

# МЕТОДИКА ВИПРОБУВАННЯ НА ТЕРТЯ ТА ЗНОШУВАННЯ

УДК 622.24:621.603.29

<sup>1</sup>Б. В. Копей, д-р техн. наук., проф.,

<sup>2</sup>О. І. Стефанишин, асп.,

<sup>1</sup>О. В. Євчук, канд. техн. наук., доц.,

<sup>3</sup>В. В. Лопатін, канд. техн. наук., старш. наук. співроб.

## ПРОГНОЗУВАННЯ СПРАЦЮВАННЯ ДЕТАЛЕЙ РЕДУКТОРІВ ВЕРСТАТИВ-ГОЙДАЛОК

<sup>1</sup> ІФНГУНГ, м. Івано-Франківськ, e-mail: [kopeyb@nunq.edu.ua](mailto:kopeyb@nunq.edu.ua)

<sup>2</sup> ЦБВО ВАТ «Укрнафта» м. Борислав, Львівської обл.,

<sup>3</sup> Інститут геотехнічної механіки НАНУ, м. Дніпропетровськ

*Досліджено особливості різних видів спрацювання зубчатих пар редукторів штангових свердловинних насосних установок та запропоновано методи попередження їх виникнення. Запропоновано визначення технічного стану зубчастої пари в процесі експлуатації за допомогою аналізу вібросигналів.*

**Вступ.** Підвищення надійності важковантажених зубчатих коліс редукторів штангових свердловинних насосних установок (ШСНУ) є комплексною проблемою. Її вирішення ускладнюється тим, що працездатність зубчатих коліс визначається такими критеріями, як витривалість зубів при згині, контактна витривалість, стійкість до заїдання, а також міцність матачин та інших елементів конструкції зубчатого колеса. Ці всі критерії лімітують надійність роботи залежно від експлуатаційних, конструктивних і технологічних факторів. Надійність і довговічність машин та механізмів значною мірою залежить від роботи окремих вузлів і контактуючих пар. Цю залежність особливо важливо враховувати в зв'язку із наміченою тенденцією до збільшення швидкостей, навантажень і теплового напруження контактуючих елементів важконавантажених передач. Водночас зменшувати габарити виробів до отримання виробів менших габаритів.

**Постановка завдання.** Особливо необхідно визначити, що для створення економічної, технологічно правильної і оптимальної з точки зору експлуатаційних параметрів конструкції дуже важливо правильно підібрати матеріали, технологію виготовлення деталей і

змащування, а також створення нових методів попередження спрацювання та попередження аварійних ситуацій в процесі експлуатації редукторів ШСНУ.

**Основний матеріал дослідження.** В редукторах ШСНУ, зокрема в зубчастих передачах, відбувається тертя ковзання та кочення. Під час експлуатації редукторів із значним навантаженням в процесі тертя виникають корінні зміни поверхневого шару матеріалу спряжених поверхонь. Ці зміни визначають процес спрацювання та величину сили тертя.

Висока температура разом з високими тисками, що виникають у зонах дотику поверхонь зубів зубчастої передачі, впливають на значні зміни поверхневого шару матеріалу, внаслідок чого виникають значні температурні напруження, в мікрооб'ємах виникають процеси «термічної обробки». Інтенсивно виникають процеси окиснення, внаслідок чого утворюються різноманітні хімічні з'єднання.

Значні навантаження викликають у поверхневому шарі матеріалу спряжених деталей внутрішнє напруження розтягу, стиску, згину або кручення в чистому вигляді або в окремих комбінаціях.

Оскільки найбільша концентрація напружень спостерігається у верхніх шарах металу, втомна міцність деталей залежить від стану і механічних властивостей цих шарів.

Складність таких явищ показано на схемі (рис. 1) основних факторів, які необхідно враховувати під час аналізу фрикційної взаємодії зубчастої передачі.



Рис. 1. Схема основних факторів фрикційної взаємодії зубчастої передачі

Статистичний аналіз відмов редукторів дає підстави стверджувати, що аварії спричинені різними факторами.

Наявність абразивного спрацювання редукторів свідчить про забруднення оливи або пошкодження ущільнень. Тому для зменшення спрацювання рекомендується використовувати фільтрувальних елементи, здатні утримувати частинки розміром 3 мкм.

