

УДК 622.276; <https://doi.org/10.37878/2708-0080/2025-6.05>  
<https://orcid.org/0009-0008-5451-0010>  
<https://orcid.org/0000-0002-6490-9972>  
<https://orcid.org/0000-0001-8768-3286>

## МҰНАЙ ӨНДІРУГЕ АРНАЛҒАН БҰРАНДАЛЫ СОҒЫЛАР ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫН ЖЕТІЛДІРУ



**А.Б. МАКАШЕВ,**  
магистрант,  
[aidosh\\_mk@mail.ru](mailto:aidosh_mk@mail.ru)



**П.А. ТАНЖАРИКОВ,**  
техника ғылымдарының  
кандидаты, Инжинирингтік  
технологиялар БББ  
профессоры,  
[pan\\_19600214@mail.ru](mailto:pan_19600214@mail.ru)



**А.Т. ЕРЖАНОВА,**  
аға оқытушы, магистр,  
[erzhanova.ng@mail.ru](mailto:erzhanova.ng@mail.ru)

КОММЕРЦИЯЛЫҚ ЕМЕС АКЦИОНЕРЛІК ҚОҒАМ «ҚОРҚЫТ АТА АТЫНДАҒЫ  
ҚЫЗЫЛОРДА УНИВЕРСИТЕТІ»,  
Қазақстан Республикасы, 120000, Қызылорда қ., Әйтеке би к., 29 а.

Бұл мақалада мұнай ұңғымаларында әлем бойынша кеңінен қолданысқа ие болған бұрандалы сорап қондырғыларының (PCP – Progressive Cavity Pump) пайдалану барысында кездесетін негізгі эксплуатациялық, техникалық проблемалары, олардан туындайтын жағымсыз салдар, проблемаларды шешудің негізгі жолдары, бұрандалы сорап қондырғыларының жұмыс сенімділігіне әсер етуші түрлі факторлар және үйкеліс пен тозуды азайтатын наноқаптамалардың (титан нитридi, хром нитридi, Diamond-Like Carbon, титан-алюминий нитридi) негізгі пайдалану қасиеттері, технологияны енгізу нәтижелері, артықшылықтары талданады. Сонымен қатар наноқаптамаларды жасаудың қазіргі таңдағы инновациялық технологиялары (физикалық буландыру және конденсация әдісі, химиялық буландыру арқылы шөгінді қабат алу, жоғары энергиялы плазма арқылы металл бетіне наноқабат енгізу) қарастырылған. Наноқаптамамен қапталған және қапталмаған бұрандалы сорап қондырғыларының пайдалану көрсеткіштерінің өзгерісі салыстырылады. Шетелдік мұнай кәсіпорындарының кен орындағы тәжірибелер салыстырылып, наноқаптамалардың тиімділігіне қатысты сораптардың нақты өндірістік көрсеткіштері кесте және график түрінде келтірілген. Зерттеу нәтижелері наноқаптамалардың қызмет мерзімін 1,5–3 есеге арттыратынын, сенімділікті жоғарылататынын және жөндеуаралық жұмыс уақытын айтарлықтай ұзартатынын көрсетті. Сондай-ақ инновациялық саланың мұнай өндіру ешеніндегі болашақ технологиялық даму перспективалары ұсынылады.

**ТҮЙІН СӨЗДЕР:** бұрандалы сорап қондырғысы, наноқаптама, наноқұрылымдық қаптама, инновациялық бағыт, үйкеліс, тозу, коррозия.

## УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ВИНТОВЫХ НАСОСОВ ДЛЯ НЕФТЕДОБЫЧИ

**А.Б. МАКАШЕВ**, магистрант, [aidosh\\_mk@mail.ru](mailto:aidosh_mk@mail.ru)

**П.А. ТАНЖАРИКОВ**, кандидат технических наук, профессор, [pan\\_19600214@mail.ru](mailto:pan_19600214@mail.ru)

**А.Т. ЕРЖАНОВА**, магистр технических наук, старший преподаватель, [erzhanova.ng@mail.ru](mailto:erzhanova.ng@mail.ru)

НЕКОММЕРЧЕСКОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
«КЫЗЫЛОРДИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. КОРКЫТ АТА»,  
Республика Казахстан, 120000, г. Кызылорда, ул. Айтеке би 29 а

*В данной статье рассмотрены основные эксплуатационные и технические проблемы, возникающие при использовании винтовых насосных установок (PCP – Progressive Cavity Pump), которые получили широкое распространение в нефтяных скважинах по всему миру. Проанализированы возникающие вследствие этих проблем нежелательные последствия, основные пути их решения, различные факторы, влияющие на надежность работы винтовых насосов, а также ключевые эксплуатационные свойства нанопокровтий (нитрид титана, нитрид хрома, Diamond-Like Carbon, нитрид титана-алюминия), уменьшающих трение и износ. Описаны результаты внедрения этих технологий и их преимущества. Кроме того, рассмотрены современные инновационные технологии нанесения нанопокровтий (методы физического испарения и конденсации, получение осадочных слоев методом химического испарения, нанесение нанослоя на металлическую поверхность с использованием высокотемпературной плазмы).*

*Сравнены изменения эксплуатационных показателей винтовых насосов с нанопокровтием и без него. Представлены результаты полевых испытаний зарубежных нефтяных компаний, а также реальные производственные показатели насосов в виде таблиц и графиков, подтверждающие эффективность нанопокровтий. Результаты исследования показывают, что применение нанопокровтий увеличивает срок службы оборудования в 1,5–3 раза, повышают надежность и значительно удлиняет межремонтный период работы. Также предложены перспективы дальнейшего технологического развития инновационного направления в нефтедобывающем комплексе.*

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** винтовая насосная установка, нанопокровтие, наноструктурное покрывание, инновационное направление, трение, износ, коррозия.

## IMPROVEMENT OF CAVITY PUMP TECHNOLOGIES FOR OIL PRODUCTION

**A.B. MAKASHEV**, master degree's student, [aidosh\\_mk@mail.ru](mailto:aidosh_mk@mail.ru)

**P.A. TANZHARIKOV**, candidate of technical sciences, professor, [pan\\_19600214@mail.ru](mailto:pan_19600214@mail.ru)

**A.T. ERZHANOVA**, master of technical sciences, senior lecturer, [erzhanova.ng@mail.ru](mailto:erzhanova.ng@mail.ru)

NON-COMMERCIAL JOINT STOCK COMPANY «KYZYLORDA UNIVERSITY  
NAMED AFTER KORKYT ATA»  
29a, Aiteke bi Street, Kyzylorda, 120000, Republic of Kazakhstan

*This article examines the main operational and technical issues encountered during the use of Progressive Cavity Pump (PCP) installations, which are widely employed in oil wells worldwide. The study analyzes the undesirable consequences arising from these issues, the key approaches to solving them, various factors influencing the operational reliability of PCP systems, as well as the essential performance characteristics of nanocoatings (titanium nitride, chromium nitride,*

*Diamond-Like Carbon, titanium–aluminum nitride) that reduce friction and wear. The results of implementing these technologies and their advantages are also described. In addition, the article reviews modern innovative technologies for applying nanocoatings, including physical vapor deposition and condensation, chemical vapor deposition, and the introduction of nanoscale layers onto metal surfaces using high-energy plasma.*

*Changes in operational performance indicators of PCP installations with and without nanocoatings are compared. Field test results from foreign oil companies are presented, along with actual production performance data of the pumps in the form of tables and graphs demonstrating the effectiveness of nanocoatings. The study findings show that nanocoatings increase equipment service life by 1.5–3 times, enhance reliability, and significantly extend run time between overhauls. The article also proposes future technological development prospects for the innovative sector within the oil extraction industry.*

**KEYWORDS:** *progressive cavity pump, nanocoating, nanostructured coating, innovation, friction, wear, corrosion.*



**К іріспе.** Бұрандалы сорап – ротор (металл бұранда) мен статордан (эластомер қапталған корпус) тұратын көлемдік сорап. Ротор айналған кезде сұйықтық камерадан камераға жылжып, ұңғыманың түбінен жер бетіне көтеріледі.

