

**РЕЗУЛЬТАТИ ПРОМИСЛОВИХ ВИПРОБУВАНЬ МОБІЛЬНОЇ
СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ДЛЯ ЗНЯТТЯ ВІБРАЦІЙНИХ
ХАРАКТЕРИСТИК РЕДУКТОРІВ СВЕРДЛОВИННОЇ ШТАНГОВОЇ
НАСОСНОЇ УСТАНОВКИ**

В статті приведені результати промислових испытаній експериментальної мобільної системи контролю (МСК) в умовах старейшого НПГУ «Долинанефтегаз», которое рещает важную економічну проблему України. Испытания показали достовірність і ефективність діагностування редукторів скважинної штангової насосної установки (СШГУ) с длительными сроками експлуатації розробленої МСК.

**RESULTS OF INDUSTRIAL TESTING MOBILE CONTROL SYSTEM
FOR REMOVING VIBRATION CHARACTERISTICS REDUCER ROD
PUMPING WELLS**

The results of pilot scale testing of mobile control system (MCS) in the oldest Corp. "Dolynanaftogas", which solves an important economic problem in Ukraine. Tests have shown the accuracy and efficiency of diagnosing gear downhole sucker rod pumping unit (DSRPU) long-life designed MCS.

НГУ «Долинанашта» було створено в 1957 р., у 1970 році перейменовано в НГВУ «Долинанаштагаз» і підпорядковано Державному об'єднанню «Укрнафта» у м. Києві. У 1994 році виробниче об'єднання перетворено у відкрите акціонерне товариство «Укрнафта». НГВУ «Долинанаштагаз» з виробничої одиниці перетворено у дочірнє підприємство зі статусом юридичної особи. У жовтні 1997 року «Долинанаштагаз» переведено у структурну одиницю ВАТ «Укрнафта». Сьогодні нафтагазовидобувне управління «Долинанаштагаз» розробляє десять нафтових родовищ, розташованих в межах Долинського і Рожнятівського районів Івано-Франківської області. Тільки у 2008 році видобуто 311 тис. тонн нафти та 87 млн. м³ газу. Тому НГУ «Долинанашта» складає значну частку в соціальному та економічному житті України. Більша частина обладнана НГУ «Долинанашта» експлуатується понад 60 років, мають місце численні відмови і аварії, кількість яких постійно зростає. З наземної частини устаткування свердловинної штангової насосної установки (СШГУ) редуктор є найбільш нестійким елементом (приблизно 1/3 відмовлень). Основний парк редукторів СШГУ складають ті, які пройшли багаторазові ремонти, тому середній ресурс становить не більше 8000 годин. Відомо, що найбільш важкі режими для редукторів СШГУ є зрушення і режим аварійного гальмування, при яких виникають інтенсивні коливання зубчастих коліс, що супроводжуються ударами зубчастих пар. Тому велике значення під час контролю МСК стану зубчастих пар редуктора СШГУ має процедура порівняння поточного спектру віброшвидкості зі спектром вібросигналу, зареєстрованим в попередньому замірі, який був виконаний на справному редукторі.



Рис. 1.- Свердловина НГВУ “Долинанафтогаз” №246-Д обладнана СШНУ з верстатую-гойдалкою UP-12Т (редуктор R-55 після 8 років експлуатації) (м. Долина).

Проведені діагностичні обстеження на трьох свердловинах НГВУ “Долинанафтогаз”, обладнаних СШНУ (рис. 1):

- св. №40-Д з верстатую-гойдалкою UP-12Т (редуктор R-55 після ремонту);
- св. №246-Д з верстатую-гойдалкою UP-12Т (редуктор R-55 після 8 років експлуатації);
- св. №58-ПД з верстатую-гойдалкою СК-8 (редуктор Ц2НШ-750Б після 8 років експлуатації).

Редуктор R-55 має евольвентне зачеплення, а редуктор Ц2НШ-750Б - зачеплення Новікова (ОСТ 26-02-1200-75 та ТУ 26-16-5-76).

