

Б. В. Копей, д-р техн. наук, проф.,
Ю. І. Парайко, канд. техн. наук, доц.,
О. І. Стефанишин, асп.,
І. І. Шостаківський, асист.

ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ РЕДУКТОРІВ ШТАНГОВИХ СВЕРДЛОВИННИХ НАСОСНИХ УСТАНОВОК

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
kopeyb@nung.edu.ua, yozh@nung.edu.ua

Надійність пар тертя і, зокрема, поверхонь зубів зубчастих передач ШСНУ, для яких є характерними великі і нерівномірні навантаження, в значній мірі залежить від режимів змащування та властивостей мастильних матеріалів. Авторами знято та проаналізовано частотні спектри вібрації редуктора модельної установки в процесі експлуатації під навантаженням за умови змащування чистою та відпрацьованою оливою І-40. Проведені дослідження показали, що якість оливи має безпосередній вплив на величину амплітуди вібрації редуктора. Впровадження у промисловість нової енергоресурсозаощаджуючої і екологічно чистої ХАДО-технології є особливо актуальним в умовах нинішньої енергетичної кризи і підвищеного енергоспоживання. Суть технології полягає в додаванні до оливи спеціальної ремонтно-відновлюючої суміші (РВС), внаслідок чого на контактних поверхнях деталей утворюється шар металокерамічного покриття. Авторами запропоновано в додаток до ХАДО-технології використовувати мідь, яка має високі антифрикційні властивості. Проведені дослідження показали, що дрібнозернистий порошок міді, як добавка до оливи після припрацювання істотно впливає на роботу зубчатої пари, а саме на значення амплітуди спектрів вібрації в процесі експлуатації, які є значно меншими після введення в оливу порошку міді.

Вступ. Більшість нафтових свердловин України облаштовано засобами механізованого видобування. Переважна кількість серед них використовує штангові свердловинні насосні установки (ШСНУ). За результатами аналізу статистичних даних однією з найменш надійних (і водночас однією з найдорожчих) складових наземного обладнання ШСНУ під час їх експлуатації є редуктори

верстатів-качалок. На інтенсивність такого роду відмов серед інших чинників в значній мірі впливають коректність вибору оливи, умови попереднього припрацювання, якість технічного обслуговування протягом усього періоду експлуатації редуктора. Період усталеного спрацювання зубчатої пари характеризується приблизно постійною швидкістю спрацювання. Період аварійного спрацювання характеризується швидким спрацюванням, оскільки збільшення зазору в sprzęженні призводить до роботи з ударами між деталями, що викликає значну пластичну деформацію матеріалу та приводить до відмов.

Постановка завдання. Відомо, що завдяки шорсткості на поверхнях тертя (рис. 1) створюються масляні «кишені», і, оскільки зубчасті передачі працюють в області граничного тертя то невелика шорсткість має позитивний вплив на роботу зубчастих передач. Велике значення має структура шорсткості.

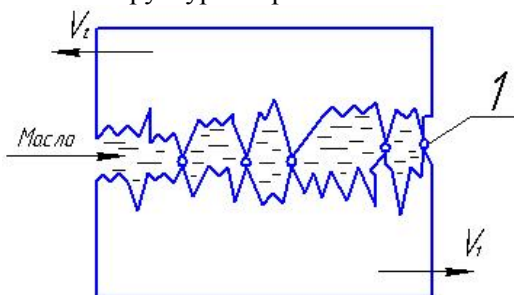


Рис. 1. Схема контакту мікронерівностей пари тертя
(1 – точки контакту)

Якщо мікронерівності на поверхні розміщені в хаотичному порядку і масляні кишені розміщені в такому ж самому порядку, то під час контакту sprzęжених поверхонь зубів виникає великий тиск в масляних кишнях. Одночасно під дією миттєвої температури від контактування мікронерівностей значно збільшується температура в масляних кишнях, що спричиняє шкідливий вплив на поверхневий шар зубів. Поперечна або повздовжня шорсткість на поверхнях тертя більш прийнята, так як під час контакту sprzęжених поверхонь олива нагріта миттєвою температурою буде видавлюватися із масляних кишень одночасно відводиться тепло з поверхні sprzęження [4].