Бұрандалы сорап қондырғылары жүйелерінің ерекшелігі:

- тұтқырлығы жоғары мұнайды өндіруге бейім;
- құм, газ, судың жоғары мөлшерінде де жұмыс істей алады;
- механикалық қарапайымдылығы жоғары, бірақ тозуға сезімтал.

Бұрандалы сорап қондырғылары – жоғары тұтқырлықтағы, механикалық қоспалары көп және газ факторы жоғары қабат сұйықтығын өндіруде әлемдік мұнай-өндіруде ең тиімді технологиялардың бірі. Алайда олардың қызмет ету мерзімін шектейтін негізгі фактор – ротор мен статордың интенсивті абразивтік және коррозиялық тозуы [1].

Бұрандалы сорап қондырғыларын пайдаланудағы негізгі мәселелер төмендегідей:

Механикалық тозу - мұнай мен газ құрамында түрлі қышқылдар болуы мүмкін, олар сораптың метал бөліктеріне зиян келтіреді. Мұндай коррозиялық әсер бұрандалы сораптың беріктігін төмендетеді.

Газ факторының әсері - газдың қосылуы сұйықтықтың тығыздығын төмендетеді, бұл бұрандалы сораптың жұмысын қиындатуы мүмкін. Нәтижесінде сораптың көтеру қабілеті төмендейді.

Құм мен қатты бөлшектердің әсері - сораптың бұрандасының бетінде қатты бөлшектердің немесе құмның үйкелісінен туындайды және бұл құм сораптың жұмысына теріс әсер етеді.

Температуралық және химиялық әсерлер - жер бетінде және ұңғыманың тереңдігінде температураның өзгеруі, сораптың металл бөліктерінің кеңеюі мен жиырылуына әкеліп, олардың механикалық тозуына себеп болады [2].

Төмендегі суретте (сурет 1) тозуға ұшыраған сорап эластомерлері мен статорлары көрсетілген.

Жоғарыда аталған мәселелердің әсерінен жағымсыз салдар туындайды.

Сораптың тозуы оның жұмыс қуатын төмендетеді, нәтижесінде мұнайды көтеру тиімділігі азаяды. Сорап тиімділігі 15–30% төмендейді.



Сурет 1 – Тозуға ұшыраған бұрандалы сорап эластомерлері мен статорлары

Энергия шығынының артуы - механикалық тозу сораптың басқа жүйелеріне де әсер етуі мүмкін, бұл қосымша шығындарға және жөндеу уақытын ұлғайтуға әкеледі.

Жөндеуаралық кезеңнің қысқаруы - тозған сорапты жиі ауыстыру немесе жөндеу қажет болады, бұл өндірістік шығындарды арттырады [3].

Мұнай өндірудің тұрақсыздығы - сораптың белгілі бір бөліктері тек газды көтеріп, мұнайды көтеру тиімділігі төмендейді. Бұл жағдайда сорап «сұйықтықсыз жұмыс істейді», нәтижесінде оның жұмыс қабілеттілігі айтарлықтай төмендейді.

Төмендегі суретте (сурет 2) тозуға ұшыраған сорап роторлары көрсетілген.



Сурет 2 – Тозуға ұшыраған бұрандалы сорап роторлары

Жағымсыз әсерлерді азайту немесе баяулату үшін көптеген шешімдер бар. Олардың негізге түрлері келесідей:

Материалдарды жетілдіру (тозуға төзімді жабындар, жаңа эластомерлер) - жоғары берікті материалдар мен коррозияға төзімді жабындар пайдалану.

Газ әсерін азайту - ұңғымадан газды бөлектеп алу үшін сепараторлар орнату. Газ-сұйықтық қоспасын реттеп, қысым өзгерістерін дұрыс бақылау сораптың жұмысын оңтайландырады.

Құм мен қатты бөлшектерге қарсы шаралар (құм тұтқыштар) - мұнай мен газды шығару процесінде құм мен қатты бөлшектерді сүзу үшін алдын ала сүзгілер орнату.