Свердловини №40-Д та №246-Д обладнані верстатми-гойдалками однакового типу, з однаковими робочими параметрами (кількість качань за хвилину, маса і розташування вантажів) та розташовані на невеликій відстані одна від одної, що гарантує достатньо високу подібність характеру навантаження редукторів, тому порівняння вібраційних характеристик в даному випадку дозволяє коректно визначити вплив часу напрацювання редуктора R-55 на його вібраційний стан.

Технічні характеристики редукторів R-55 та Ц2НШ-750 наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 -- Технічні характеристики редукторів верстатів-гойдалок

Показники	R-55	Ц2НШ-750Б
Найбільший крутний момент, кНм	55	40
Норм. модуль:		
I ступені	5,114	5,000
II ступені	6,749	8,000
Число зубів шестерні:		
I ступені Z_1	20	15
II ступені Z_3	27	15
Число зубів колеса:		
I ступені Z_2	130	94
II ступені Z_4	150	89
Торцевий модуль:		
I ступені	6	-
II ступені	8	-
Кут I / II ступені	31°/32 °	-
Передавальне число	36,100	37,180
Об'єм масляної ванни, л	200	150
Маса, кг	4450	2820

Як відомо, наявність бокових гармонік є ознакою дефекту зубчатого колеса, що обертається з відповідною частотою (в даному випадку вихідного та проміжного валів). У випадку редуктора Ц2НШ-750Б це підтверджується і часовою діаграмою вібросигналу, де чітко видно ударні імпульси, що слідують із частотою обертання вихідного валу (рис. 2).