Корозійна агресивність оливи залежить від наявності в ній води, кислот та присадок, які містять в своєму складі хімічно-

активні речовини, агресивні по відношенню до металів. Низькомолекулярні кислоти реагують з металом вже при звичайній температурі, в той час як високомолекулярні кислоти вступають в реакцію при наявності в оливі води і кисню через гідрат окису [5].

При виборі оливи для зубчастих передач необхідно враховувати умови роботи редуктора. Основними завданнями мастильного матеріалу є: зменшення спрацювання поверхонь зубів, зменшення втрат потужності на тертя поверхонь, охолодження, захист від корозії, зниження шуму та вібрації [6].

Збільшення навантаження або контактного тиску призводить до збільшення тепловиділення в зоні контакту і, відповідно, збільшує ймовірність спрацювання зубчастої пари. Ріст навантаження без додаткового тепловідведення викликає збільшення поверхневої температури, зменшення в'язкості оливи на вході в контакт та ріст коефіцієнта тертя, внаслідок чого відбуваються різного роду спрацювання.

Основними показниками, що характеризують властивість оливи до створення масляної плівки з високою несучою властивістю, яка запобігає і зменшує спрацювання поверхонь є її в'язкість. В'язкість оливи залежить від різних факторів, перш за все від температури.

Встановлено, що більш в'язкі оливи в порівнянні з менш в'язкими під час однакових умов експлуатації утворюють більшої товщини масляну плівку і одночасно підвищують її несучу здатність, а отже – зменшується спрацювання. Крім цього, властивість масла попереджувати або зменшувати спрацювання залежить від типу плівки, яка виникає на поверхнях тертя через застосування поверхнево-активної або неактивної оливи [4].

Дослідження свідчать, що зменшенням шорсткості робочих поверхонь зубів коліс можна значно зменшити максимальну миттєву температуру в зоні контакту зубів. Очевидно, є певна оптимальна шорсткість поверхонь, яка забезпечує найбільшу несучу здатність передачі. Разом з тим, має значення товщина масляної плівки і сумарна висота мікронерівностей спряжених поверхонь зубчастої передачі.

Важливою фізико-хімічною властивістю оливи є здатність її до окиснення. Мінеральні оливи в звичайних атмосферних умовах зберігають свої властивості протягом досить тривалого часу. Але під час експлуатації в результаті нагрівання, а також в результаті взаємодії оливи з повітрям в присутності кристалічно-активних компонентів при високій температурі олива змінює свої фізико-

хімічні і експлуатаційні властивості. Це виявляється у виникненні нових продуктів під час окислення: кислот, смол асфальтенів, карбенів і карбоїдів, які в більшості випадків є причиною виникнення ускладнень під час роботи важконавантажених передач і вузлів тертя і є причиною виникнення лакових плівок на поверхнях тертя, випадання осаду.

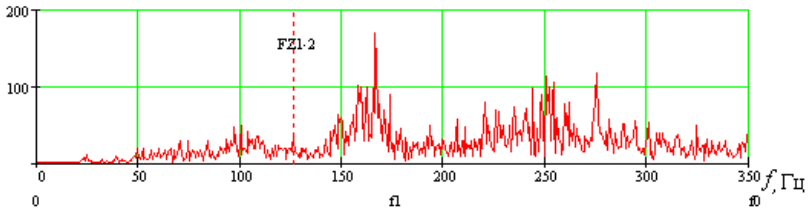
На виникнення різного роду спрацювання впливає спосіб і кількість подачі оливи в контакт. Так як для редукторів ШСНУ характерне значне спрацювання в момент пуску під навантаженням, це є особливо актуальним. Необхідно утримувати тонку масляну плівку на поверхні тертя, надмірна кількість оливи повинна видалятися із зони тертя до входу в контакт, в іншому випадку збільшуються витрати енергії на видавлювання і розбризкування оливи з поверхонь тертя. Ідеальним є змащування коли подається струмінь оливи в зону виходу зубів із зачеплення. При цьому, відбувається швидке відведення оливою тепла, скидання її в картер, а до моменту зачеплення зубів на їх поверхнях залишається тонка ефективна масляна плівка.

