

В.Б. Копей

канд. техн. наук

Б.В. Копей

д-р техн. наук

О.В. Євчук

канд. техн. наук

ІФНТУНГ

О.І. Стефанишин

канд. техн. наук

ЦБВО ВАТ «Укрнафта»

Вплив мастила на вібраційні характеристики редуктора верстата-гойдалки

УДК 622.276.53:621.671(047)

Для зменшення втрат потужності на тертя і зниження інтенсивності зносу поверхонь, що труться, а також для запобігання їх заїданню, задиркам, корозії та кращому відведенню теплоти тертьові поверхні деталей повинні мати надійне змащування. Недостатня кількість мастильного матеріалу, його невідповідність рекомендаціям підприємств-виробників, забруднення спричиняють інтенсивний знос деталей, порушення геометричних розмірів, збільшення зазорів.

Для уменьшения потерь мощности на трение и снижения интенсивности износа трущихся поверхностей, а также для предохранения их от заедания, задир, коррозии и лучшего отвода теплоты трущиеся поверхности деталей должны иметь надежную смазку. Недостаточное количество смазочного материала, его несоответствие рекомендациям предприятий-производителей, загрязнение вызывают интенсивный износ деталей, нарушение геометрических размеров, увеличение зазоров.

To reduce power losses due to friction and to reduce the deterioration intensity of surfaces wear, and to prevent jamming, burrs, corrosion and better heat removal the interacting surfaces of parts shall have proper lubrication. Lack of lubricant, its nonconformance with the recommendations of manufacturers and pollution cause heavy wear, breach of geometrical dimensions and increase in clearance.

Значне зношування робочих поверхонь зубів є однією із основних причин зниження ефективності роботи редукторів ШСНУ. Тому важливо підібрати та визначити характеристики мастильних матеріалів для редукторів. Із часом якість мастила погіршується, з'являється конденсат, і тому необхідно оцінити вплив мастильних матеріалів на роботу редуктора.

Неправильний вибір мастильного матеріалу або його невчасна заміна призводять до зміни міжцентрової відстані, перекосу валів, погіршення умов роботи деталей складальних одиниць та прискореного виходу їх з ладу. Тому потрібно правильно оцінити вплив мастильних матеріалів на вібраційні характеристики редуктора.

Особливо важливо проаналізувати чинники впливу якості мастильних матеріалів на процес зношування робочих поверхонь зубів та методи і засоби контролю їх технічного стану в процесі змащування зубчастої передачі редукторів ШСНУ.

У машинобудуванні для змащування передач широко застосовують картерну систему мащення. Поверхні зубчастих передач редукторів ШСНУ змащують зануренням у рідку мастильну ванну. У корпус редуктора заливають оливу таким чином, щоб вінці коліс були в неї повністю занурені. Під час їх обертання олива захоплюється зубцями, розбризкується, потрапляє на внутрішні стінки корпусу та стікає в нижню його частину. Усередині корпусу утворюється суспензія частинок оливи в повітрі, які вкривають поверхню розташованих у ньому деталей.

Мастильні матеріали служать для зменшення витрат енергії на тертя, зниження температури деталей рухомого sprzęження деталей, очищення від продуктів зносу, захисту

поверхні деталі від корозії та сприяють підтримці теплового режиму деталей.

У двох- та трьохступінчастих редукторах із загальною мастильною ванною вибирають мастило з в'язкістю, проміжною між необхідними для швидкохідного та тихохідного ступенів.

За більш високих швидкостей відцентрова сила скидає оливу з зубців, і зачеплення працює із недостатнім мащенням. Крім того, значно збільшуються втрати потужності на перемішування мастила і підвищується його температура. Вибір змащувального матеріалу базується на досвіді експлуатації машин. Принцип призначення мастила: чим вищий у зубцях контактний тиск, тим більшу в'язкість повинно мати мастило; чим вища колова швидкість колеса, тим меншою повинна бути в'язкість. Необхідну в'язкість і сорт мастила визначають залежно від контактного напруження і коллоїдності швидкості коліс.