Абразивне спрацювання при взаємному входженні відбувається у разі неправильного спряження зубів через неправильне виготовлення або неправильне взаємне розташування зубчастих коліс передачі.

Через наявність дрібних частинок абразиву або хімічних протизадирних присадок в оливі виникає механічне спрацювання – полірування (рис. 2), а також окиснення під час перегріву (корозійно-механічне спрацювання).

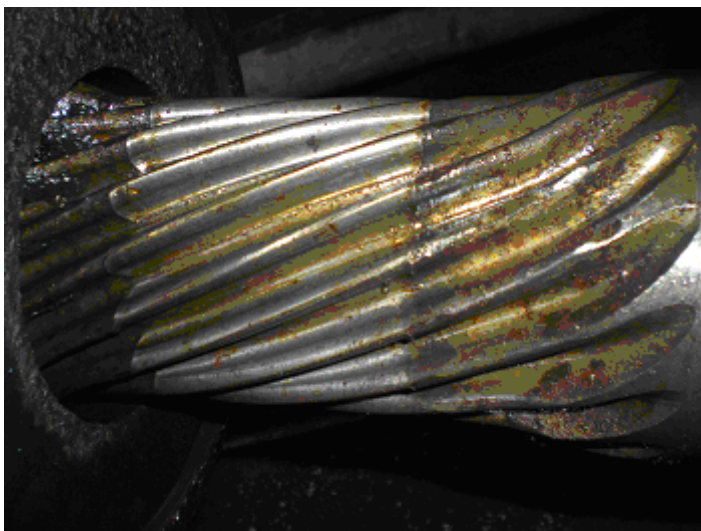


Рис. 2. Полірування

Як такі присадки використовують домішки, що містять сірку і фосфор, які, контактуючи з металом зубів за високій температурі в зоні контакту утворюють поверхневі плівки солей і фосфорної кислоти. За наявності дрібних абразивних частинок ці плівки видаляються з поверхні зубів, і відбувається інтенсивне

полірування робочих поверхонь. Через невідповідність твердості поверхні зубів передачі також полірування виникає на більш твердих поверхнях. За інтенсивного полірування спотворюється початкова геометрична форма зубів, а також, суттєво знижується точність зубчастої передачі, що викликає великі динамічні навантаження і зменшується термін служби передачі.

У більшості випадків причиною виникнення фретінг-корозії (рис.3) є вібрація. Розвиток цього процесу може призвести – до зародження втомних тріщин і в кінцевому результаті до виходу з ладу передачі.

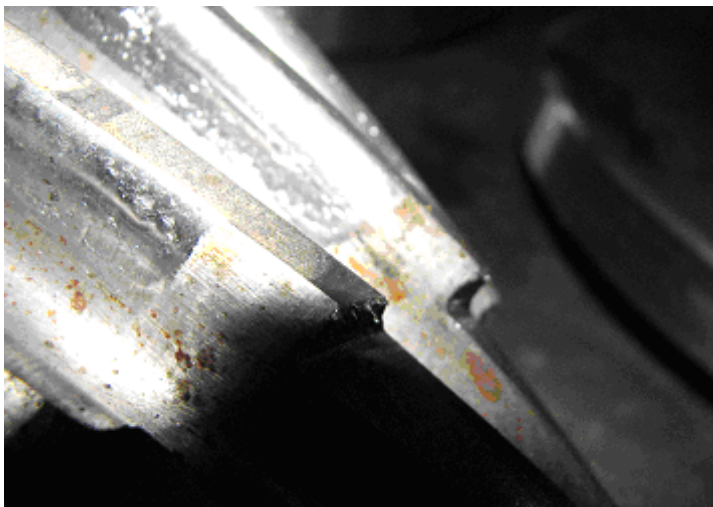


Рис. 3. Спрацювання при фретінг-корозії

Під час високочастотної вібрації або за наявності води, повітря або інших газів в оливі може виникати кавітаційне спрацювання. Кавітаційна стійкість матеріалу визначається його складом і структурою. Застосування хромонікелевих сталей, а також поверхневе зміцнення із застосуванням НВЧ або цементування підвищує кавітаційну стійкість.