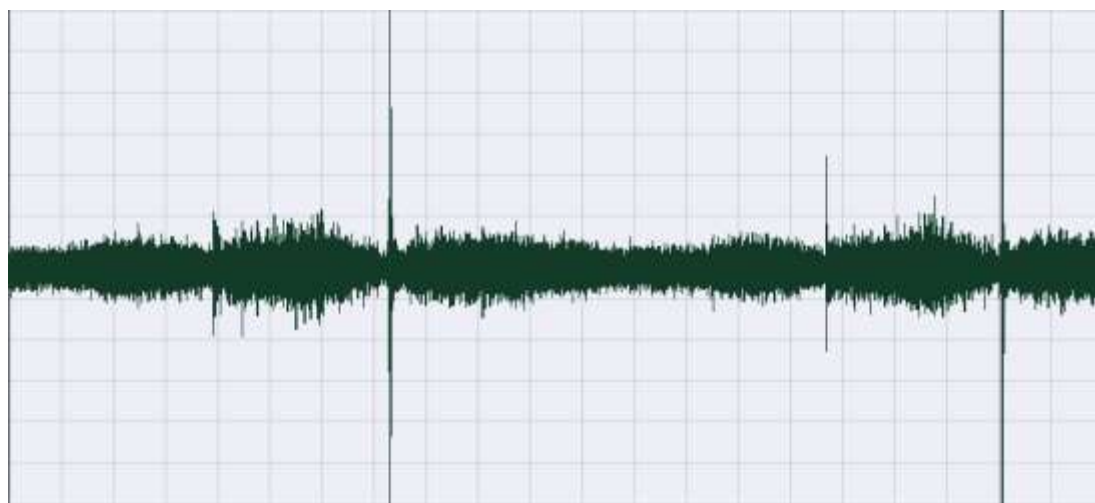
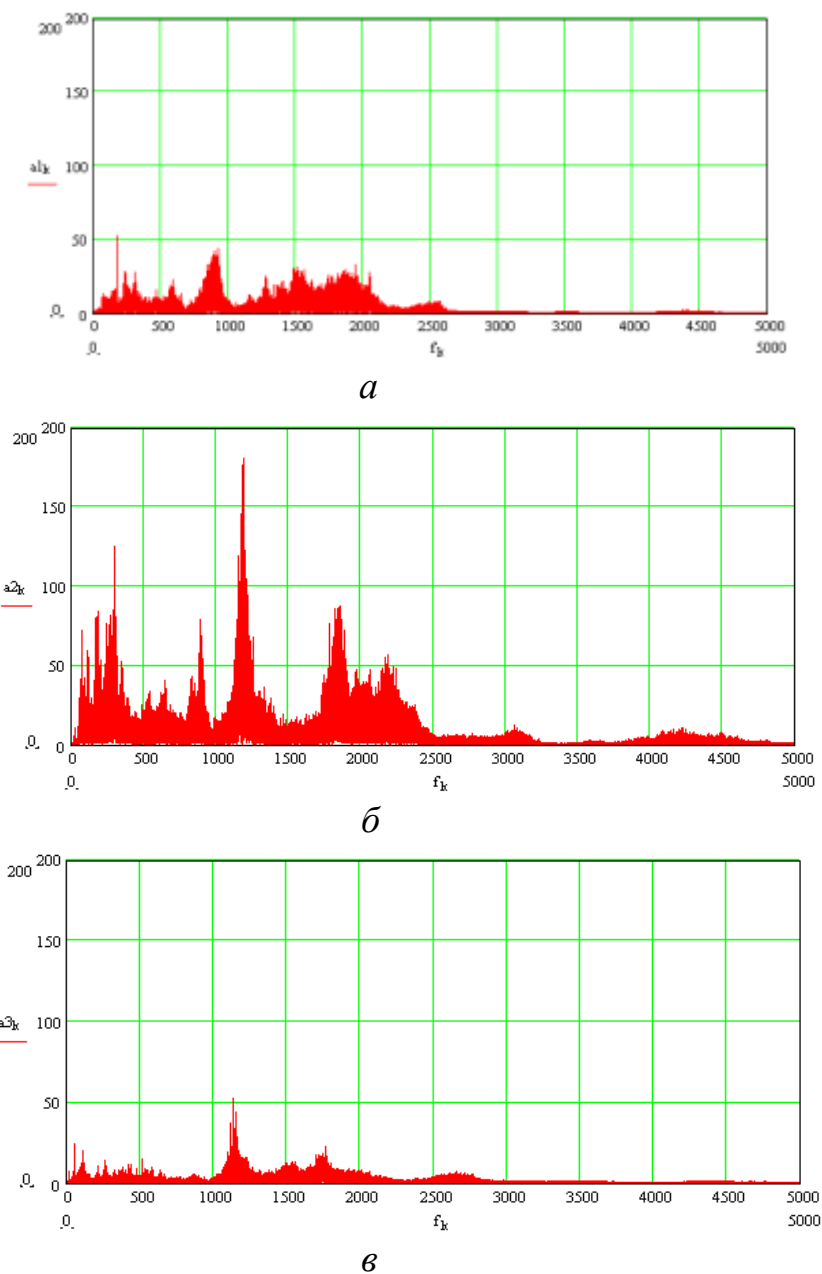


Рис. 2. - Часова діаграма вібросигналу редуктора Ц2НШ-750Б.

Давач під час випробувань встановлювався на корпус редуктора поблизу вихідного вала. Середня частота обертання вхідного вала редукторів R-55 та Ц2НШ-750Б складала під час проведення віброобстежень відповідно: $f_{\text{вх}} = 3,9 \text{ с}^{-1}$ та $f_{\text{вх}}' = 3,53 \text{ с}^{-1}$.

Отримані спектральні характеристики вібраційного сигналу редукторів, наведені на рис. 3, свідчать про суттєве підвищення рівня вібрації практично в

усьому діапазоні частот для зношеного редуктора R-55 в порівнянні з недавно відремонтованим. Спектр віброцигналу зубчатої передачі, яка перебуває в задовільному технічному стані, зазвичай містить складові на частотах обертання вхідного та вихідного валів, а також складову на частоті зачеплення. Також спостерігається велика різниця між амплітудами вібрації редукторів з евольвентним зачепленням та зачепленням Новікова, яка досягає 3...3,5 разів.



а – R-55 (св. №40-Д), після ремонту; *б* – R-55 (св. №246-Д), зношений;
в – Ц2НШ-750Б (св. №58-ПД), зношений
 Рис. 3 - Спектри вібрації редукторів СШНУ.