У процесі експлуатації редуктор ШСНУ постійно зазнає впливу зовнішнього середовища. Важливою фізико-хімічною властивістю оливи є її здатність до окислення. Мінеральні оливи в звичайних атмосферних умовах зберігають свої властивості протягом досить тривалого часу. У період експлуатації та в результаті нагрівання оливи, а також її взаємодії з повітрям змінюються її фізико-хімічні й експлуатаційні властивості. Це виявляється в утворенні під час окислення нових продуктів: кислот, смол асфальтенів, карбенів і карбонідів, які здебільшого є причиною появи ускладнень під час роботи важконавантажених передач і вузлів тертя, а також виникнення лакових плівок на поверхнях тертя, випадання осаду. Інколи оливи, які використовують для змащування зубчастих передач, внаслідок окислення стають майже повністю твердими [1–7].

В'язкість мастильних матеріалів є найбільш суттєвим показником, який визначає можливість їх проходження по каналах і малих зазорах вузлів тертя.

Наявність вологи в мастильному матеріалі істотно впливає на якість змащування деталей редуктора, що призводить до інтенсифікації їх зношування. Залежно від кількості вологи характер зношування змінюється. Якщо вміст води в оливі становить усього 5 %, то продукт зношування темного сіро-коричневого кольору та малих розмірів, він містить дуже мало металевих частинок. За умови вологості 50 % (мономолекулярний шар води покриває поверхню) утворюється сірий металевий порошок. До 50 % вологості – частинки зношування в основному складаються із оксидів, більше 50 % – в основному з металу. На інтенсивність зношування суттєво впливає плівка, яка формується на поверхні тертя.

Протягом місяця в Бориславській ЦБВО було проведено огляд обладнання, яке надійшло в ремонт, зокрема визначено кількість оливи в картері та його якість. У кожній одиниці обладнання в картері рівень оливи був суттєво занижений, крім неї, там знаходилася значна кількість води та мастила невідомого походження (рис. 1). Дані дослідження представлено в табл. 1.

Таблиця 1

Вміст води у відпрацьованому маслі

Перелік обладнання	Об'єм картера, л	Дійсний об'єм відпрацьованого масла	
		вміст масла, л	вміст води, л
Редуктор Ц2НШ-750	135	85	20
Редуктор Ц2НШ-750	135	42	12
Редуктор Ц2НШ-315	37,8	15	8
Редуктор Ц2НШ-450	109	30	15
Редуктор РН-650	63	22	4

Наявність у мастильному матеріалі води майже завжди негативно впливає на роботу вузла тертя, оскільки вона спричиняє корозію металевих поверхонь. Після зупинки редуктора і охолодження нагрітих деталей вода конденсується на стінках картера і деталях. Висока вологість і проникнення води в картер значно посилює інтенсивність корозії. Отже, у цьому випадку мастильні матеріали повинні мати високі деемульгуючі властивості, зокрема здатність забезпечувати швидке відстоювання води і запобігати утворенню стійких водо-масляних емульсій.

Нівелювати вплив води на зношування зубчастої передачі можна завдяки використанню м'яких металів як добавки до оливи.

Корозійна агресивність оливи залежить від наявності в ній не тільки води, але й кислот, присадок, які містять у своєму складі хімічно-активні речовини, агресивні по відношенню до металів. Низькомолекулярні кислоти реагують із металом вже при звичайній температурі, тоді як високомолекулярні кислоти вступають у реакцію за наявності в оливі води і кисню через гідрат окису. Властивість оливи захищати деталі від корозії за наявності води та кисню може бути по-

кращена завдяки застосуванню присадок.

Технічне обслуговування редукторів полягає в основному в систематичному дотриманні термінів змащування вузлів і в своєчасній заміні відпрацьованої оливи. Також до технічного обслуговування належить усунення нещільностей у системі змащування.

Різного роду чинники впливають на строк служби редукторів ШСНУ. Тому потрібно шукати нові підходи щодо підвищення їх довговічності. Збільшення навантаження або контактного тиску призводить до збільшення тепловиділення в зоні контакту і відповідно збільшує ймовірність спрацювання зубчастої пари. Зростання навантаження без додаткового тепловідведення призводить до збільшення поверхневої температури, зменшення в'язкості оливи на вході в контакт та збільшення коефіцієнта тертя, внаслідок чого відбуваються різного роду спрацювання.

