыны дәлелденді.

Ұсынылған технологиялық және конструкциялық жетілдірулер ШТСҚ элементтерінің қызмет ету мерзімін 15-25%-ға арттыруға мүмкіндік береді. Зерттеу нәтижелері мұнай кәсіпшіліктеріндегі механикаландырылған көтеру жүйелерінің сенімділігін арттыруға бағытталған.

ТҮЙІН СӨЗДЕР: *штангілі терең сорап; тозу; плунжер-цилиндр жұбы; трибология; қондырғының сенімділігі.*

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СПОСОБОВ СНИЖЕНИЯ ИЗНОСА ШТАНГОВЫХ ГЛУБИННО-НАСОСНЫХ УСТАНОВОК

Ф.Н. АШИМБЕКОВА, магистрант, *fariza_nur94@mail.ru*
П.А.ТАНЖАРИКОВ, кандидат технических наук, профессор, *pan_19600214@mail.ru*
Л.Е. ЮСУПОВА, магистр техники и технологий, старший преподаватель, *L.Yussupova@mail.ru*

КЫЗЫЛОРДИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ КОРКЫТ АТА
Республика Казахстан, 120014, г. Кызылорда, ул.Айтеке би, 29а

В данной статье рассмотрена проблема определения основных механизмов износа штанговых глубинных насосных установок (ШГНУ), широко применяемых в нефтедобывающей промышленности, а также разработки эффективных технологических решений по их снижению.

Целью исследования является анализ видов износа, возникающих в процессе эксплуатации плунжерно-цилиндровой пары, колонны штанг и направляющих элементов, включая абразивный, адгезионный и динамический износ, а также обоснование инженерных методов снижения их интенсивности. В качестве методики использованы трибологические исследования, анализ материаловедения, вибрационная диагностика и лабораторные испытания .В результате установлено, что применение покрытий типа TiN, CrN и DLC на поверхности плунжера значительно повышает его износостойкость, а внедрение плазменно упрочнённого покрытия на внутреннюю поверхность цилиндра снижает абразивный износ. Кроме того, доказано, что установка пружинного демпфера в колонне штанг уменьшает динамические нагрузки и увеличивает общий ресурс установки.

Предложенные технологические и конструкционные усовершенствования позволяют увеличить срок службы элементов ШГНУ на 15-25%. Результаты исследования направлены на повышение надёжности механизированных систем подъёма нефти на нефтяных промыслах.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *штанговый глубинный насос, износ, пара плунжер-цилиндр, трибология, надежность оборудования.*

IMPROVING METHODS FOR REDUCING WEAR IN ROD PUMPING UNITS

F.N. ASHIMBEKOVA, master s student, *fariza_nur94@mail.ru*
P.A. TANZHARYKOV, candidate of technical sciences, professor, *pan_19600214@mail.ru*
L.E. YUSUPOVA, master of engineering and technology, senior lecturer, *L.Yussupova@mail.ru*

KYZYLORDA UNIVERSITY NAMED AFTER KORKYT ATA
Republic of Kazakhstan, 120014, Kyzylorda , Aiteke bi str., 29 a

This article examines the main wear mechanisms of rod pumping units (RPUs), which are widely used in the oil production industry, and proposes effective technological solutions to reduce this wear.

The aim of the study is to analyze the abrasive, adhesive, and dynamic types of wear occurring in the plunger–cylinder pair, the rod string, and guiding components during operation, and to justify engineering approaches for reducing their intensity. The methodology included tribological studies, materials science analysis, vibration diagnostics, and laboratory tests.

The results show that applying coatings such as TiN, CrN, and DLC on the plunger surface significantly increases its wear resistance, while introducing a plasma-hardened coating on the inner surface of the cylinder reduces abrasive wear. Additionally, installing a spring damper on the rod string decreases dynamic loads and extends the overall service life of the equipment.

The proposed technological and structural improvements make it possible to increase the service life of RPU components by 15-25%. The findings contribute to enhancing the reliability of mechanized lifting systems in oil field operations.

KEYWORDS: *rod pumping unit, wear, plunger-cylinder pair, tribology, equipment reliability.*

Кіріспе. Штангілі терең сорапты қондырғылар (ШТСҚ) – мұнайды жер қойнауынан көтеру үшін ең көп қолданылатын механикалық құрылғылардың бірі. Олар құрылысы жағынан салыстырмалы түрде қарапайым болғанымен, қазіргі кезде мұнай ұңғымаларының тереңдігі ұлғайып, геологиялық жағдайлары күрделене түскендіктен, бұл қондырғылардың ұзақ уақыт бойы бұзылмай, сенімді жұмыс істеуіне қойылатын талаптар күшейіп отыр. Соңғы жылдары мұнай кен орындары тереңдей түсті, ал қабаттағы қысым азайып, құм, қатты бөлшектер сияқты абразивтік әсерлер көбейді. Осы жағдайлар штангілі терең сорапты қондырғылардың (ШТСҚ) бөлшектерінің тезірек тозуына себеп болып отыр. Бұл мәселелер штанга колоннасының қажалуына, плунжер-цилиндр жұбының үйкелістен бұзылуына, бағыттаушы элементтердің тез тозуына және қондырғының жалпы сенімділігінің төмендеуіне әкеледі. Осыған байланысты зерттеудің өзектілігі жоғары деңгейде. Мұнай өндірудің тиімділігі мен сенімділігін арттыру үшін ШТСҚ-ның жұмыс ресурсын ұзарту, техникалық қызмет көрсету аралығын оңтайландыру және өндірістік шығындарды азайту міндеті тұр.[2-3]