Редуктори верстатів-гойдалок є двоступеневими передачами, де генеруються дві частоти зачеплення f_{z1} та f_{z2} :

для редуктора R-55

$$f_{z1} = 20 f_{\text{вх}} \text{ та } f_{z2} = \frac{Z_3}{i_1} f_{\text{вх}} = \frac{20}{130} \cdot 27 f_{\text{вх}},$$

для редуктора Ц2НШ-750Б

$$f_{z1}' = 15 f_{\text{вх}}' \text{ та } f_{z2}' = \frac{Z_3'}{i_1'} f_{\text{вх}}' = \frac{15}{94} 15 f_{\text{вх}}',$$

де i, i_1' – передавальне відношення I ступені, z_3, z_3' – кількість зубів шестерні II ступені. Таким чином, для редуктора R-55 частоти зачеплення складають $f_{z1} = 78,1$ Гц та $f_{z2} = 16,3$ Гц, а для редуктора Ц2НШ-750Б – відповідно $f_{z1}' = 52,9$ Гц та $f_{z2}' = 88,5$ Гц.

Дослідження отриманих спектрів в діапазонах, близьких до частот зубозачеплення, дозволяє виявити виражені максимуми на частоті f_{z1} (рис. 3).

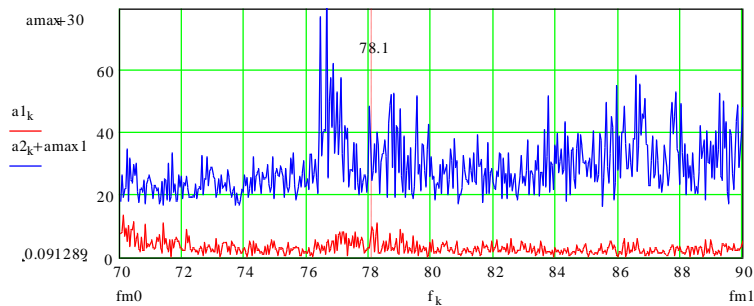


Рис. 4 - Спектри вібросигналів для нового і зношеного редуктора R-55 на частоті зубозачеплення.

На рис.4 спектри для нового і зношеного редуктора приведено на одному графіку. Для нового редуктора максимум не досить чітко виражений і має невелику амплітуду, на відміну від зношеного. На протязі періоду качання, що відповідає одному оберту вихідного валу редуктора, навантаження суттєво відрізняється для першого півперіоду (хід вниз – колона штанг розвантажена) та другого півперіоду (хід вгору – колона штанг навантажена вагою стовпа нафти всередині колони), що, очевидно, відповідає двом швидкостям обертання двигуна і відповідно двом «горбам» на частотній характеристиці зліва і справа від середньої частоти зубозачеплення. Також в обох випадках для зношених редукторів спостерігаються бокові смуги, віддалені від частот зубозачеплення на частоту обертання вихідного валу редуктора, та, менш виражено – на частоту обертання проміжного валу

Окрім частоти зубозачеплення, в спектрі вібросигналу наявна велика кількість «піків» і «горбів», на перший погляд, незрозумілого походження. Причиною їх наявності є коливання всіх елементів конструкції верстата-качалки на власній частоті кожного з елементів під дією ударних імпульсів, причому, як свідчать проведені дослідження, вібрація окремих елементів верстата-качалки і навіть підземної частини СШНУ (редуктор, кривошип, опора,

балансир, полірований шток штангової колони), виявляє кореляцію порядку 0.48...0.54. Максимальний вклад у вібрацію, виміряну на корпусі редуктора, окрім власних коливань валів зубчатих передач, вносять в першу чергу власні коливання підшипників, а також, імовірно, шківів клинопасової передачі, та, меншою мірою, всіх інших перелічених елементів.