Методика досліджень. Визначення рівня вібрацій редуктора в залежності від якості оливи в картері редуктора та рівень вібрації в момент пуску під навантаженням було проведено на дослідній стендовій установці, яка являє собою масштабовану модель ШСНУ. Навантаження на головку балансира подається за допомогою пружини, діаметром 45 мм та довжиною 600 мм. Вібраційний сигнал вимірювався на корпусі редуктора біля підшипника вихідного валу за допомогою інформаційно-вимірювальної системи, що містить п'єзоелектричний перетворювач, підсилювач, автономне джерело живлення та ноутбук. Обробка сигналів здійснювалася в середовищі Mathcad [2].

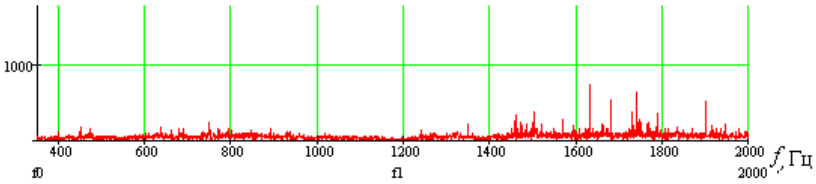
Для дослідження використовували чисту та відпрацьовану оливу І-40. Відпрацьовану оливу злило з картера редуктора ШСНУ, який експлуатувався 5000 годин. Частотні спектри в залежності від якості оливи в картері редуктора наведено на рис. 2 та 3.

Порівняння частотних спекторів (рис. 2 та 3) свідчить, що якість оливи суттєво впливає на спектри вібраційного сигналу. Зокрема, найбільш суттєвим є зростання амплітуди спектральної складової вібраційного сигналу на подвійній другій частоті зубозачеплення.

Крім того, суттєвим є зростання рівня вібрації практично на всіх частотах від 500 до 2000Гц.

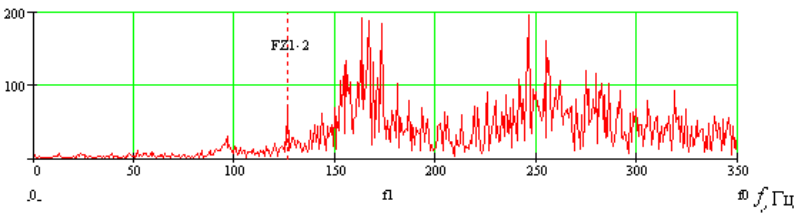


a

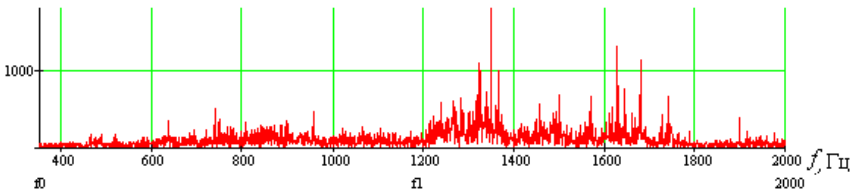


б

Рис. 2. Частотні спектри в процесі змащування зубчатої передачі чистою оливою I-40: на низьких частотах (*a*), на середніх і високих частотах (*б*)



a



б

Рис. 3. Частотні спектри в процесі змащування зубчатої передачі відпрацьованою оливою I-40: на низьких частотах (*a*), на середніх і високих частотах (*б*)

В табл. 1 наведено значення амплітуди у відносних одиницях – відліках аналого-цифрового перетворювача звукової плати, яка використовувалась в дослідженнях.

Особливо значне збільшення рівня вібрації спостерігається в діапазоні 1000...1700 Гц, що відповідає вібраціям, зумовленим процесами тертя між елементами конструкції редуктора. Це зумовлює тим, що у відпрацьованій оливі, як правило, наявна велика кількість механічних домішок, що утворюються внаслідок руйнування матеріалу вузлів редуктора в процесі зношування.