Основною причиною під час передавання значних зусиль є збільшення коефіцієнта тертя ковзання, яке викликає суттєве підвищення температури в зоні контакту, що призводить до руйнування масляної плівки, і в зоні чистого контакту робочих поверхонь. Нові шестерні виявляють більшу здатність до заїдання,

ніж після припрацювання під неповним навантаженням. Для попередження заїдання в період припрацювання зуби підлягають фосфатуванню або обмідненню.

Причиною такого виду спрацювання, як інтерференція можуть бути похибка робочого профілю зубів, недостатня величина радіального зазору, неадекватні параметри профільної модифікації, похибка кроку зубів і похибка міжосьової відстані.

Виникнення тріщин обумовлюється недостатньою товщиною масляного шару і контактом окремих виступів поверхневої шорсткості зубів.

Наявність води або абразивних частинок в оливі, дуже тверда поверхня зміцненого шару і його підвищена крихкість, недостатня його товщина, незадовільна мікроструктура призводять до розвитку втомного викришування (рис.4).



Рис. 4. Поверхнєве втомне викришування

Тріщини в процесі шліфування виникають через неправильно вибрані режими шліфування, велику глибину шліфування, неправильно вибраний шліфувальний круг або недостатню кількість рідини під час охолодження. Твердість поверхні не повинна перевищувати 60 HRC.

Тріщини вінця (рис. 5) і маточини виникають через:

- недостатню товщину вінця (не менше повної висоти зуба);
- незбігу частот власних коливань зубчастого колеса і вимушених коливань унаслідок зовнішнього навантаження;
- проектування зубчастих коліс з мінімально можливою кількістю концентраторів напружень, таких, як шпонкові пази, шліцьові отвори та інші різкі переходи на поверхні деталі.

Виламування може виникати під час ударних навантажень, у разі потрапляння в зачеплення сторонніх предметів, а також унаслідок порушення правильності зачеплення внаслідок спрацювання валів та підшипників передачі.



Рис. 5. Руйнування вінця зубчастого колеса

Для попередження розвитку адгезійного спрацювання рекомендується:

- підвищувати чистоту обробки робочих поверхонь зубів;
- здійснювати припрацювання передач з частковим навантаженням;
- для відповідальних високовантажених передач застосовувати сталі, які підлягають азотуванню замість цементованих або гартованих об'ємним гартуванням;
- для тихохідних передач з коловою швидкістю менше 3 м/хв не рекомендується використовувати оливи підвищеної в'язкості із сірчаними та фосфорними домішками.

Використання цементованих шестерень, висока чистота поверхонь зубів і використання більш в'язкої оливи знижують інтенсивність абразивного спрацювання.

Для зменшення такого виду спрацювання, як полірування рекомендується використовувати менш активні присадки до оливи, такі, наприклад, як бористий калій, що не реагує з металом зубів. Ефективне фільтрування оливи або його періодична заміна також зменшує небезпеку полірування.

Для попередження хімічного спрацювання необхідно, щоб було достатньо часу для відновлення масляної плівки на поверхні зуба до початку окиснення. В іншому випадку виникнення корозійних раковин може спонукати до викришування або зародження втомних тріщин. Значно скоротити термін служби зубчатої передачі може наявність води в оливі, що призводить до швидкого розвитку втомлених тріщин; тверді частинки іржі спонукають до розвитку абразивного спрацювання.

Більшість протизадирних домішок мають сірчаноокислий та фосфорноокислий склад, і тому в локальних точках високої температури відбувається хімічна реакція з металом зубчастих коліс, унаслідок чого утворюються граничні змазувальні плівки, які складаються із сірчаноокислого заліза і фосфорноокислого заліза, що мають високу температуру плавлення та запобігають розвитку заїдання.

Підвищення в'язкості масла запобігає виникненню багатьох видів спрацювання за рахунок збільшення товщини масляної плівки і зменшення температури в чистому контакті поверхонь зубів. Одночасно надлишкова в'язкість оливи викликає значні втрати енергії в зачепленні, суттєве підвищення робочої температури і розвиток спрацювання внаслідок окиснення зубів.