Окремо слід виділити частотну смугу 1100-1800Гц, в якій виявляються широкі максимуми в спектрі вібрації. Згідно, наприклад, ця смуга частот відображає процеси тертя між елементами конструкції підшипників, причому при погіршенні умов тертя внаслідок потрапляння механічних домішок у мастило (що зумовлено зносом елементів) амплітуда спектральних складових суттєво збільшується. В даному випадку можна спостерігати таку смугу частот в області 1100...1300Гц для зношених редукторів обох типів, в той час, як для нового редуктора R-55 суттєво виражений максимум відсутній.

Аналіз вібраційних характеристик редукторів різних типів свідчить, що загальний рівень вібрації для редуктора з зачепленням Новікова в даному випадку є суттєво меншим (рис. 3), що свідчить про його високу експлуатаційну надійність.

В добре приробленому зачепленні Новікова зуби торкаються по лінії, завдяки тому, що приведений радіус кривизни в перерізі, перпендикулярному до лінії контакту, в багато раз (~100) перевищує приведений радіус кривизни евольвентної передачі. При цьому зростає площа плями торкання зубів, що і забезпечує більшу несучу здатність зачеплення Новікова.

У випадку для зношених редукторів (рис. 5) спостерігаються бокові смуги, віддалені від частот зубозачеплення на частоту обертання вихідного валу редуктора, та, менш виражено – на частоту обертання проміжного валу. Як відомо, наявність таких бокових гармонік є ознакою дефекту зубчатого колеса, що обертається з відповідною частотою (в даному випадку вихідного та проміжного валів).

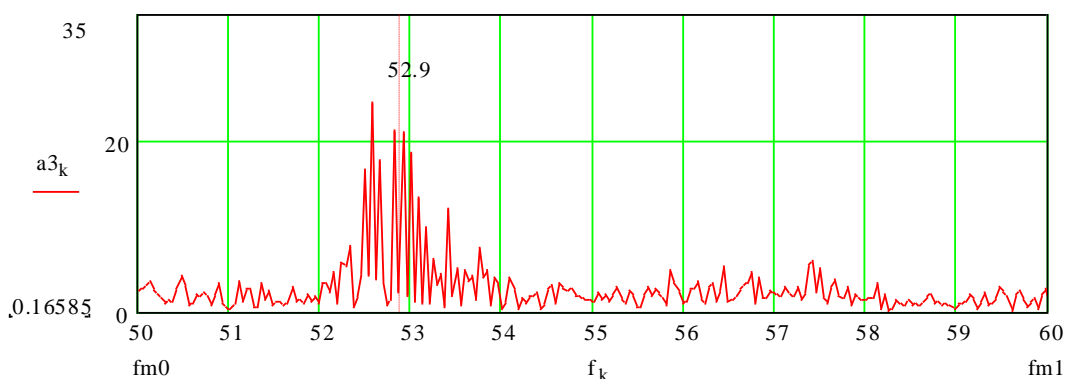


Рис. 5 - Спектри вібро-сигналів на частоті зубозачеплення редуктора Ц2НШ750Б (частота зубозачеплення колеса – 52,9 Гц).

Зсув по частоті між основним піком зубозачеплення і боковою гармонікою свідчить про те, яке зубчате колесо має дефект. Якщо зсув рівний оберненій частоті вхідного валу – дефект знаходиться на ньому. Якщо зсув рівний оберненій частоті вихідного валу, тоді дефект знаходиться на ньому. Деколи мають місце

бокові полоси від обидвох валів, при цьому найбільш дефектним буде той вал, бокові гармоніки якого будуть мати більшу амплітуду.

Бокові гармоніки в спектрі вібрації зубчатої пари виникають через дві причини. По-перше, під час проходження дефекту через зону контакту зубів у вібросигналі спостерігається різке збільшення амплітуди. Цей імпульс у вібросигналі повторюється через час, пропорційний одному оберту шестерні, з дефектним зубом. По-друге, під час проходження дефекту через зону контакту зубів вихідного вала, що обертається, дуже мале загальмовування, а потім таке ж прискорення. В іншому випадку, спочатку може бути прискорення, а потім гальмування. На спектрі в одному та іншому випадку виникають бокові, частіше всього симетричні, зубці поряд з частотою зубозачеплення, зсунутих на частоту повторення такого процесу. Якщо бокові гармоніки справа і зліва різняться за амплітудою, це свідчить про різну інтенсивність процесів гальмування і прискорення в момент проходження дефекту через зону контакту зубів передачі.