Таблиця 1

Значення амплітуди вібрації в діапазонах середніх та високих частот при використанні оливи І-40 різної якості

Частотний діапазон, Гц	Середнє значення рівня вібрації в частотному діапазоні, відн. од.		Зростання рівня вібрації, %
	Олива І-40 (чиста)	Олива І-40 (відпрацьована)	
350...450	20,9	33,8	61,4 %
500...700	39,1	72,9	86,6 %
700...1000	42,6	115,2	170 %
1000...1200	20,6	92,7	351 %
1200...1350	36	254,8	608 %
1350...1450	31,1	154,5	395 %
1450...1700	75,8	167,8	121 %
1700...1780	88,7	100,1	12,8 %

Таким чином, погіршення якості оливи в процесі зношування редуктора призводить до підвищення рівня вібрації. Очевидно, що цей фактор пришвидшує процес зношування і зменшує час безвідмовної роботи редуктора.

Впровадження у промисловість нової енерго-ресурсозаощаджуючої і екологічно чистої ХАДО-технології є особливо актуальним в умовах нинішньої енергетичної кризи і підвищеного енергоспоживання. Суть технології полягає в нанесенні на деталі вузлів і механізмів, що піддаються тертю в процесі їхньої експлуатації, шляхом додавання в оливу, спеціальної РВС, що утворює на поверхнях деталей шар металокерамічного покриття. РВС – це дрібнодисперсна, багатокомпонентна суміш мінералів з різними добавками і кристалізаторами. Вона сумісна з будь-якими

видами олив, у хімічні реакції з ними не вступає, і не змінює в'язкість. В початковий момент взаємодії РВС з поверхнями, що піддаються тертю, відбувається їхнє суперфінішне припрацювання. За рахунок високої температури, що виникає в місцях контакту, відбувається «приплавлення» частинок РВС до кристалічної решітки поверхневого шару металу. Таким чином, на поверхнях пари тертя утворюється металокерамічний шар, вирощений на кристалічних решітках поверхневого шару металу, який частково заповнює кишені утворені шорсткістю [5; 7].

З метою вивчення механізму захисту саме зубчатих пар тертя авторами проводилися дослідження на модельній установці. В картер редуктора модельної установки заливали оливу І-40 з добавкою ХАДО для механічних трансмісій і редукторів, виробництва ТОВ «ХАДО-Технологія». Після 50 годин припрацювання (згідно інструкції виробника) знято частотні спектри вібрації редуктора модельної установки в процесі експлуатації за відомими методиками [1-3]. На рисунку 4 наведено частотні спектри вібраційного сигналу на корпусі редуктора при застосуванні відпрацьованої оливи І-40 (рис. 4, а) та після 50 годин роботи при застосуванні оливи І-40 з добавкою ХАДО (рис. 4, б).

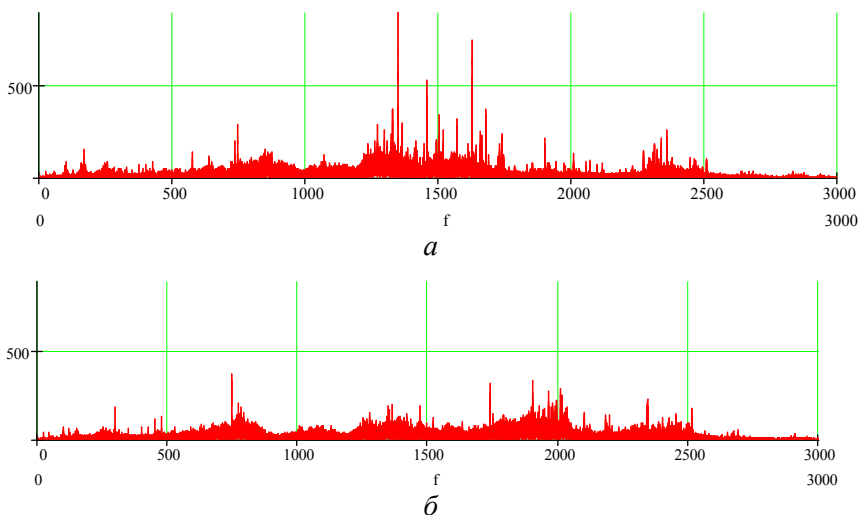


Рис. 4. Частотні спектри в процесі змащування зубчатої передачі оливою І-40: а – при застосуванні відпрацьованої оливи; б – після застосування ХАДО-технології