Жетек жүйесін жетілдіру – қабат сұйықтығының ерекшеліктерін ескере отырып сораптың қосалқы бөлшектерін дұрыс таңдау және модификация жасау.

Мониторинг және диагностика жүйесін енгізу - сораптың жұмыс жүктемесін дұрыс реттеп, артық жүктемелерден аулақ болу [4].

### **Зерттеу материалдары мен әдістері**

Соңғы жылдары үйкелісті азайтатын нанокұрылымды жабындар ротордың беткі қасиеттерін жақсарту арқылы бұрандалы сорап қондырғылары жүйелерінің сенімділігін едәуір арттыратыны дәлелденді. Үйкеліс пен тозуды азайту бағытында наноқаптамаларды қолдану – тиімді шешімдердің бірі болып табылады. Наноқап-

тама — бұл қалыңдығы 10–100 нанометр шамасындағы қатты әрі берік қорғаныш қабат [5]. Ол металл бетінде:

- үйкелісті азайтады;
- коррозияға төзімділікті арттырады;
- температуралық және механикалық әсерлерге қарсы тұрады.

Наноқаптамалардың тиімділігі олардың құрылымы мен физика-химиялық қасиеттеріне тікелей байланысты. Зерттеулер көрсеткендей, ротор бетіне салынған қатты көміртекті және нитридті наноқабаттар ғылыми механизмдер арқылы тозуды төмендетеді.

Наноқаптамаларды жасау үшін нанокұрылымды материалдар, жабындарға наноқоспаларды енгізу үшін түрлі химиялық және физикалық әдістер қолданылады. Бұл қоспалар олардың құрылымын өзгертеді және құрылымы толығымен немесе ішінара нанобөлшектерден жасалған жабындардың қажетті қасиеттерін қамтамасыз етеді [6].

Наноқаптамаларды қалыптастырудың әртүрлі әдістері бар:

Қорытпаға қатты аморфты фазаның қосылуы кристаллит өлшемін азайтады және, тиісінше,  $TiAlN+Si$ ,  $TiMoN+Si$  және  $TiCrN$  сияқты нанокұрылымды материалдарды шығарады;

- ауыспалы наноқабаттармен көпқабатты жабындарды қолдану;
- мозаикалық катодтарды жоғары жылдамдықпен шашырату арқылы нанокұрылымдарды қалыптастыру;
- иондық сәулелерді қолдану арқылы нанокұрылымдарды қалыптастыру.

Төмендегі кестеде (кесте 1) қаптама түрлері және олардың негізгі қасиеттері мен артықшылықтары көрсетілген [7].

Кесте 1 – Наноқаптама түрлері және олардың негізгі қасиеттері мен артықшылықтары

Қаптама түрі	Негізгі қасиеттері	Артықшылықтары
TiN (титан нитриді).	Қаттылығы жоғары, тозуға төзімді.	Ротор бетінің қызмет мерзімін 2–3 есе ұзартады.
CrN (хром нитриді).	Коррозияға қарсы қорғаныс береді. Жоғары температура мен үйкеліс жағдайында тұрақты.	Тозуға қарсы әсері жоғары.
DLC (Diamond-Like Carbon) [5]	Үйкеліс коэффициенті төмен, энергия үнемдейді. Алмазтекес құрылым, өте төмен үйкеліс коэффициенті	Энергия шығынын азайтады, беттердің қызуын төмендетеді
TiAlN (титан-алюминий нитриді)	Ауыр жүктемелерге арналған. Жоғары температураға төзімді	Энергия шығынын азайтады, беттердің қызуын төмендетеді

Қазіргі таңда кеңінен тарап жатқан әдістердің бірі PVD (Physical Vapor Deposition) — бұл затты вакуумда бұға айналдырып, оны субстраттың бетіне жұқа қабат етіп түсіретін технология. Бұл әдісте вакуумда негізге алынған жабынның бетінен материалды буландырып, кейіннен оның төменгі бетке конденсациялау