Вибір раціональних параметрів зачеплення, які забезпечують зменшення швидкості ковзання дозволить зменшити температуру в контакті зубів і небезпека виникнення заїдання. Для цього проводять модернізацію евольвентного профілю методом підрізання товщини ніжки та головки зуба, що дозволить зменшити навантаження на вході й виході зуба із зачеплення. Точне виготовлення та монтаж коліс забезпечать рівномірне розподілення навантаження як по довжині зуба, так і між зубами, що одночасно входять у зачеплення, і зниження температури в зачепленні.

Суттєво впливає на виникнення заїдання хімічний склад та хімікотермічна обробка сталі. Сталі із вмістом азоту є стійкими до заїдання.

Для підвищення опору втомному викришуванню зуби шестерні повинні мати високу твердість поверхні і відносно м'яку серцевину. Найбільш ефективним є цементовані зуби, оскільки після цементування і гартування за рахунок структурних перетворень металу в зубах виникають залишкові напруження стиску, які знижують вплив діючих напружень розтягу від корисного навантаження, що передається.

Для попередження втомного викришування рекомендується:

- зменшити контактні напруження вибором раціональної геометрії зубчастих коліс;

- використовувати високоякісні цементовані сталі та забезпечувати твердість поверхні зубів не нижче 58 HRC;

- використовувати сталі, для яких під час термообробки забезпечується оптимальне співвідношення властивостей серцевини і зміцненого шару;

- підвищувати чистоту обробки поверхні зубів;

- забезпечити ефективне охолодження зачеплення чистою оливою відповідної в'язкості;

- обробляти поверхню зубів залізомарганцевим фосфатуванням або мідненням.

Для запобігання виникненню тріщин у процесі гартування рекомендується проводити відпуск відразу після гартування, проектувати конструкцію шестерні по можливості симетричною без різких змін товщини перерізу, контролювати глибину зміцненого шару, а також вибирати середовище для охолодження залежно від прокалювання сталі.

Виламування зубів можна попередити, дотримуючись таких умов:

- використовувати матеріали та термообробку для забезпечення високої ударної в'язкості;

- застосовувати високоякісні сталі зі зменшеним вмістом вуглецю, фосфору і сірки;

- застосовувати сталі з високим вмістом нікелю і молібдену для утворення дрібнозернистої структури;



- не використовувати сталі з високим умістом хрому та марганцю;
- використовувати термообробку для отримання мартенситної структури;
- використовувати високий відпуск за температури 250...400 °С для усунення можливої крихкості сталі;
- застосовувати цементування та азотування для отримання високих залишкових напружень стиску;
- зменшувати напруження згину ніжки зуба шляхом оптимізації її геометрії;
- усувати можливі концентрації напружень ніжки зуба;
- знижати динамічні навантаження в передачі шляхом вибору раціональних параметрів динаміки передачі.

Виникнення заїдання залежить від шорсткості поверхні. Завдяки шорсткості поверхні створюється масляні кишені, і, оскільки зубчасті передачі працюють у ділянці граничного тертя, то невелика шорсткість позитивно впливає на роботу зубчастих передач. Велике значення має структура шорсткості. Якщо мікронерівності на поверхні розміщені в хаотичному порядку масляні кишені розміщені в такому ж самому порядку, то під час контакту спряжених поверхонь зубів створюється великий тиск в масляних кишнях. Одночасно під дією миттєвої температури від дотику мікронерівностей значно збільшується температура в масляних кишнях, що має шкідливий вплив на поверхневий шар зубів. Поперечна або повздовжня шорсткість на поверхнях тертя більш практична, оскільки під час контакту спряжених поверхонь масло, нагріте миттєвою температурою, буде видавлюватися із масляних кишень; одночасно відводиться тепло з поверхні спряження.

Шорсткість після механічної обробки складається із сукупності різних за величиною і геометричною формою нерівностей. У процесі припрацювання ці нерівності на поверхнях спряження піддаються дії нормальних та дотичних напружень. Інтенсивній дії підлягають найбільш високі та гострі нерівності, які за рахунок великих напружень зрізаються або пластично деформуються. Пологі та гладкі нерівності також підлягають інтенсивній дії великої адгезії в процесі тертя, що приводить до

значної зміни їх геометричних обрисів. Тому в сукупності нерівностей, які мають різну висоту та радіус заокруглення; більш комфортні умови мають проміжні за своїми розмірами нерівності.