Вібрація, яка виникає внаслідок похибки виготовлення і збирання, має значний вплив на несучу здатність гідродинамічної масляної плівки.

Основним показником, що характеризує властивість оливи до створення масляної плівки з високою несучою здатністю, яка запобігає і зменшує спрацювання поверхонь, є її в'язкість. В'язкість масла залежить від різних факторів, перш за все від температури, тобто в'язкість зменшується зі збільшенням температури. Встановлено, що в однакових умовах експлуатації більш в'язкі масла порівняно з менш в'язкими утворюють товщу масляну плівку й одночасно підвищують її несучу здатність, а отже, – зменшується спрацювання. Крім цього, здатність масла попереджувати або зменшувати спрацювання залежить від типу плівки, яка виникає на поверхнях тертя через застосування поверхнево-активного або неактивного масла.

Дослідження свідчать про те, що зменшенням шорсткості робочих поверхонь зубів коліс можна значно знизити максимальну миттєву температуру в зоні контакту зубів. Ймовірно, є якась оптимальна шорсткість поверхонь, яка забезпечує найбільшу несучу здатність передачі. Крім цього, значення має товщина масляної плівки і сумарна висота мікронерівностей спряжених поверхонь зубчастої передачі.

Важливою фізико-хімічною властивістю оливи є її здатність до окислення. Мінеральні оливи в звичайних атмосферних умовах зберігають свої властивості протягом досить тривалого часу. Але під час експлуатації в результаті нагрівання, а також взаємодії оливи з повітрям за наявності кристалічно-активних компонентів при високій температурі вона змінює свої фізико-хімічні й експлуатаційні властивості. Під час окислення з'являються нові продукти: кислоти, смоли асфальтенів, карбенів і карбодів, які здебільшого стають причиною ускладнень під час роботи важконавантажених передач і вузлів тертя, а також виникнення лакових плівок на поверхнях тертя, випадання осаду.

Властивості оливи та її в'язкість суттєво впливають на максимальну миттєву температуру на поверхні зубчастих коліс. Оскільки спалахи температури на поверхні зуба високі в початковій і кінцевій точках контакту, де швидкість ковзання найбільша, то можливі кромкові удари, які приводять до розсікання масляної плівки.

На появу різного роду спрацювання впливають спосіб

і кількість подачі оливи в контакт. Оскільки для редукторів ШСНУ характерне спрацювання в момент пуску, під навантаженням це є особливо актуальним. Необхідно утримувати тонку масляну плівку на поверхні тертя, надмірну оливу потрібно видаляти із зони тертя до входу в контакт, в іншому разі збільшуються витрати енергії на вичавлювання і розбризкування оливи з поверхонь тертя. Ідеальним є змащування, коли струмінь оливи подається в зону виходу зубів із зачеплення. При цьому відбувається швидке відведення оливою тепла, вона скидається в картер, а до моменту зачеплення зубів на їх поверхнях залишається тонка ефективна масляна плівка.

Визначення рівнів вібрацій редуктора залежно від якості оливи в картері редуктора та у момент пуску під навантаженням було проведено на дослідній стендовій установці, що являє собою масштабовану модель ШСНУ із редуктором типу Ц2НШ-750Б. Модель має електродвигун потужністю 2,2 кВт із номінальною швидкістю обертання 1420 об./хв, дві клинопасові передачі з загальним передаточним числом 5,53, редуктор із передаточним числом 37,1. Навантаження на головку балансира подається за допомогою пружини завдовжки 600 мм діаметром 45 мм. Вібраційний сигнал вимірювали на корпусі редуктора біля підшипника вихідного вала за допомогою інформаційно-вимірювальної системи, у складі якої п'єзоелектричний перетворювач, підсилювач, автономне джерело живлення та ноутбук. Обробку сигналів здійснювали в середовищі Mathcad.

Для дослідження використовували чисту та відпрацьовану оливу І-40. Відпрацьовану оливу злило з картера редуктора ШСНУ, який відпрацював 5000 год. На рис. 2 та 3 наведено частотні спектри залежно від якості оливи в картері редуктора.