арқылы жұқа жабын алу мақсатында пайдаланады [8]. PVD әдісімен көптеген материалдардан жұқа пленкалар түсіруге болады, соның ішінде металдар, керамика, шыны және полимерлер. Қабатты түсірер алдында субстраттың беті майсыздандырылады, тазартылады, ал кейде термиялық өңдеуден немесе жылтыратудан өткізіледі. Дайындалған субстрат вакуумдық камераға орналастырылады. Камерадағы қысым атмосфералық қысымнан әлдеқайда төмендетіледі. Қабат түсірілетін материал (мысалы, хром, титан) бұға айналдырылады. Бұл үшін шашырату, электронды-сәулелік немесе термиялық булану әдістері қолданылады. Буланған атомдар немесе молекулалар вакуумдық камера арқылы қозғалады. Бұл процесте кейде оттегі немесе азот сияқты газдармен реакция жүреді. Булар субстраттың бетіне жетеді, содан кейін біркелкі және жұқа пленкаға айналып, субстратқа бекиді. Бұл пленканың қалыңдығы әдетте 0,25 микроннан 4 микронға дейін болады. Қабат түсіру аяқталғаннан кейін, қапталған бөлшекте қосымша өңдеулер жүргізілуі мүмкін, мысалы, бет сапасын жақсарту үшін жылтырату [9].

CVD (Chemical Vapor Deposition) — химиялық буландыру арқылы шөгінді қабат алу әдісі де жиі қолданылады. Бұл газ тәрізді прекурсорларды пайдаланып, субстрат бетіне қатты материалдың жұқа қабатын түсіру процесі. Бұл әдіс арнайы камерада жүзеге асырылады, онда газды қоспасы қызып, ыдырап, қажетті қатты материал қабатын түзеді [10]. CVD процесі арқылы тозуға төзімді, химиялық тотығуға қарсы және басқа да қажетті қасиеттері бар жоғары сапалы жабындар алынады. Құрамында қажетті элементтері бар газ тәрізді прекурсорлар арнайы камераға жіберіледі. Камера ішіндегі жоғары температура прекурсорларды ыдыратады, бұл элементтер субстрат бетіне түсіп, химиялық реакцияға түседі немесе бір-бірімен бірігеді. Реакция нәтижесінде қажетті қатты материал қабаты субстрат бетіне біркелкі түседі. Реакциядан пайда болған газ тәрізді қалдықтар камерадан шығарылып, арнайы жүйелермен тазартылады. Бұл әдістің бірнеше артықшылықтары бар: біркелкі, жоғары сапалы жұқа қабаттарды түсіреді; күрделі геометриялық пішіндердің ішкі беттеріне дейін жабын түсіре алады; әр түрлі материалдар мен жабындарды жасауға мүмкіндік береді; металл бөлшектерді агрессивті заттардан қорғайды [11].

Тағы бір әдістің түрі плазмалық ионды бүрку — жоғары энергиялы плазма арқылы металл бетіне наноқабат енгізу. Плазмалық-ионды бүрку — вакуумдық камерада жүргізілетін процесс. Онда материал буланып, плазма күйіне өтеді, кейін электр өрісінің әсерінен иондар жылдамдатылып, өңделетін беттің үстіне жоғары энергиямен соғылады. Соның нәтижесінде субстрат бетіндегі атомдармен химиялық-металлургиялық байланыстар түзіліп, өте қатты, тозуға төзімді жабын қалыптасады. Бұл әдістер ротордың болат бетіне жұқа, бірақ өте қатты және тегіс қорғаныш қабат түзуге мүмкіндік береді [12].