Порівняння спектрів свідчить, що в результаті застосування технології ХАДО суттєво зменшились пікові рівні вібрації на окремих частотах, а також знизилась середні рівні вібрації в деяких частотних діапазонах. Результати аналізу спектрів наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Значення рівня вібрації в різних частотних діапазонах при використанні оливи І-40 та після застосування ХАДО-технології

Частотний діапазон, Гц	Середнє значення рівня вібрації в частотному діапазоні, відн. од.		Зниження рівня вібрації, %
	Олива І-40	Олива І-40 з добавкою ХАДО	
90...100	12,4	9,9	-41,3%
155...180	24,6	10,3	-58,2%
200...250	16,6	13,7	-17,2%
830...980	33,4	16,9	-49,5%
1100...1200	24,7	17,4	-29,4%
1200...1350	56,1	33,2	-40,8%
1450...1700	46,9	25,9	-44,9%
2300...2400	31,1	27,6	-11,3%

Найбільше зниження пікових рівнів вібрації спостерігається в діапазоні частот 1200...1700 Гц, яка характерна для вібрацій, зумовлених тертям між елементами конструкції редуктора. Оскільки застосування ХАДО-технології спричиняє зниження шорсткості контактних поверхонь, сила тертя в зоні контакту зменшується, що сприяє зменшенню рівня вібрації.

Враховуючи вищевикладене, для підвищення ресурсу зубчатих передач слід шукати шляхи зниження температури в зоні тертя. Цього можна досягти за рахунок зменшення шорсткості поверхні тертя. Зубчасті передачі ШСНУ є важконавантаженими передачами, які сприймають значні питомі навантаження при малих швидкостях ковзання. Тому для захисту поверхонь тертя від прямого контакту, заїдання, зниження теплового напруження контакту запропоновано застосування м'яких металів для створення стабільної захисної плівки.

Як показують дослідження [7] для зменшення шорсткості до-

цільно використати ХАДО – технологію. У початковому стані поверхні тертя деталей – це виступи та впадини, заповнені продуктами спрацювання і забрудненнями оливи та присадок. Частки ХАДО значно більші за виступи і впадини мікрорельєфу, тому під час роботи зубчастої пари, виступи, подрібнюють їх. Під час розмелювання відбувається процес мікрозварювання. У місцях виступів з'являється металокерамічний захисний шар. Внаслідок чого твердість поверхні перевершує твердість основного металу, компенсуються зазори, знижується температура поверхні тертя.

Для захисту поверхонь тертя, зміцнених ХАДО – технологією, від прямого контакту, підвищення несучої здатності і ресурсу роботи пари тертя використали оливу з порошком міді ПГ-19М-01 ТУУ 322-19-004-96. В результаті припрацювання порошок міді на поверхні зубів утворив стабільну захисну плівку (рис. 5). Для важконавантажених передач цей метод має особливий інтерес, оскільки в експлуатації машин практично не було мастильних матеріалів, які б витримували питомі навантаження до 150 МПа при малих швидкостях ковзання. Плівки м'яких металів скорочують час припрацювання поверхонь тертя, захищають від заїдання, знижують теплове напруження контакту [4].

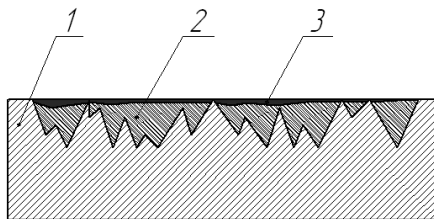


Рис. 5. Поверхня тертя, утворена компонентами ХАДО та порошком міді:
1 – основний метал; 2 – наповнювач ХАДО; 3 – шар міді

На рис. 6 наведено вібраційну характеристику редуктора, коли поверхні зубчастої передачі, гартовані струмами високої частоти, підлягали 50 год роботи редуктора з використанням ХАДО – технології (рис. 6, а) та після використання порошку міді ПГ-19М-01 (рис. 6, б). Проаналізувавши спектри вібрації редуктора після його виготовлення та після використання ХАДО – технології, можна зробити висновок, що рівень вібрації після використання ХАДО – технології є значно нижчим. В процесі використання порошку міді, як

добавки до оливи редуктора після використання ХАДО –технології, значення амплітуди вібрації зменшилося (рис. 6, *в*).