Порівняння рис. 2 та 3 свідчить про те, що якість оливи суттєво впливає на спектри вібраційного сигналу. В низькочастотній частині спектра вплив проявляється головним чином на перших кількох гармоніках частот зубозачеплення. Зокрема, найбільш суттєвим є зростання амплітуди спектральної складової вібраційного сигналу на подвійній другій частоті зубозачеплення (табл. 2).

Таблиця 2

Значення амплітуди вібрації на гармоніках частоти зубозачеплення швидкохідного вала у разі використання оливи І-40 різної якості

Частота зубозачеплення та її гармоніки	Амплітуда, відн. од.		Зростання амплітуди, %
	олива І-40 (чиста)	олива І-40 (відпрацьована)	
Fz1	5	4,7	–
Fz1*2	40	69	72,5
Fz1*3	50	71	42
Fz1*4	107	164	53,3

Крім того, суттєвим є зростання рівня вібрації практично на всіх частотах від 500 до 2000 Гц (табл. 3). Більш високі частоти не брали до уваги в зв'язку з низькою чутливістю давача у високочастотному діапазоні (в отриманих спектрах рівень вібрації на частотах більших 3000 Гц є практично нульовим, а в діапазоні 2000...3000 Гц різниця спектрів, враховуючи похибку, є несуттєвою).

Таблиця 3

Значення амплітуди вібрації в діапазонах середніх та високих частот у разі використання 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



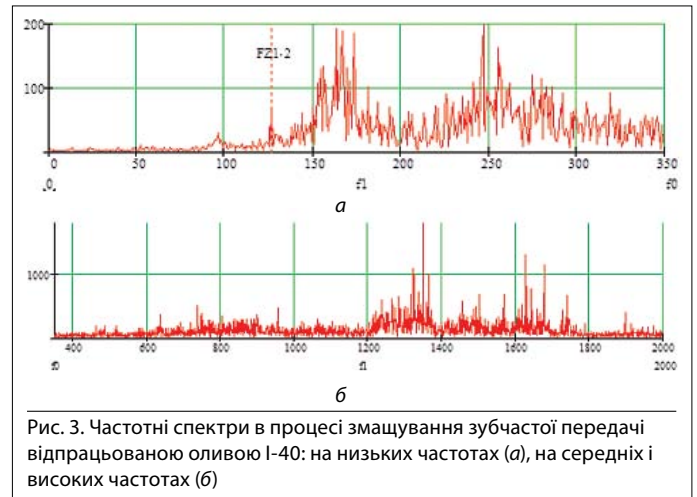
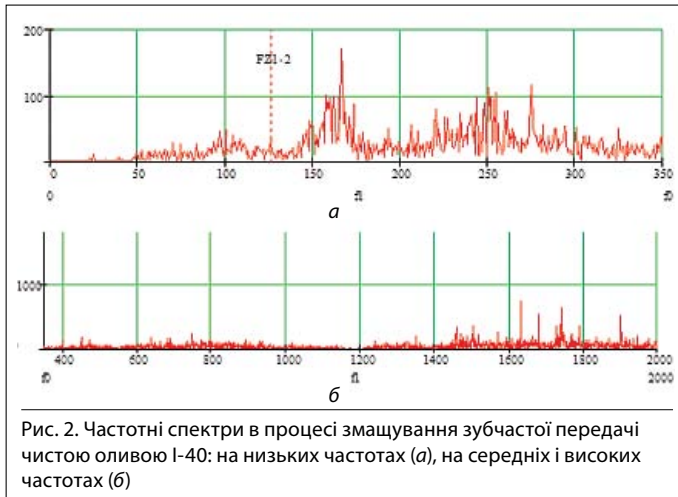
Рис. 1. Редуктор із наявністю в картері води та мастила

Значення амплітуди в табл. 2 та 3 наведено у відносних одиницях – відліках аналого-цифрового перетворювача звукової плати, яку використовували в дослідженнях.

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

Отже, погіршення якості оливи в процесі зношування редуктора призводить до посилення вібрації. Це в свою чергу може пришвидшувати процес зношування і зменшувати час безвідмовної роботи редуктора. Тому вчасна заміна оливи є важливим чинником підвищення надійності редукторів ШГНУ.

Під час заміни масла необхідно врахувати, щоб характеристики масла, яке заливають в картер редуктора, були однакові або дещо кращі, ніж за даними паспорта редуктора.