### **Нәтижелер және талқылау**

Жоғарыда көрсетілген әдістер қажетті нәтижеге жетуіне байланысты пайдаланылады. Плазмалық-ионды бүрку — бұрандалы сораптардың сенімділігін арттыратын ең тиімді наноқаптама технологияларының бірі. Ол бұрандалы сорап ротор бетінің беріктігін күшейтіп, үйкелісті азайтады, коррозия мен абразив тозуды төмендетеді. CVD әдісі арқылы юұрандалы сорап роторының беріктігін, тозуға төзімділігін, сыртқы ортаға және коррозияға төзімділігін арттырады. PVD әдісі қабықтың

беріктігін, тозуға төзімділігін және сыртқы түрін жақсартады. Бұл технологияларды енгізу экономикалық тұрғыдан тиімді, себебі ұңғымада жұмысқа жарамсыз сораптың істен шығып тұрып қалу уақыты мен жөндеу шығындары бірнеше есе азаяды. Наноқаптама қолданылған роторлар үйкеліс коэффициентін 40–60% төмендетеді, қызмет ету мерзімі 2–3 есеге дейін артады, сораптың жөндеу аралық кезеңі 25–30% ұзарады. Төмендегі кестеде (кесте 2) наноқаптамамен қапталған және қапталмаған роторлардың салыстырмалы көрсеткіштері келтірілген [13].

**Кесте 2 – Наноқаптамамен қапталған және қапталмаған роторлардың салыстырмалы көрсеткіштері**

Көрсеткіш	Қаптамасыз	Наноқаптамамен
Үйкеліс коэффициенті	0.35–0.40	0.10–0.15
Тозу қарқыны	100%	30–40%
Қызуға төзімділік	Орташа	Жоғары
Жұмыс мерзімі	1000 сағат	2500–3000 сағат

Көрсетіліп тұрған кестеден роторларды наноқаптамалармен қаптау өте тиімді және бірнеше есе көп артықшылықтары бар екендігін байқауға болады. Көрсеткіштер кем дегенде 2,5 еседен бастап 3 есеге дейін жақсарғандығы дәлелденген.

Зерттеу барысында алынған нәтижелерден абразивтік тозу жылдамдығы, үйкеліс шығыны есептелінді.

Үйкелістен туындайтын қуат шығыны:  $P_f = F_f \cdot v$ , мұнда:

- $F_f = \mu \cdot N$  – үйкеліс күші
- $\mu$  – үйкеліс коэффициенті
- $N$  – нормаль күш, Н
- $v$  – ротордың сырғу жылдамдығы, м/с

Берілгендер:

- $N=480$
- $v=1,8$  м/с

Қаптамасыз ротор:

$$\mu=0,38$$

$$P_{f1}=0,38 \cdot 480 \cdot 1,8=328 \text{ Вт}$$

DLC қаптамамен:

$$\mu=0,12$$

$$P_{f2}=0,12 \cdot 480 \cdot 1,8=103 \text{ Вт}$$

Жалпы үнемдеу:

$$\Delta P=328-103=225 \text{ Вт}$$

Наноқаптама үйкеліс энергиясы шығынын 225 Вт-қа ( $\approx 69\%$ ) қысқартады.

Бұрандалы сорап роторының тозу қарқыны (Archard wear law):  $Q = k \cdot \frac{W \cdot L}{H}$ , мұнда:

$Q$  – тозу көлемі, мм<sup>3</sup>  
 $k$  – тозу коэффициенті  
 $W$  – үйкеліс күші, Н  
 $L$  – сырғанау ұзындығы, м  
 $H$  – материал қаттылығы, МПа

Қаптамасыз ротор үшін:

$$K = 3 \cdot 10^{-3}$$

$$W = 520 \text{ Н}$$

$$L = 2,3 \cdot 10^6 \text{ м (1000 сағат жұмыс үшін)}$$

$$H = 6 \text{ ГПа} = 6000 \text{ МПа}$$

$$Q_{\text{қаптамасыз}} = 3 \cdot 10^{-3} \cdot (520 \cdot 2,3 \cdot 10^6 / 6000)$$

$$Q_{\text{қаптамасыз}} \approx 598 \text{ мм}^3$$

DLC қаптамамен:

$$\text{DLC қаттылығы: } H = 22 \text{ ГПа} = 22000 \text{ МПа}$$

Тозу коэффициенті төмендейді:  $k = 0,6 \cdot 10^{-3}$

$$Q_{\text{DLC}} = 0,6 \cdot 10^{-3} \cdot (520 \cdot 2,3 \cdot 10^6 / 22000)$$

$$Q_{\text{DLC}} \approx 33 \text{ мм}^3$$

Нәтиже: DLC қаптамасы ротор тозуын  $\approx 18$  есе азайтады

Төмендегі кестеде (кесте 3) әлемдік компаниялардың наноқаптамаларды пайдалану тәжірибелері мен олардың нәтижелері көрсетілген.