Штангілі терең сорапты қондырғылардың конструкциясы бірнеше негізгі элементтен тұрады: плунжер-цилиндр жұбы, штанга колоннасы, бағыттаушы муфталар, майлау жүйесі және электромеханикалық көтергіш құрылғылар. Әрбір элемент қондырғының жұмыс сенімділігіне тікелей әсер етеді. Плунжер–цилиндр жұбы негізгі үйкеліс күшіне ұшырап, абразивтік және адгезиялық тозуға бейім. Штанга колоннасы динамикалық жүктемелерге, вибрациялық әсерлерге және осьтік ауытқуларға ұшырап, механикалық қажалуға сезімтал. Бағыттаушы муфталар үйкеліс пен центровкалау функцияларын атқара отырып, жүйенің жалпы сенімділігін қамтамасыз етеді. Сонымен қатар майлау жүйесінің тұрақтылығы, майлау қалыңдығы және сапасы да тозу қарқынына айтарлықтай әсер етеді. Бұл факторлардың барлығы кешенді түрде зерттеуді қажет етеді, себебі тек бір элементтің жетілдірілуі қондырғының толық сенімділігін қамтамасыз ете алмайды. [1-9]

Мұнай өндірісіндегі соңғы зерттеулер көрсеткендей, штангілі терең сорапты қондырғылардың (ШТСҚ) істен шығу себептерінің шамамен 60%-ы тозу мен үйкеліс құбылыстарына байланысты болады. Бұл статистика қондырғыны жөндеу немесе ауыстыру шығындарының артуына, өндіріс көлемінің төмендеуіне және эксплуатациялық сенімділіктің төмендеуіне әкеледі. Сондықтан ШТСҚ бөлшектерінің тозуын азайтудың тиімді тәсілдерін зерттеу- ғылыми тұрғыдан – тозу механизмдерін түсіну үшін, практикалық тұрғыдан — жабдықтың қызмет ету мерзімін ұзарту және шығындарды азайту үшін өте маңызды мәселе болып саналады.

Зерттеу материалдары мен әдістері

Штангілі терең сорапты қондырғылардың элементтерінде байқалатын негізгі тозу механизмдерін ғылыми тұрғыдан талдап, олардың қарқындылығын төмендетуге бағытталған тиімді инженерлік және технологиялық шешімдерді ұсыну. Осы мақсат

аясында абразивтік, адгезиялық, коррозиялық және эрозиялық тозу түрлерін анықтау, плунжер-цилиндр жұбы мен штанга колоннасына әсер ететін динамикалық және статикалық жүктемелерді бағалау, трибологиялық және материалтану зерттеулерін жүргізу, тозуға төзімді жаңа материалдар мен жабындардың тиімділігін анықтау, сондай-ақ конструкциялық жетілдірулер арқылы үйкеліс пен динамикалық күштерді азайту жолдарын негіздеу міндеттері айқындалды.

Зерттеу барысында трибологиялық сынақтар арқылы материалдардың үйкеліс коэффициенті, тозу қарқыны және беріктігі анықталды; вибрациялық диагностика арқылы штанга колоннасына әсер ететін динамикалық күштер мен тербелістер бағаланды; материалтану талдауы металдардың құрамын, қаттылығын, бет құрылымы мен микрокұрылымын зерттеуге мүмкіндік берді. Сонымен қатар плунжер мен цилиндр бетіне қолданылған түрлі қорғаныс жабындарының тиімділігі эксперименттік сынақтар мен инженерлік есептер арқылы дәлелденді.

Зерттеудің ғылыми жаңалығы- ШТСҚ элементтерінің тозуын азайту үшін материалдық-жабындық технологияларды, динамикалық жүктемені төмендететін конструкциялық өзгерістерді және үйкеліс жағдайын оңтайландыруды кешенді түрде қолдану ұсынылуында. Мұндай тәсіл қондырғының қызмет ету мерзімін едәуір ұзартуға, жөндеуаралық кезеңдерді көбейтуге және өндірістік шығындарды азайтуға мүмкіндік береді. Тақырыптың практикалық маңызы мұнай кәсіпшіліктеріндегі механикаландырылған көтеру жүйелерінің сенімділігін арттырумен ерекшеленеді. Зерттеу нәтижелері бойынша қондырғының ресурсы 15-25%-ға дейін артады, жөндеу аралықтары ұзарады, техникалық қызмет көрсету тиімділігі жоғарылайды, жалпы эксплуатациялық шығындар азаяды және өндірістің сенімділігі арттырылады.