Мікрогеометрія ( шорсткість) поверхні, яка виникає в процесі механічної обробки, впливає на зносостійкість, витривалість, опір ударним навантаженням, корозійну втому. Міцність і пластичність змінюються мало. На зносостійкість впливає метод кінцевої операції механічної обробки.

Найбільше мікрогеометрія впливає на витривалість сталі, особливо в процесі згину та кручення. Впадини мікронерівності є концентраторами напружень, причому тим більше, чим глибша впадина і менший її радіус.

Завершальною операцією технологічного процесу ремонту будь-якого обладнання є випробування. Зібране після ремонту нафтопромислове обладнання має відповідати технічним вимогам. Якість ремонту визначають за фактичними експлуатаційними характеристиками машини та чіткістю взаємодії окремих вузлів і агрегатів.

Випробовуванням перевіряється якість ремонту в результаті всього виробничого процесу. Будь-яке обладнання потрібно випробовувати в умовах, наближених до експлуатаційних. Оскільки якісне і всебічне випробування відремонтованого обладнання можна проводити тільки на спеціальних стендах, тому потрібно до створювати подібні стенди на всіх ремонтних підприємствах нафтової промисловості.

Після ремонту або виготовлення редуктора в процесі випробовування необхідно реєструвати вібрацію обладнання, оскільки вона характеризує його стан та негативно впливає на сам редуктор й інше обладнання, яке працює в парі з ним, а також на здоров'я обслуговуючого персоналу. Норми на допустимі вібрації регламентують галузеві стандарти та технічні умови. Результати стендових вібраційних обстежень (рис.7–8) можуть служити основою для висновку про якість виконаного ремонту редуктора, а періодичний контроль технічного стану редуктора в промислових умовах дасть можливість його діагностувати та знімати з подальшої експлуатації для виконання наступного капітального ремонту.

Робота будь-якої зубчастої пари супроводжується рядом характерних вібрацій, які виникають унаслідок тертя і ударів під час обкатування зубів спряження. Аналіз вібрацій під час випробування, а потім в процесі експлуатації обладнання дозволяє досить успішно діагностувати ряд різноманітних дефектів зубозачеплення.

Обов'язковою умовою правильної оцінки поточного технічного стану зубчатих пар і успішної діагностики можливих дефектів редукторів є наявність спектроаналізатора з високим частотним розділенням не менше 1600 ліній у спектрі, і давачів, які дозволяють реєструвати високочастотні та низькочастотні вібрації.

Технічний стан будь-якої, навіть практично ідеально виготовленої зубчастої пари можна оцінити в процесі роботи за допомогою аналізу вібросигналів. Перевага вібродіагностичних методів і їх застосування для аналізу стану редукторів – можливість проводити діагностику без повного розбирання обладнання в робочих режимах. Інші методи потребують розбирання обладнання.

Основну увагу під час вимірювання вібрації та діагностики зубчастої пари потрібно звертати не на зубець зубозачеплення, а на інші більш важливі особливості спектру вібросигналу, характерні для деяких дефектів. Часто це зовнішні особливості форми спектру, які навіть за малих амплітуд можуть свідчити про небезпечні дефекти зубчатих пар.

Найбільшу увагу під час аналізу спектрів вібросигналів потрібно приділяти:

- боковим гармонікам, які розташовані з двох боків від основної частоти зубозачеплення;

- відносній величині амплітуди цих бокових гармонік частоти зубозачеплення відносно амплітуди зубця основної частоти зубозачеплення;

- величині частотного кроку повторення бокових гармонік частоти зубозачеплення, на скільки вони зсунуті одна відносно одної та відносно основної гармоніки;

- наявність у спектрі характерного горба (горбів) поблизу частоти зубозачеплення, його середнього рівня відносно самої

гармоніки частоти зубозачеплення, відносного рівня потужності, яка концентрується в кожному горбі;

– виникненню в спектрі зубців у всіх інших частотних діапазонах, розташованих у зонах, на перший погляд не зв'язаних з частотою зубозачеплення.