Якщо дефект знаходиться на вхідному валі, то процес проходження дефекту через зону зубозачеплення відбувається через один оберт цього вала і зсув бокових гармонік відносно гармоніки зубозачеплення пропорційний оберненій частоті вхідного вала. Якщо дефект знаходиться на вихідному валі, зсув бокових гармонік буде дорівнювати оберненій частоті вихідного вала.

На перших етапах розвитку дефектів зубозачеплення частота зубозачеплення і бокові гармоніки, які є синхронними компонентами, містять в собі практично всю потужність вібросигналу. Протягом свого розвитку дефект стає більш нестационарним, розподіленим за частотою, виникає багато процесів, які ведуть до «розмитості» потужності вібросигналу на спектрі [15, 22] 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 [15, 22]. Так відбувається до того часу, поки асинхронні гармоніки не зрівняються за амплітудою із синхронними. Це відбудеться в момент повної деградації зубчатої пари, коли замість процесів тертя в зубчатому спряженні, будуть виникати тільки динамічні удари.

Експериментальна мобільна система контролю (МСК), якої це виконано є новим приладом контролю.

Свердловинні штангові насосні установки (СШНУ) і шахтні підйомні комплекси (ШПК) - стаціонарні підйомні установки (СПУ) становлять важливу частку в соціальному та економічному житті України. ШПК це єдина ланка з'єднання гірської виробки з поверхнею, а СШНУ охоплює понад 65% діючого фонду свердловин на Україні. Відмінною особливістю устаткування СШНУ і ШПК – СПУ є безперервні технологічні процеси, що вимагають безперервного вимірювання аналогових параметрів, а також складність і вибухонебезпека устаткування (для виконання проектних робіт вимагається узгодження з Держтехнаглядом України), а основним джерелом змушених коливань у

СПУ є привід головного руху.

Створення МСК СПУ в остаточному підсумку припускає рішення основних взаємозалежних завдань:

1. Детальне вивчення СПУ з метою виявлення найбільш уразливих місць і складання переліку вихідних за припустимі норми безпечної експлуатації.

2. Локалізація джерел випромінювання підвищеної коливальної енергії в СПУ.

3. Вибір необхідних засобів контролю параметрів і місць розміщення датчиків на СПУ.

4. Визначення динамічних характеристик і математичних моделей контрольованого МСК з метою побудови моделі контролю СПУ.

5. Синтез ознак контролю, чутливих до зміни параметрів технічного стану контрольованого МСК СПУ, установлюються їхні граничні значення за вихідною інформацією по вібраційним параметрам, результатам обробки, що збільшує відношення сигнал/завада, і математичним моделям СПУ.

6. Розробляються алгоритми МСК визначення поточного технічного стану СПУ.

Тому у загальному виді пропонується гнучка функціональна блок-схема МСК СПУ, яка адаптується до умов та завдань контролю і представлена на рис.