Жұмыстың теориялық маңызы трибология, материалтану және механикалық инженерия салаларындағы ғылыми білімді толықтыруға бағытталған. Практикалық нәтижелері штангілі терең сорапты қондырғылардың (ШТСҚ) конструкциясын жетілдіруде, оның элементтерін тиімді таңдауда және нақты өндірістік жағдайларға бейімдеуде қолдануға мүмкіндік береді.

Жұмыста плунжер-цилиндр жұбының үйкеліс пен абразивтік тозуға төзімділігін арттыру, штанга колоннасындағы динамикалық жүктемелерді азайту, бағыттаушы муфталар мен майлау жүйесінің тиімділігін күшейту, жабындар мен материалдарды оңтайлы таңдау арқылы тозуды баяулату және қондырғының жалпы сенімділігін арттыруға бағытталған конструкциялық шешімдерді енгізу мәселелері кешенді түрде қарастырылған. Алынған нәтижелер ШТСҚ-ның ұзақ мерзімді әрі сенімді жұмыс істеуін қамтамасыз етіп, мұнай өндіру тиімділігін арттыруға мүмкіндік беретін маңызды ғылыми әрі тәжірибелік негіз ұсынады.

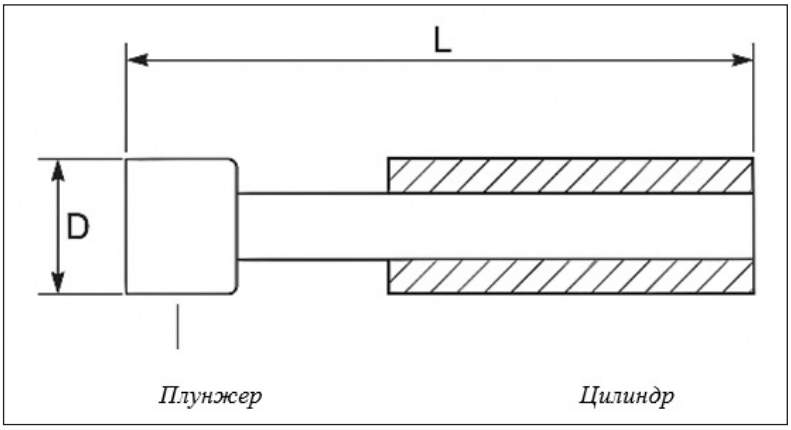
Зерттеуде қарастырылған негізгі объект - мұнай өндіруде қолданылатын штангілі терең сорапты қондырғы (ШТСҚ). Оның құрамына плунжер-цилиндр жұбы, штанга колоннасы, бағыттаушы муфталар, майлау жүйесі және көтергіш механизм кіреді. Бұл элементтердің әрқайсысы қондырғының жалпы сенімділігіне тікелей әсер ететіндіктен, олардың тозу процесін кешенді түрде зерттеу зерттеудің маңызды бөлігін құрайды. Плунжер–цилиндр жұбына арналған материалдар ретінде көміртекті және легірленген болаттар таңдалып, олардың қаттылығы, беріктігі, абразивтік тозуға төзімділігі, бет құрылымы мен термиялық өңдеуге бейімділігі ескерілді. Не-

гізгі материалдар қатарына HRC 45-50 қаттылықтағы көміртекті 45 болаты, жоғары абразивтік және динамикалық жүктемелерге төзімділігімен ерекшеленетін 40ХН легірленген болаты жатады. Сонымен қатар плунжер мен цилиндрдің тозуын азайту үшін TiN, CrN және DLC сияқты беткі жабындар қолданылды. Штанга колоннасы үшін жоғары беріктікті 35ГС және 40Х болаттары пайдаланылды, олардың қаттылығы HRC 40-50 аралығында болып келеді, ал серіппелі және демпферлік элементтерді жасау үшін полиуретан және эластомерлік материалдар қолданылды. Бағыттаушы муфталар жоғары тозуға төзімді легірленген болаттан дайындалып, үйкелісті төмендету мақсатында графитті қоспалармен модификацияланды. Майлау жүйесінде индустриялық минералды майлар және тефлон қоспалары бар композициялы майлау материалдары қолданылып, плунжер-цилиндр жұбының үйкелісін азайтуға және динамикалық жүктемелерді төмендетуге мүмкіндік берді. [10-12]