На основі спектрального аналізу віброграм можна визначити зношування зубів редуктора, їх викришування і поломку, зношування і поломки підшипників, деформація валів, розбалансування коліс, перекося осей валів тощо. Амплітуда імпульсів прямо пропорційна швидкості співударяння контактуючих деталей, яка залежить від величини зазору в кінематичній парі.

У випадку для зношених редукторів (рис. 6) спостерігаються бокові смуги, віддалені від частот зубозачеплення на частоту обертання вихідного вала редуктора, та менш виражено – на частоту обертання проміжного вала. Як відомо, наявність таких бокових гармонік є ознакою дефекту зубчастого колеса, що обертається з відповідною частотою (зокрема вихідного та проміжного валів).

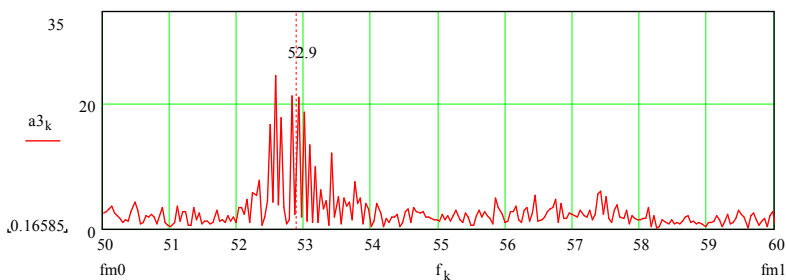


Рис. 6. Спектри вібросигналів на частоті зубозачеплення редуктора Ц2НШ750Б (частота зубозачеплення колеса – 52,9 Гц)

Зсув за частотою між основною пікою зубозачеплення і боковою гармонікою свідчить про те, яке зубчасте колесо має дефект. Якщо зсув рівний оберненій частоті вхідного вала, – дефект міститься на ньому. Деколи наявні бокові смуги від двох валів, при цьому найбільш дефектним буде той вал, бокові гармоніки якого мають більшу амплітуду.

На перших етапах розвитку дефектів зубозачеплення частота зубозачеплення і бокові гармоніки, які є синхронними компонентами, містять в собі майже всю потужність вібросигналу. Протягом свого

розвитку дефект стає більш нестационарним, розподіленим за частотою; виникає багато процесів, які ведуть до «розмитості» потужності вібросигналу на спектрі в проміжках між частотою зубозачеплення і боковими гармоніками. У вібросигналі починають переважати асинхронні компоненти.

Виникає процес, коли синхронні компоненти не ростуть, а додаткова потужність від дефекту концентрується в асинхронних гармоніках. Так відбувається до того часу, поки асинхронні гармоніки не зрівняються за амплітудою із синхронними. Це станеться в момент повної деградації зубчастої пари, коли замість процесів тертя в зубчастому sprzęженні будуть виникати тільки динамічні удари.

Тріснутий або зламанний зуб зубчастої передачі – це вагомий дефект. На спектрі вібрації зубчастої пари з тріснутим зубом та у випадках надщербленого (чи зношеного) зуба буде багато різних гармонік. Такі дефекти визначити за спектром вібросигналу важко, оскільки спектр буде перевантажений асинхронними гармоніками. На спектрі видно, що стан редуктора незадовільний, але причину виявити важко.

Стан зубчастої пари з такими дефектами небезпечний. Такі дефекти призводять до значного збільшення загального рівня вібрації редуктора. За невеликої швидкості обертання валів удари через дефектний зуб будуть відчуватися чітко без приладів. Для виявлення такого дефекта в редукторі необхідно зареєструвати та переглянути форму тимчасового сигналу вібрації зубчастої пари.

Проводилися віброобстеження на моделі редуктора з колесом, яке мало 24 зубці та один надщерблений зуб (рис. 7). Можна відзначити, що частота зубозачеплення та її друга гармоніка домінують на спектрі. Порівняння амплітуд віброприскорень нового та надщербленого (чи зношеного) зубця дасть змогу діагностувати редуктор за критерієм рівня вібрацій.

Затрати на обслуговування та ремонт є одними із вагомих експлуатаційних показників будь-якої технічної системи. Зменшити витрати у тих випадках, коли обладнання ремонтпридатне, майже неможливо без ефективного контролю стану обладнання. Вібраційну діагностику частіше використовують для вихідного контролю якості виготовлення (ремонт),

дефектування перед ремонтом, або для виявлення дефектів та спостереження за їх розвитком у процесі експлуатації.