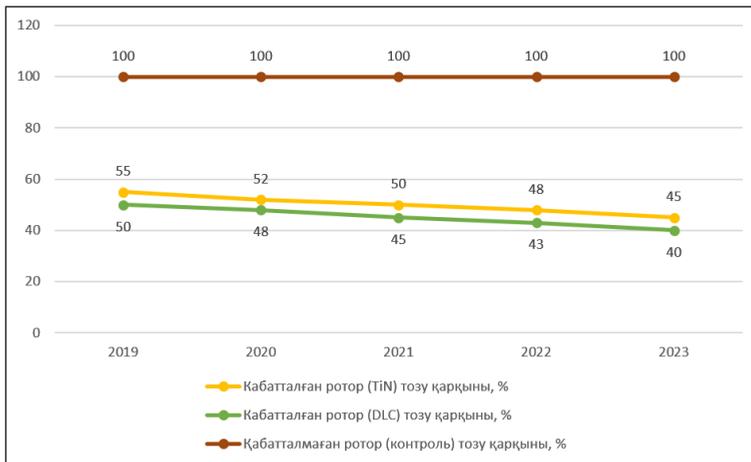
**Кесте 3 – Әлемдік компаниялардың наноқаптамаларды пайдалану тәжірибелері мен олардың нәтижелері [14]**

Ел / компания	Наноқаптама түрлері	Нәтиже
Канада (Kudu Pumps)	DLC наноқаптама	Құм мөлшері жоғары ұңғымаларда ротордың тозуы 2,5 есе азайды
Ресей (Tatneft, Lukoil)	TiN және CrN қабаттары	қызмет мерзімі 1,7 есе артты
Қытай (CNPC)	Нанокерамикалық жабын	Ыстық және тұтқыр ортада коррозия 50% азайды

Жалпылай алғанда әлем бойынша пайдаланылып жатқан наноқаптамалардың түрлері жыл санап жетілдіріліп келе жатыр. Салыстырмалы түрде алғанда наноқаптамаларды пайдалану жас әдістердің қатарына жатады [15].

Төмендегі суретте (сурет 3) TiN, DLC наноқаптамамен қапталған және қапталмаған роторлардың тозу қарқынының салыстырмалы графигі көрсетілген.

Кестеде ең басты көзге түсетіні тозу қарқынының жыл санап төмен түсіп келуі. Оның басты себептерінің бірі – жаңа технологиялардың жыл санап дамып, сапасының арта түсуі. Тозу қарқынының төмен түсу трендінің болашақта жалғасу мүмкіншілігі жоғары.



Сурет 3 – TiN, DLC наноқаптамамен қапталған және қапталмаған роторлардың тозу қарқынының салыстырмалы кестесі

### Қорытынды

Жұмыста бұрандалы сорап қондырғыларының өндірісте кездесетін негізгі проблемаларының шешу жолы – наноқаптамаларды пайдалану қарастырылған. Бұрандалы сораптың роторлары мен статорларына наноқаптамаларды қолдану — Қазақстанның мұнай өндіру өнеркәсібінде ресурсты үнемдеу мен технологиялық тәуелсіздікті қамтамасыз ететін стратегиялық бағыттардың бірі. Алдағы кезеңде бұл шешімдерді кең көлемде пайдалану және жергілікті ғылыми-зерттеу базасымен ұштастыру негізгі мақсат болып табылады.