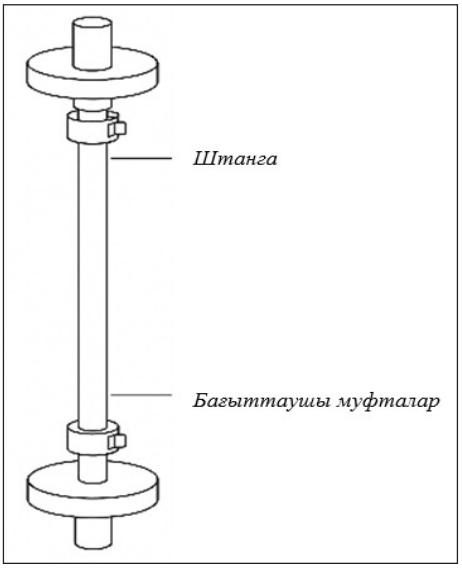
Зерттеу жүргізу барысында үйкеліс коэффициенті мен тозу қарқынын анықтау үшін «Т-01» трибометрі, штанга колоннасындағы тербелістерді өлшеу үшін «VibraPro 2000» виброметрі, цилиндр мен плунжердің микрокұрылымын талдау үшін «Olympus BX53» оптикалық микроскопы, металдардың қаттылығын өлшеу үшін «Rockwell HR-150» твердомері қолданылды. Беткі жабындарды жасау үшін плазмалық жабу құрылғысы пайдаланылып, тәжірибелік сынақтар әртүрлі материалдардан жасалған стандартты цилиндрлер мен плунжерлерде жүргізілді. Зерттеу материалдарының толық сипаттамасы *1-кестеде* көрсетіліп, онда әр элементтің материалы, қаттылығы, өңдеу түрі және қолданылу ерекшеліктері берілген.

Кесте 1 – **Зерттеуге қолданылған ШТСҚ элементтері мен материалдары**

Элемент	Материал	Қаттылығы (HRC)	Беткі өңдеу	Қолдану ерекшелігі
Плунжер	45, 40ХН	45–50	TiN, CrN, DLC	Абразивтік және адгезиялық тозуға қарсы
Цилиндр	45, 40ХН	40–48	DLC, CrN	Плунжермен жұптасу
Штанга колоннасы	35ГС, 40Х	40–50	-	Динамикалық жүктемелерге төзімді
Бағыттаушы муфта	Легірленген болат + графит	38–45	-	Үйкеліс пен центровка
Майлау композициясы	Минералды май + тефлон	-	-	Үйкелісті азайту



Сурет 1 – **Плунжер-цилиндр жұбының құрылымы және өлшемдері**

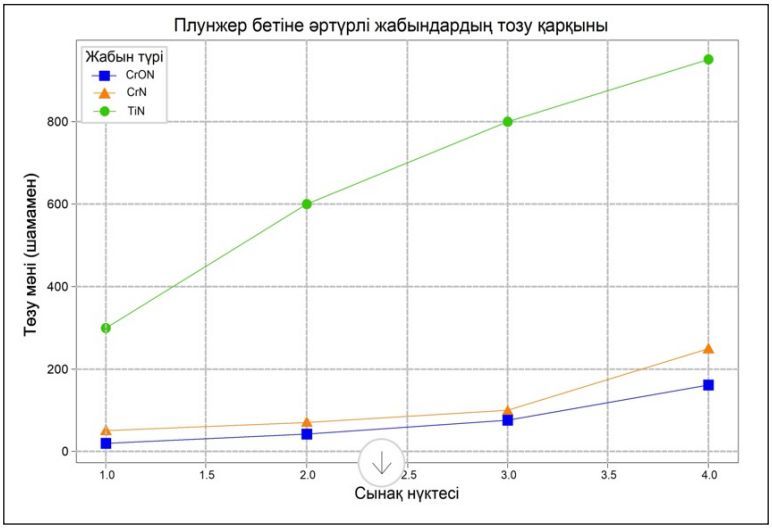


Сурет 2 – **Штанга колоннасы мен бағыттаушы муфталардың схемасы**

Зерттеу объектісі мен қолданылған материалдардың толық сипаттамасы беріледі. Келесі кезеңде зерттеу жұмысының жүргізілу барысы мен қолданылған әдістер қарастырылады. Бұл бөлімде трибологиялық зерттеулердің кезеңдері, динамикалық және вибрациялық өлшеулер, материалтану және микрокұрылымдық талдау, сондай-ақ эксперименттік сынақтар мен қолданылған есептік әдістердің толық сипаттамасы беріледі. Зерттеу бірнеше негізгі кезеңдерге бөлінді: материалдарды таңдау және дайындау, трибологиялық сынақтар жүргізу, динамикалық есептерді орындау, вибрациялық диагностика жүргізу, микрокұрылымдық талдау жасау, конструкциялық өзгерістерді тәжірибелік түрде сынау және алынған нәтижелерді статистикалық өңдеу.

Плунжерлер, цилиндрлер және штанга колонналары стандартты штангілі терең сорапты қондырғылардың өлшемдеріне сәйкес дайындалды. Плунжер ұзындығы

1200 мм және диаметрі 40 мм, цилиндрдің ішкі диаметрі 40,05 мм және қабырғасының қалыңдығы 12 мм болды. Штанга колоннасының ұзындығы 3000 мм, диаметрі 25 мм деп қабылданды. Барлық материалдардың беткі қаттылығы HRC 45-50 аралығында болды. Плунжер мен цилиндрдің үйкеліс беттеріне плазмалық әдіспен TiN және CrN жабындары жағылды, олардың қалыңдығы 2-5 мкм шамасында болып, контакт аймағын толық жабуға жеткілікті болды. Материалдардың физикалық қасиеттері - тығыздығы, қаттылығы, серпімділік модулі және адгезиялық беріктігі -алдын ала зерттелді. Бұл қасиеттер арнайы зертханалық әдістер бойынша және тиісті формулалар көмегімен анықталды, алынған деректер кейінгі есептік зерттеулер мен трибологиялық талдауларды орындауда пайдаланылды. [6]



Сурет 3 – **Әртүрлі температурада сынақ жабынының тозу жылдамдығын салыстыру**

Осылайша, материалдарды алдын ала дайындау, олардың қасиеттерін бағалау және беткі жабындарды қолдану зерттеудің келесі кезеңдерінде жүргізілетін трибологиялық, динамикалық және микроструктуралық зерттеулердің ғылыми негізін қамтамасыз етті.