6

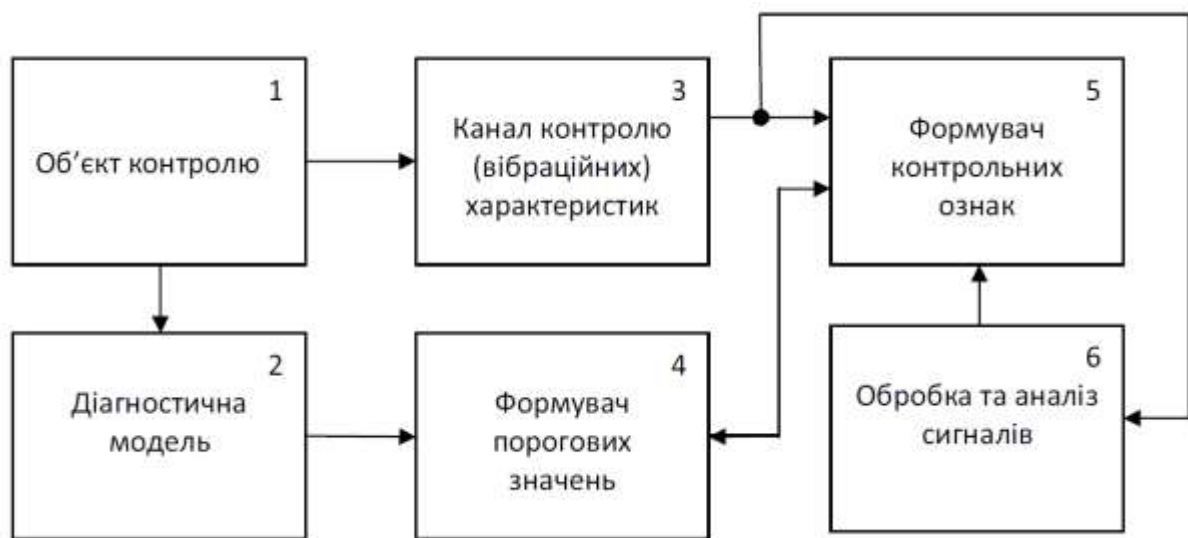


Рис. 6.- Гнучка функціональна блок-схема МСК технічного стану СПУ у загальному виді, яка адаптується до умов та завдань контролю.

На рис.6 МСК СПУ складається з об'єкта контролю 1 з набором технічних станів, що підлягають розпізнаванню - структурно-наслідкова схема контролю експлуатаційних дефектів, діагностичної моделі 2, каналів контролю (вібраційних) характеристик 3, формувача контрольних ознак 5, формувача граничних значень 4, обробки й аналізу сигналів 6.

Канали контролю 3 поставляють вихідну інформацію про стан об'єкта контролю 1, що втримується у вібраційному сигналі. Формувач контрольних ознак

5 технічного стану об'єкта 1 й окремих його елементів виконує функції перетворення вихідної інформації від 3 у відповідності алгоритмами виділення необхідних характеристик і параметрів до заданого класу дефектів, що підлягають контролю. Наприклад, контролю МСК стану зубчатих пар редуктору СШНУ. Для кожного класу дефектів формується в блоці 4 граничні значення параметрів, які постійно уточнюються в блоках 5 й 6 (усереднені для даного класу значення ознак контролю). Для формування контрольних ознак 5 і формувача граничних значень 4 використовується діагностична модель 2 полегшуючий процес пошуку інформативних компонентів контролю у вібраційному сигналі каналу контролю 3. Специфіка методів контролю дефектів, що зароджуються, полягає у використанні різноманітних прийомів підвищення чутливості компонент вібраційного сигналу до зміни технічного стану контрольованого об'єкта 1, оскільки на стадії зародження дефекту завада значно перевищує рівень корисного сигналу, що містить інформацію про зміну технічного стану об'єкта 1. Через необхідність залучення формальних методів, заснованих на неформальній діалоговій взаємодії МСК й оператора, блок обробки та аналізу сигналів 6 за результатами може коректувати формувач контрольних ознак 5 і формувач граничних значень 4.

У МСК, що пропонується, для виконання вібраційного контролю устаткування СПУ із установленою точністю й надійністю, можна виділити три необхідних етапи: *перетворення (вібропроцесу), усереднення й порівняння із граничними значеннями.*

При цьому, якщо в загальному випадку усереднення не можна зробити до перетворення, то операція порівняння із граничними значеннями параметрів й їхнє коректування може мати місце на будь-якому етапі процедури контролю СПУ за допомогою гнучкості запропонованої функціональної блок-схеми (рис. 6) та оптимізації вибору складу МСК, чого не було у попередників [1-12]. Із цього випливає особливість запропонованої схеми, що ***процедура може бути різною і залежати від контролю конкретної СПУ.*** Якщо порівняння виробляється безпосередньо після перетворення вібраційного сигналу в електричну форму, то як граничне значення використовується величина, що відповідає процесу контролю. Коли порівняння виробляється після перетворення, але до усереднення, граничним значенням служить величина оцінки процесу контролю. Нарешті, якщо порівняння є заключним етапом процедури контролю, як граничне значення виступає величина, зумовлена діагностичною моделлю. Формування граничних значень за допомогою діагностичної моделі враховує імовірнісні характеристики, які є добре відомі.