Проведення вібраційної діагностики в процесі експлуатації редукторів є попереджувальним заходом аварійних ситуацій. Вібраційну діагностику в процесі експлуатації редукторів проводять для виявлення змін та прогнозування розвитку не вібраційного, а технічного стану, зокрема кожного з його елементів, для якого існує реальна ймовірність відмови в період між ремонтами.

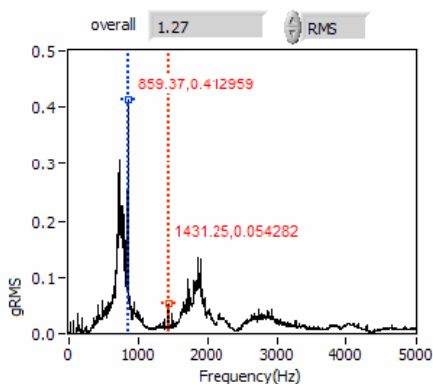


Рис. 7. Спектр віброприскорень редуктора з надщербленим зубом

Під час усього терміну експлуатації редукторів ШСНУ важливим завданням є прогнозування моментів заміни деталей для запобігання як виходу з ладу складових редуктора, так і обладнання в цілому.

Рівень вібрацій редуктора для різного часу напрацювання (0, 10, 140, 305 та 530 год) визначити на дослідній стендовій установці, що являє собою масштабовану модель ШСНУ із редуктором типу Ц2НШ-750Б. Модель містить електродвигун потужністю 1кВт з номінальною швидкістю обертання 1480 об/хв, дві клинопасові передачі із загальним передатним числом 5,53, редуктор з передатним числом 37,18 та модель верстата-гойдалки з можливістю встановлення змінних вантажів на канатну підвіску. Вібраційний сигнал вимірювали на корпусі редуктора біля підшипника вихідного вала за допомогою інформаційно-вимірювальної системи [9], що містить п'єзоелектричний перетворювач, підсилювач, автономне джерело живлення та ноутбук. Сигнали оброблялися здійснювалася в середовищі Mathcad.

Графік зміни середньоквадратичного значення вібраційного сигналу з часом напрацювання установки, показано на рис. 8. Унаслідок зносу деталей редуктора рівень вібрації поступово зростає, причому ця залежність має експоненційний характер. За допомогою вбудованих функцій середовища Mathcad було оцінено коефіцієнти рівняння експоненційної регресії  $y(x) = a \cdot e^{b \cdot x} + c$  для отриманої послідовності значень, у результаті чого встановлено, що за значень коефіцієнтів  $a = 0.249$ ,  $b = -0.0035$ ,  $c = -0.0916$  відхилення лінії регресії від експериментальних даних не перевищує 5%.

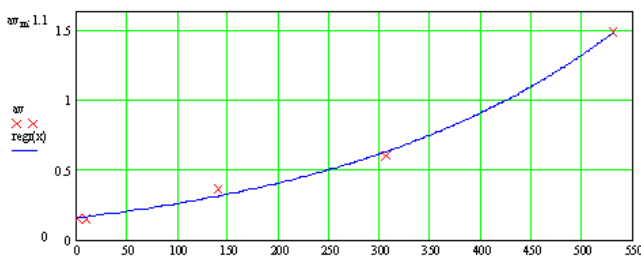


Рис. 8. Значення загального рівня вібрації залежно від часу напрацювання

Отримана залежність дозволяє прогнозувати зміну рівня вібрацій редукторів верстатів-качалок, і за відомими граничними значеннями, що відповідають незадовільному технічному стану, визначити прогнозований час нормальної роботи механізму. Запланувавши технічний огляд редуктора з урахуванням такого прогнозу, можна уникнути поломок, які можуть спричинятися недопустимим зростанням навантажень на деталі механізму, що супроводжуються значними вібраціями.