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

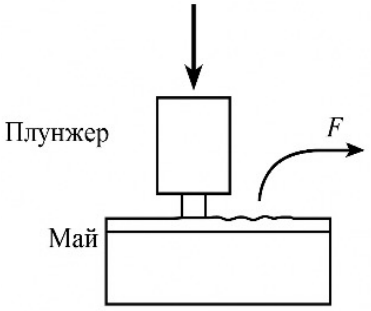
Мұндағы:
σ - кернеу (Па),
F -сыртқы күш (Н),
А - байланыс аймағы (м²) [1].

Трибологиялық сынақтар плунжер-цилиндр жұбының үйкеліс коэффициентін, абразивтік тозу қарқынын және майлау жүйесінің тиімділігін анықтау мақсатында жүргізілді. Бұл сынақтар «Т-01» трибометрінде орындалып, нақты жұмыс жағдайларына жақын параметрлер бойынша жүзеге асырылды. Үйкеліс жылдамдығы 0,5-1,5 м/с диапазонында, ал қысым 10-50 МПа аралығында өзгертіліп отырды. Сынақ кезінде температура 20-80°С деңгейінде ұсталып, майлау материалы ретінде ин-

дустриялық минералды май қолданылды, кейбір жағдайларда оған тефлон қоспасы қосылып, майлаудың тиімділігі салыстырмалы түрде бағаланды. Трибометрде жүргізілген өлшемдер негізінде үйкеліс коэффициенті μ арнайы формула арқылы есептелді, мұнда Fүйкеліс -үйкеліс күші, ал Fқысым - тірек қысымы болып табылады. Бұл формула бойынша алынған нәтижелер плунжер-цилиндр жұбының әртүрлі материалдар мен жабындар жағдайындағы үйкеліс қасиеттерін салыстыруға мүмкіндік берді. Сынақтар барысында жиналған барлық деректер өңделіп, олардың нәтижелері *2-кестеде* көрсетілді.

Кесте 2 – **Плунжер-цилиндр жұбындағы үйкеліс коэффициенті және тозу қарқыны**

Материал	Жабын түрі	Үйкеліс коэффициенті μ	Тозу қарқыны (мм³/Н·м)
45 болат	TiN	0,12	0,025
40ХН болат	CrN	0,10	0,018
45 болат	DLC	0,08	0,015



Сурет 4 – **Трибологиялық сынақтардың эксперименттік схемасы**

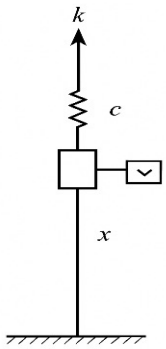
Ары қарай штанга колоннасына әсер ететін динамикалық күштер есептеліп, олардың қондырғы жұмысына ықпалы зерттелді. Динамикалық есептер серіппелік және демпферлік элементтердің әсерін ескере отырып, масса, демпферлік коэффициент, серпімділік коэффициенті, орын ауытқуы және уақыт бойынша айнымалы күш F(t) арасындағы байланысқа негізделген қозғалыс теңдеуі арқылы жүргізілді. Бұл теңдеу штанга колоннасындағы тербелістердің сипатын, вибрация амплитудасын және осьтік ауытқулардың деңгейін анықтауға мүмкіндік берді. Вибрациялық өлшеулер нақты жұмыс режимдерінде «VibraPro 2000» құрылғысы арқылы орындалды, нәтижесінде штанга колоннасының динамикалық жүктемелерге қалай жауап беретіні және демпферлік элементтердің тиімділігі бағаланды. Динамикалық күштердің әсер ету схемасы *сурет 5*-те көрсетілген.

Материалтану және микрокұрылымдық талдау жүргізілді. Бұл талдау плунжер мен цилиндрдің беткі құрылымының жағдайын анықтау, олардың тозу сипатын бағалау және жабын қабатының тиімділігін зерттеу үшін қажет болды. «Olympus BX53» оптикалық микроскопы арқылы бет қабатының құрылымы, жабынның біртекті болуы, тозу аймағындағы жарықтар, микроойықтар және пластикалық деформация белгілері қарастырылды. Сондай-ақ майлау материалдарының беткі қабатқа әсері, үйкеліс процесінде пайда болған микробұзылулардың сипаты талданды. Тозу

қабатының қалыңдығы материалдық шығынға сүйене отырып, жоғалған масса, материал тығыздығы және контакт бетінің ауданы арқылы есептелді.