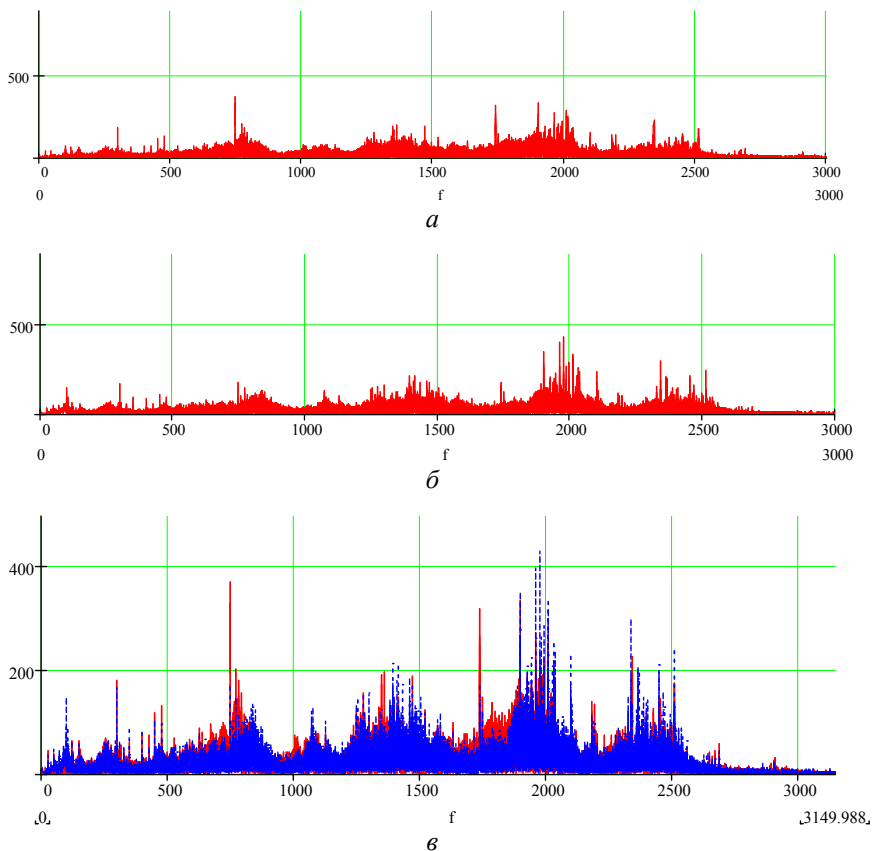


Рис. 6. Спектри вібрації редуктора ШСНУ: *а* – із застосуванням оливи І-40 із добавкою ХАДО; *б* – із застосуванням порошку міді, як присадки до мастильного матеріалу з добавкою ХАДО; *в* – суміщені спектри

Висновки. Запропонована технологія аналізу частотних спектрів вібрації редукторів штангових свердловинних насосних установок дозволяє оцінювати стан зубчатих передач та прогнозувати ресурс їх роботи. Запропоновано комплексну добавку до оливи на основі ХАДО-технології та дрібнозернистої міді, що значно покращує режим роботи редукторів ШСНУ в період експлуатації про що свідчать отримані спектри вібрацій.

Список літератури

1. *Заміховський Л.М.* Діагностика технічного стану штангових глибинно-насосних установок / Л.М.Заміховський, В.А.Ровінський, О.В. Євчук.– Івано-Франківськ, 2006.–307с.

2. *Копей Б.В.* Вібраційна діагностика технічного стану редукторів верстатів-гойдалок / Б.В.Копей, Л.М.Заміховський, О.В. Євчук та інш.// Нафтогазова енергетика. – 2008. – №1(6). – С.60–65.

3. *Мынцов А.А.* Методика проведения измерений и диагностирования оборудования роторного типа. // www.promservis.ru.