Виявлення дефектів на етапі їх утворення дає змогу спостерігати за їх розвитком та своєчасно планувати проведення робіт з ремонту та обслуговування редуктора. Такий процес може здійснюватися протягом декількох років, коли сукупність дефектів як за глибиною так і за якістю, не призведе до аварійної ситуації. Зазвичай такий підхід можливий лише в тому випадку, коли всі потенційно небезпечні дефекти будуть виявлені на ранньому етапі їх розвитку. Для виявлення дефектів на початковому етапі їх розвитку використовують діагностичні ознаки, які визначаються шляхом спектрального аналізу сигналу вібрації або коливань

потужності. Основною ознакою дефектів в підшипниках редуктора є зміна властивості сили тертя та високочастотної вібрації, що виникає внаслідок цього. Ці зміни виявляються як мікроудари, або як періодична зміна коефіцієнта тертя під час контакту дефектних поверхонь тертя; їх легко виявити спектральним аналізом вібрації корпусу підшипникового вузла.

### **Висновки**

1. Для підтримання обладнання в робочому стані на об'єктах експлуатації потрібно забезпечувати систему технічного обслуговування, слідкувати за виконанням правил експлуатації обладнання, вказаних в технічних умовах та паспортах на обладнання.

2. Удосконалення конструктивних і технологічних параметрів під час виготовлення деталей та ремонту редуктора в цілому має велике значення для підвищення ресурсу роботи обладнання.

3. Під час експлуатації в результаті нагрівання, а також унаслідок взаємодії масла з повітрям за наявності кристалічно-активних компонентів за високої температури масло змінює свої фізико-хімічні і експлуатаційні властивості, тому потребує додаткових домішок та присадок.

4. Через значні дефекти (виламаний або надщерблений зуб) збільшується загальний рівень вібрації редуктора. В цьому випадку за невеликої швидкості обертання валів удари через дефектний зуб будуть відчуватися чітко без приладів.

5. Отримана залежність значення загального рівня вібрації залежно від часу напрацювання дозволяє прогнозувати зміну рівня вібрацій редукторів верстатів-качалок, і за наявності відомих граничних значень, що відповідають незадовільному технічному стану, можна визначити прогнозований час нормальної роботи механізму.

6. Діагностика стану редукторів за вібраційними характеристиками дає змогу за короткий час приступити до ремонту та обслуговування за фактичним станом обладнання. Достатньо використати переносні системи діагностики, які дозволяють виявити майже всі види дефектів на етапі виникнення, за декілька місяців до аварії і своєчасно планувати терміни та обсяги ремонту.

### **Список літератури**

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



2. *Рециков В.Ф.* Трение и износ тяжело нагруженных передач. // - М.: Машиностроение, 1975. – 232 с.

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

4. *Маслов Г.С.* Расчеты колебаний валов. Справочное пособие. // - М.: Машиностроение, 1968. -270 с.

5. *ГОСТ ИСО 10816.* Вибрация. Контроль состояния машин по результатам измерения вибрации на невращающихся частях

6. *ГОСТ ИСО 7919/3-2002* Вибрация. Контроль состояния машин по результатам измерения вибрации на вращающихся валах. Промышленные машины и комплексы.

7. *ГОСТ ЕАСС* Колеса зубчатые. Виды повреждений. Классификация и описание.

8. *Вибрации* в технике: Справочник. В 6 томах/ Ред.совет: В.Н.Челомей (пред).– М.: Машиностроение,1981 – т.5 – Измерения и испытания. Под ред.М.Д.Генкина.– 496 с.,ил.

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

*Копей Б.В., Стефаньшин О.І., Евчук О.В., Лопатин В.В.*  
**Прогнозирование изнашивания деталей редукторов станков-качалок** // Проблемы тертя та зношування: Наук.-техн. зб. – К.: Вид-во НАУ «НАУ-друк», 2010. – Вип. 53. – С.42–58.

Исследованы особенности разных видов изнашивания зубчатых пар редукторов штанговых скважинных насосных установок и предложены методы предупреждения их возникновения. Предложено определение технического состояния зубчатой пары в процессе эксплуатации с помощью анализа вибросигналов.

Рис. 8, список лит.: 9 наим.

### ***Wear prognostication of details of pumping units reducing gears.***

The features of different types of wear of toothed pair of reducing gears of pumpings units are investigational and the methods of warning of their origin are offered. Determinatio of the technical stat of toothed pair is offered in the process of exploitatio y the analysis of vibrosignals.

Стаття надійшла до редакції 02.06.10