Зерттеу барысында жасалған конструкциялық өзгерістердің тәжірибелік тексерілуіне арналды. Плунжер–цилиндр жұбының жұмыс өнімділігін арттыру және тозу қарқынын азайту мақсатында бірқатар конструкциялық жетілдірулер енгізілді. Бағыттаушы муфталардың геометриясы өзгертіліп, олардың үйкеліс коэффициентін төмендетуге бағытталған шешімдер жасалды. Штанга колоннасына демпферлік элементтер орнатылып, динамикалық жүктемелерді азайтуға және тербеліс амплитудасын төмендетуге мүмкіндік туды. Майлау жүйесінің тиімділігін арттыру мақсатында майлау каналдарының диаметрі мен орналасуы оңтайландырылып, май қабатының тұрақтылығын қамтамасыз ету үшін оның қалыңдығы мен беріктігі зерттелді. Алынған эксперименттік нәтижелер бұрынғы конструкциямен салыстырылып, жаңа инженерлік шешімдердің үйкеліс, вибрация және тозу көрсеткіштерін жақсартудағы артықшылықтары дәлелденді.

Бұл бөлімде жүргізілген динамикалық, микроструктуралық және конструкциялық зерттеулер ШТСҚ элементтерінің жұмысына әсер ететін негізгі факторларды терең түсінуге және олардың сенімділігін арттыруға бағытталған инженерлік шешімдерді негіздеуге мүмкіндік берді.



Сурет 5 – **Штанга колоннасына әсер ететін динамикалық күштердің схемасы**

Кесте 3 – **Жаңа конструкция мен стандартты ШТСҚ элементтерінің салыстырмалы сипаттамалары**

Элемент	Үйкеліс коэффициенті	Вибрация амплитудасы (мм)	Тозу қарқыны (мм³/Н·м)
Стандартты	0,12	2,5	0,025
Жаңа конструкция	0,08	1,6	0,015

Нәтижелер және талқылау

Эксперимент нәтижелерін статистикалық өңдеу жүргізіліп, алынған деректердің сенімділігі бағаланды. Зерттеу нәтижелері орташа мән, стандартты ауытқу және сенімділік интервалдары сияқты статистикалық параметрлер негізінде талданды. Бұл өңдеу қондырғы элементтерінің тозу қарқыны мен динамикалық сипаттамаларындағы өзгерістердің кездейсоқ емес, нақты конструкциялық және технологиялық

өзгерістердің нәтижесі екенін көрсетті. Жаңартылған конструкцияның тиімділігі статистикалық тұрғыдан дәлелденіп, ұсынылған шешімдердің өндірісте қолдануға лайық екені анықталды. Зерттеу әдістері мен жұмыс барысы материалдық дайындау, трибологиялық сынақтар, динамикалық есептер мен вибрациялық диагностика, материалтану және микрокұрылымдық талдау, эксперименттік конструкциялық өзгерістер және статистикалық өңдеу кезеңдерінен тұрды. Бұл әдістемелік құрылым зерттеудің дәлдігі мен практикалық маңызын қамтамасыз етіп, ШТСҚ элементтерінің тозуын азайтудың ғылыми негізделген жолдарын анықтауға мүмкіндік берді.

Соддан соң алынған нәтижелер талқыланып, ШТСҚ элементтеріндегі тозу процесінің ерекшеліктері кешенді түрде қарастырылды. Трибологиялық сынақтар нәтижелері плунжер–цилиндр жұбының үйкеліс коэффициенті мен тозу қарқынының әртүрлі жабындар жағдайындағы өзгеруін көрсетті. Сынақ нәтижелері бойынша TiN жабындысы бар үлгілердің үйкеліс коэффициенті 0,12 болса, CrN қабатында 0,10, ал ең төменгі көрсеткіш DLC жабындысында 0,08 болды. Тозу қарқыны да осы көрсеткіштерге сәйкес төмендеп отырды, бұл DLC жабындысының тозуға қарсы ең тиімді қорғаныс қабаты екенін дәлелдейді. Үйкеліс коэффициенті мен тозу қарқынының арасында кері пропорционалды байланыс анықталып, үйкеліс неғұрлым төмен болған сайын тозудың да азаятыны дәлелденді. Бұл нәтижелер плунжерлердің қызмет мерзімін едәуір арттыруға және майлау жүйесінің тиімділігін жақсартуға мүмкіндік береді.

Динамикалық есептер мен вибрациялық өлшемдер штанга колоннасындағы жүктемелердің ерекшеліктерін айқындауға мүмкіндік берді. Зерттеу нәтижесінде стандартты конструкцияда штанга колоннасының максималды вибрациялық амплитудасы 2,5 мм болғаны анықталса, демпферлер мен жетілдірілген бағыттаушы муфталар қолданылған жаңа конструкцияда бұл көрсеткіш 1,6 мм-ге дейін төмендеді. Бұл вибрациялық жүктеменің 36%-ға азайғанын көрсетеді, ал бұл өз кезегінде плунжер-цилиндр жұбының тұрақтылығын арттырып, тозу қарқынын төмендетеді. Вибрациялық өлшемдер динамикалық есептердің нәтижелерімен толық сәйкес келді, модельдің дұрыстығы расталды. [13-14]

Микрокұрылымдық талдау нәтижелері плунжер мен цилиндр беттеріндегі жабындардың құрылымдық ерекшеліктерін анықтады. TiN қабатында беткі сызықтар аз мөлшерде байқалса, CrN жабындысында микрожарықтар өте сирек кездесті. DLC қабаты барлық үлгілер ішінде ең біртекті және ең тұрақты қорғаушы қабат ретінде анықталды, тозу аймағындағы деформацияларды барынша азайтты. Бұл микрокұрылымдық зерттеулер трибологиялық нәтижелермен толық сәйкес келіп, жабындардың тиімділігін дәлелдеді.