4. *Генкин М.Д.* Повышение надежности тяжело нагруженных зубчатых передач / М.Д.Генкин, М.А.Рыжов, Н.М.Рыжов –М.: Машиностроение, 1981. – 232 с.

5. *Избирательный перенос в тяжело нагруженных узлах трения* / [Д.Н.Гаркунов, С.И.Дякин, О.Н.Курлов, А.А.Поляков, Ю.С.Симаков, Е.В.Ховрин, М.Н.Шепер] – М.: Машиностроение, 1982. – 205 с.

6. Стенди для випробовувань натурних і модельних редукторів верстатів / Б.В.Копей, О.І.Стефанишин, В.Б.Копей, І.І.Шостаківський // Нафтогазова енергетика. – 2008. – №3(8).

7. *Зміни стану мастильних олів нафтогазопромислового обладнання у процесі експлуатації.* Шостаківський І.І., Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ, № 4'2002 (5), Івано-Франківськ, 2002 р.

8. *Канарчук В.Є.* Надійність машин. / В.Є.Канарчук, С.К.Полянський, М.М.Дмитрієв. – К.: Либідь, 2003. – 260 с.

9. *Офіційний сайт фірми ХАДО [Електронний ресурс].* – Режим доступу : www.xado.com.

Копей Б.В., Парайко Ю.И., Стефанышин О.И., Шостаковский И.И. **Повышение ресурса редукторов штанговых скважинных насосных установок**// Проблемы тертя та зношування: наук. техн. зб. – К.: НАУ, 2011. – Вип. 56. – С.94–105.

Надежность поверхностей трения, особенно поверхностей трения зубьев зубчатых передач ШСНУ, которые являются тяжело нагруженными передачами, зависит от режимов смазки и свойств смазочных материалов. Сняты и проанализированы частотные спектры вибрации редуктора модельной установки в процессе эксплуатации под нагрузкой когда в картер редуктора модельной установки заливали чистое и отработанное масло И-40. Проведенные исследования показали, что качество масла имеет непосредственное влияние на величину амплитуды вибрации редуктора. Внедрение в промышленность новой энергоресурсосберегающей и экологически чистой ХАДО-технологии особенно актуально в условиях нынешнего энергетического кризиса и повышенного энергопотребления.

Суть технологии заключается в добавлении в масло специальной ремонтно-восстановительной смеси (РВС), в результате чего образуется на поверхностях деталей слой металлокерамического покрытия. Нами предложено в дополнение к ХАДО-технологии использовать медь, которая имеет высокую несущую свойство. Проведенные исследования показали, что мелкозернистый порошок меди, как добавка к маслу после приработки непосредственно влияет на работу зубчатой пары, т.е. значение амплитуды спектров вибрации в процессе эксплуатации значительно меньше после введения в масло порошка меди.

Рис. 6, список лит.: 9 наим.

Kopej B.V., Parajko Ju.I., Stefanyshyn O.I., Shostakivsky I.I. **Increasing of barbell downhole pumpings settings' gears resource**

Reliability of surface friction, especially rubbing surfaces of teeth gears for pumping units reducers that are heavy loaded transmissions depends on the modes of lubrication and lubricant properties. The frequency spectra of vibration for reducer model installation during operation under load when the crankcase gear model installation was cleaned and filled with waste oils I-40 were obtained and analyzed. Studies have shown that the quality of the oil has a direct impact on the value of reducer amplitude of vibration. Introduction in industry of new energy saving and clean HADO-technology is especially relevant in the current energy crisis and high energy consumption. The technology is to add in oil a special repair and regenerative mixture (FAR), which forms on the surface the layer of sintered parts coatings. We suggest in addition to the HADO-technology using copper, which has a high load carrying ability. After work (according to manufacturer's instructions) the frequency spectra of vibration for reducer model settings after applying XADO-Technology and copper supplements were obtained. Studies have shown that fine-grained copper powder as an additive to oil after work directly affects the amplitude of tooth meshing, ie, the amplitude spectrum of vibration during operation is significantly less after the introduction of copper powders in the oil.

Стаття надійшла до редакції 29.09.2011