Сучасне промислове обладнання повинно бути так спроектоване, щоб забезпечити малі матеріалові та енерговитрати під час їх виготовлення, а також великий ресурс і надійність за мінімальних експлуатаційних витрат і технічного обслуговування. Повна реалізація техніко-економічного потенціалу, закладеного в обладнання, можлива тільки у разі використання для пар тертя змащування високоякісними мастильними матеріалами, які повністю відповідають експлуатаційним умовам їх застосування.

Сучасні мастильні матеріали здатні витримувати високі механічні і термічні навантаження, забезпечувати зниження енергоспоживання і захист від зносу, корозії та утворення відкладень, що порушують нормальну роботу обладнання. Високих експлуатаційних властивостей мастильних матеріалів досягнуто їх легуванням спеціальними присадками різної функціональної дії.

Широкий асортимент мастильних матеріалів, розроблених із урахуванням потреб споживачів такого роду продукції, зокрема машинобудівників, а також із дотриманням вимог чинних нормативних документів, відповідає специфіці завдань змащування виробів машинобудування.

Сьогодні формування вимог до мастильних матеріалів ґрунтується на широко відомих і практично застосовуваних класифікаціях і специфікаціях, у яких найважливіші характеристики мастильних матеріалів задані у вигляді результатів випробувань за відомим (у більшості випадків стандартизованим) методом. Це дає змогу всім зацікавленим сторонам (виготовлювачам мастильних матеріалів, машинобудівникам, споживачам їх продукції) обмінюватися достатньо повною інформацією про властивості мастильних матеріалів та доцільно їх використовувати.

Із усього вищезазначеного можна зробити такі висновки.

Із розвитком техніки питання підвищення довговічності й надійності машин набувають все більшого значення, тому вивчення причин руйнування деталей в експлуатації та розроблення методів підвищення довговічності машин є актуальною задачею.

У результаті підвищення довговічності деталей машин скорочуються витрати запасних частин і матеріалів на їх виготовлення, зменшується кількість працюючих і трудомісткість під час експлуатації, технічного обслуговування та ремонту.

Складні умови експлуатації сучасних машин різко посилили вимоги до змащувальних матеріалів.

Погіршення якості оливи в процесі зношування редуктора призводить до підвищення рівня вібрації. Це в свою чергу може пришвидшувати процес зношування і зменшувати час безвідмовної роботи редуктора. Тому вчасна заміна оливи є важливим фактором підвищення надійності редукторів ШГНУ.

Одним із актуальних завдань сучасного машинобудування є раціональне застосування мастил, що в багатьох випадках визначає працездатність і довговічність машин.

Під час проведення мастильно-заправних робіт необхідно суворо дотримуватися термінів виконання, застосовувати рекомендовані заводом-виробником сорти мастил.

Список літератури

1. **Закалов О.В.** Триботехніка і підвищення надійності машин [Текст]: О.В. Закалов. – Тернопіль: ТДТУ, 2000. – 354 с.
2. **Костецкий Б.И.** Трение, смазка и износ в машинах [Текст]: Б.И. Костецкий. – К.: Техніка, 1970. – 396с.
3. **Кіндрачук М.В.** Трибологія / М.В. Кіндрачук, В.Ф. Хабутель, М.І. Пашечко, Є.В. Корбут. – К.: Вид-во Національного авіаційного університету «НАУ-друк», 2009. – 232 с.
4. **Гаркунов Д.Н.** Триботехника [Текст]: Д.Н. Гаркунов. – М.: Машиностроение, 1985. – 424 с.
5. **Гаркунов Д.Н.** Избирательный перенос в тяжело нагруженных узлах трения / Д. Н. Гаркунов, С.И. Дякин, О.Н. Курлов, А.А. Поляков [и др.]. – М.: Машиностроение, 1982. – 205 с.
6. **Генкин М.Д.** Повышение надежности тяжело нагруженных зубчатых передач / М.Д. Генкин, М.А. Рыжов, Н.М. Рыжов. – М.: Машиностроение, 1981. – 232 с.
7. **Решиков В.Ф.** Трение и износ тяжело нагруженных передач / В.Ф. Решиков. – М.: Машиностроение, 1975. – 230 с.