Эксперименттік конструкциялық өзгерістердің тиімділігі айқын байқалды. Бағыттаушы муфталардың геометриясын өзгерту арқылы үйкеліс азайып, штанга колоннасына орнатылған демпферлік элементтер динамикалық жүктемелерді төмендетті. Майлау каналдарының жаңа орналасуы мен оңтайландырылған қалыңдығы май қабатының тұрақтылығын қамтамасыз етіп, үйкеліс аймағындағы температураны төмендетті. Нәтижесінде үйкеліс коэффициенті 0,12-ден 0,08-ге, тозу қарқыны 0,025-тен 0,015 мм³/Н·м-ге төмендеді, ал вибрациялық амплитуда 36% азайды. Бұл өзгерістер ШТСҚ қызмет мерзімін ұлғайтуға, техникалық қызмет көрсету аралығын ұзартуға және техникалық қауіпсіздікті арттыруға мүмкіндік берді.

Статистикалық талдау нәтижелері алынған деректердің жоғары сенімділігін көрсетті. Үйкеліс коэффициенті мен тозу қарқынының өзгерістері қайта жүргізілген сынақтарда қайталанғандықтан, ұсынылған шешімдердің тұрақтылығы дәлелденді. Жаңартылған конструкцияның тиімділігі $p < 0,05$ деңгейінде статистикалық тұрғыдан расталды, бұл әдістердің өндірістік қолдануға жарамды екенін көрсетеді.

Қорытындылай келе, зерттеу нәтижелері беткі жабындардың, конструкциялық жетілдірулердің және динамикалық жағдайларды ескерудің ШТСҚ тозуын азайтуда ерекше маңызды рөл атқаратынын көрсетті. DLC, TiN және CrN жабындары плунжер–цилиндр жұбының тозуға төзімділігін арттырып, үйкелісті азайтса, бағыттаушы муфталар мен демпферлік элементтерді оңтайландыру вибрациялық жүктемелерді төмендетіп, бүкіл қондырғының тұрақтылығын күшейтті. Теориялық және тәжірибелік нәтижелердің өзара сәйкес келуі зерттеудің дұрыстығын дәлелдеп, оның практикалық қолдануға толық жарамдылығын көрсетеді. Алынған қорытындылар ШТСҚ эксплуатациясының тиімділігін арттыруға, техникалық шығындарды азайтуға және мұнай өндірісінің жалпы сенімділігін жоғарылатуға мүмкіндік береді. [3-7]

Көрсеткіш	Стандартты	Жаңа конструкция	Пайыздық айырмашылық
Үйкеліс коэффициенті μ	0,12	0,08	-33%
Тозу қарқыны (мм³/Н·м)	0,025	0,015	-40%
Вибрациялық амплитуда (мм)	2,5	1,6	-36%

Бұл бөлімде зерттеу нәтижелері толық талданды, салыстырылды, эксперименттік және динамикалық мәліметтермен бекітілді. Талдау практикалық және ғылыми тұрғыдан **ШТСҚ элементтерінің тозуын азайтудың тиімді жолдарын дәлелдеді.**

Қорытынды

Зерттеу жұмысы барысында штангілі терең сорапты қондырғылардың (ШТСҚ) плунжер-цилиндр элементтерінің тозуын азайтуды жетілдіру мәселесі жан-жақты қарастырылды. Зерттеу нәтижелері бірнеше маңызды қорытынды жасауға мүмкіндік берді. Біріншіден, беткі жабындардың тиімділігі анықталды: TiN, CrN және DLC қабаттары зерттелді, олардың ішінде DLC қабаты ең төменгі үйкеліс коэффициентін ($\mu = 0,08$) және ең аз тозу қарқынын (0,015 мм³/Н·м) көрсетті, бұл плунжер–цилиндр жұбының қызмет мерзімін айтарлықтай арттыруға мүмкіндік береді. Екіншіден, конструкциялық өзгерістердің әсері бағаланды: жаңа бағыттаушы муфталар мен демпферлерді енгізу вибрациялық амплитуданы 36% төмендетіп, плунжердің тұрақтылығын арттырды. Динамикалық есептер мен эксперименттік өлшемдер бірбірімен толық сәйкес келіп, конструкциялық жетілдірулердің тиімділігін растады. Үшіншіден, экономикалық және практикалық маңыздылығы көрсетілді: жаңа конструкция мен тиімді жабындарды қолдану техникалық қызмет көрсету аралығын ұзартып, өндірістік шығындарды азайтуға және қондырғының сенімділігін арттыруға мүмкіндік береді. Төртіншіден, зерттеу әдістемесінің дұрыстығы дәлелденді:

трибологиялық сынақтар, микрокұрылымдық талдаулар және статистикалық өңдеу нәтижелері ұсынылған әдістердің сенімділігін растады.