Алынған нәтижелер негізінде Қазақстанда бұрандалы сорап жабдықтарын жетілдіру саласында келесі стратегиялық бағыттарды мақсат ретінде көрсетуге болады:

1. Жергілікті наноқаптама орталықтарын құру – мұнай өндірісі дамыған қалаларында өндіріс пен зертханалық база қалыптастыру;
2. Қаптама материалдарының түрлерін кеңейту – DLC, TiN, CrN, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> және көпқабатты гибридті жүйелерді сынақтан өткізу;
3. Жұмыс жағдайына бейімделген қаптама құрылымдарын жобалау – парафиндік, тұзды және механикалық әсері жоғары ұңғымалар үшін жеке шешімдер әзірлеу;
4. Жабдықтардың цифрлық мониторинг жүйесін енгізу – PCP-лардың жұмыс параметрлерін нақты уақыт режимінде бақылау және тозу динамикасын модельдеу;
5. Ғылыми-өндірістік ынтымақтастықты дамыту - ұлттық зерттеу университеттері мен халықаралық инженерлік орталықтармен бірлескен жобаларды іске асыру.

Осы шаралардың барлығы ұзақ мерзімде Қазақстан мұнай-газ секторының технологиялық тәуелсіздігін, жабдықтардың сенімділігі мен тиімділігін арттыруға, сондай-ақ отандық ғылыми-техникалық базаның жаңа сапалық деңгейге көтерілуіне мүмкіндік береді. 🌐

## ӘДЕБИЕТ

- 1 E.C. Көшекбаев, П.А. Танжариков, Н.С. Сулейменов. Штангалы бұрандалы сорапты қондырғылармен жабдықталған ұңғылардың жұмыс тиімділігін арттыру. Нефть и газ. – 2024. –№1(139) – 95-105 [E.S. Koshekbaev, P.A. Tanzharikov, N.S. Sulejmenov. Shtangaly burandaly sorapty қондыргылармен zhabdyktalган ungylyardyn zhumys tiimdiligін arttyru. Neft' i gaz. – 2024. –№1(139) – 95-105].
- 2 Gabisov R.R. et al. Elastomer degradation in screw pump stators under extreme thermal load // Oilfield Engineering. – 2017. p. 41-48
- 3 Сэнди Уильямс, Джей Ф. Ли. Винтовые насосные установки. Часть 2. – 2014, с. 3-5 [Sjendi Uil'jams, Dezhj F. Li. Vintovye nasosnye ustanovki. Chast' 2 – 2014, S. 3-5].
- 4 Валовский В.М. Винтовые насосы для добычи нефти: учебное пособие. 2012г. с. 248 [Valovskij V.M. Vintovye nasosy dlja dobychi nefti: uchebnoe posobie. 2012g. s 248].
- 5 Zhang, X., & Smith, J. Nanocoatings for Tribological Applications in Oil & Gas. Materials Today, 2020, p. 45–60.
- 6 Patel, R., et al. Diamond-Like Carbon (DLC) Coatings in Downhole Equipment: A Review. Tribology International, 2019, p. 213–230.
- 7 Hardide Coatings — Weatherford — Tungsten-based nanostructured coatings for drilling and pumping equipment. – Weatherford Technical Report, 2019, p. 32
- 8 Holmberg K., Matthews A. Coatings Tribology: Properties, Techniques and Applications in Surface Engineering., Elsevier, 2009, p. 315-317.
- 9 Robertson J. Diamond-like amorphous carbon: structure, properties and applications // Materials Science and Engineering R. – 2002, Vol. 37. – p. 129–131.
- 10 Mattox D.M. Handbook of Physical Vapor Deposition (PVD) Technology. – Elsevier, 2010, p. 213-215.
11. Ohring M. Materials Science of Thin Films: Deposition and Structure, Academic Press, 2002, p. 257-260.
- 12 Smith, A., & Lee, K. Field Trials of TiN and CrN coatings on rotating shafts. Journal of Engineering Solutions, 2021, p. 102–118.
- 13 Veprek S., Argon A.S. "Mechanical properties of superhard coatings, Surface and Coatings Technology, 2002, p. 146-147, 175-182.
- 14 Li X. Zhou J, Zhang W., Effect of abrasive solids on PCP rotor wear. Petroleum Exploration and Development, 2019, p. 188–195.
- 15 Fox-Rabinovich G., Totten G., Self-Organization During Friction: Advanced Surface Engineered Materials, CRC Press, 2006, p. 95-98.