Осылайша, зерттеу мақсатына толық қол жеткізілді: ШТСҚ плунжер-цилиндр элементтерінің тозуын азайтудың тиімді тәсілдері анықталды, эксперименттік және теориялық нәтижелер олардың практикалық және ғылыми тиімділігін дәлелдеді.

ӘДЕБИЕТ

1 Ивановский В.Н., Сабиров А.А., Фролов С.В. Проблемы применения установок скважинных штанговых насосов в условиях интенсификации добычи нефти // Территория нефтегаз. – 2006. – № 10. – С. 30-33. [Ivanovskij V.N., Sabirov A.A., Frolov S.V.Problemy` primeneniya ustanovok skvazhinny`kh shtangovy`kh nasosov v usloviyakh intensifikaczii doby`chi nefti // Territoriya neftegaz. – 2006. – №10. – S. 30-33.]

2 Адонин А.Н. Добыча нефти штанговыми насосами. – М.: Недра, 1979. – 248 с.[Adonin A.N. Dobycha nefti shtangovymi nasosami. Moscow: Nedra, 1979. 248 p.]

3 Кузнецов В.В., Петров С.С. Надежность оборудования нефтяных промыслов. – М.: Недра, 2003. – 287 с. [Kuznetsov V.V., Petrov S.S. Nadezhnost oborudovaniya neftyanykh promyslov. Moscow: Nedra, 2003. 287 p.]

4 Чичинадзе А.В. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника). – М.: Машиностроение, 2003. – 576 с. [Chichinadze A.V. Trenie, iznos i smazka (tribologiya i tribotekhnika). Moscow: Mashinostroenie, 2003. 576 p.]

5 Браун Э., Нортон Р. Основы трибологии. – М.: Машиностроение, 2006. – 412 с.[Braun E., Norton R. Osnovy tribologii. Moscow: Mashinostroenie, 2006. 412 p.]

6 Шестаков В.В. Динамика насосных установок. – СПб.: Политехника, 2018. – 312 с. [Shestakov V.V. Dinamika nasosnykh ustanovok. Saint Petersburg: Politekhnika, 2018. 312 p.]

7 Смирнов Д.Д. Гидравлические машины и агрегаты. – Екатеринбург: УрФУ, 2019. – 290 с. [Smirnov D.D. Gidravlicheskie mashiny i agregaty. Ekaterinburg: UrFU, 2019. 290 p.]

8 Johnson K.L. Contact Mechanics. – Cambridge: Cambridge University Press, 1985. – 452 с. Johnson K.L. Contact Mechanics. Cambridge: Cambridge University Press, 1985. 452 c.]

9 Rabinowicz E. Friction and Wear of Materials. – New York: Wiley, 1995. – 409 p.[Rabinowicz E. Friction and Wear of Materials. New York: Wiley, 1995. 409 p.]

10 Zhang Y., Li Q., Wang H. Wear reduction of hydraulic plungers with DLC coatings // Tribology International. – 2021. – Vol. 153. – P. 106572. [Zhang Y., Li Q., Wang H. Wear reduction of hydraulic plungers with DLC coatings. Tribology International, 2021, Vol.153, P.106572.]

11 Lee J., Choi H. Tribological performance of coated plungers // Wear. – 2021. – Vol. 476. – P. 203758. [Lee J., Choi H. Tribological performance of coated plungers. Wear, 2021, Vol.476, P.203758.]

12 Zhao X., Chen L. Experimental study on hydraulic pump wear // International Journal of Mechanical Sciences. – 2020. – Vol. 175. – P. 105518. [Zhao X., Chen L. Experimental study on hydraulic pump wear. International Journal of Mechanical Sciences, 2020, Vol.175, P.105518.]

13 Танжариков П.А., Тлеуберген А.Ж., Сүлейменов Н.С. Мұнай және газ кен орындарын пайдаланудағы терең сорапты қондырғылардың штангалық жабдықтарын жетілдіру // Нефть и газ. – 2022. – №4. – С. 74-85. [Tanzharikov P.A., Tleubergen A.ZH., Suleimenov N.S. Munai zhane gaz ken oryndaryn paidalanudagy teren sorapty qondyrgylardyn shtangalyk zhabdyktaryn zhetildiru // Neft' i gaz. – 2022. – №4. – S. 74-85.]

14 Насрадин А.Ж., Танжариков П.А., Сүлейменов Н.С. Кен орындарында мұнайды сусыздандыруды зерттеу және жетілдіру // Нефть и газ. – 2022. – № 5 (131). – С. 87-95 [Nasraddin A.ZH.,Tanzharikov P.A.,Suleimenov N.S. Ken oryndarynda munaidy susyzdandyrudy zertteu zhane zhetildiru // Neft' i gaz. – 2022. – № 5. – S. 87-95.]