Пропонований МСК розбивається на дві великі підсистеми: систему збору даних і систему візуалізації. Система збору даних працює в режимі реального часу підконтрольного технологічного процесу СПУ, а система візуалізації - у реальному часі реакції людини.

Структура МСК СПУ базується на оптимізації параметрів апаратури контролю СПУ з урахуванням кінцевої дискретної множини альтернативних варіантів, сформованих за результатами їхніх випробувань на функціонально-

структурних моделях за допомогою пропонованого алгоритму процесу синтезу та концепції рішення проблем контролю стаціонарної підйомної установки. З цього виникає потреба в оптимізації стратегії контролю стану стаціонарної підйомної установки й вибір універсального критерію оптимальності, та вибору складу вимірювань мобільної системи контролю при обмеженні числа вимірювань.

Значний інтерес представляють залежності між допущеннями, при яких вирішується завдання контролю (тестові виміри) МСК, і отримуваними результатами. Як правило, вона вирішується в два етапи: на першому з них заздалегідь визначають наближені значення параметрів МСК, а на другому виробляють остаточне уточнення цих параметрів [13-15]. Відомий метод максимуму апостеріорної вірогідності, що дає можливість визначати стан системи (СПУ) не лише за результатами вимірювань, але і з урахуванням наявної апріорних відомостей [16-19]. Це здійснюється відомим методом рекурентної фільтрації, що дозволяє вирішувати задачу в темпі вступу вимірювальної інформації МСК. Для практичної реалізації вказаних вище методів рішення даної задачі необхідно задатися значеннями деяких імовірнісних характеристик помилок вимірювань і моделі. Зазвичай досить знати їх математичне очікування і коваріаційну матрицю (останню - з точністю до довільного позитивного множника). Проте на практиці фактичні значення цих характеристик не співпадають з прийнятими при побудові алгоритму обробки вимірювальної інформації МСК. Це у ряді випадків призводить до значного погіршення точності отримуваних результатів вимірювань в порівнянні з її оцінками, знайденими з теоретичних міркувань при заданих імовірнісних характеристиках помилок. Виходячи з вищевикладеного, нами розроблений новий неklasичний метод рішення даної задачі оцінки точності отримуваних результатів МСК, а також вибір оптимальної стратегії проведення і обробки контролю (див. п.2.6) У основу розробленого методу контролю лягли роботи М.Л. Лідова [20-21], де уперше запропоновано цей підхід для військово-космічних вимірювань. На відміну від відомого класичного в пропонованому методі імовірнісні характеристики помилок початкових даних МСК вважаються невідомими і задаються лише множини, до яких належать сумарні помилки або їх характеристики. Пропонований метод контролю [22] оснований на ідеї максимального використання всієї наявної інформації про СПУ, щоб отримати можливість перебороти аналітичні труднощі й знайти відповіді на поставлені питання контролю. Метод контролю відрізняється тим, що:

1. Формуються основні питання контролю СПУ, відповіді на які ми бажано отримати. Множина цих питань дозволяє задати множину параметрів - вектор стана СПУ.

2. Здійснюється декомпозиція СПУ на більш прості частини - блоки. В один блок об'єднуються компоненти вектора, що перетворюються по близьких правилах, становища й процеси, що їх перетворюють.

3. Формуються вимоги й гіпотези щодо контролю СПУ в цілому й в окремих її частинах. У кожному блоці для їхнього опису використовується свій матема-

тичний апарат, найбільш зручний для відповідного блока. Саме блоковий принцип дає можливість установлювати необхідні пропорції між точністю опису кожного блока, забезпеченістю його інформацією й необхідністю досягнення мети контролю.

З цього пропонується блок-схема процедури оцінювання придатності методу контролю (рис. 7)

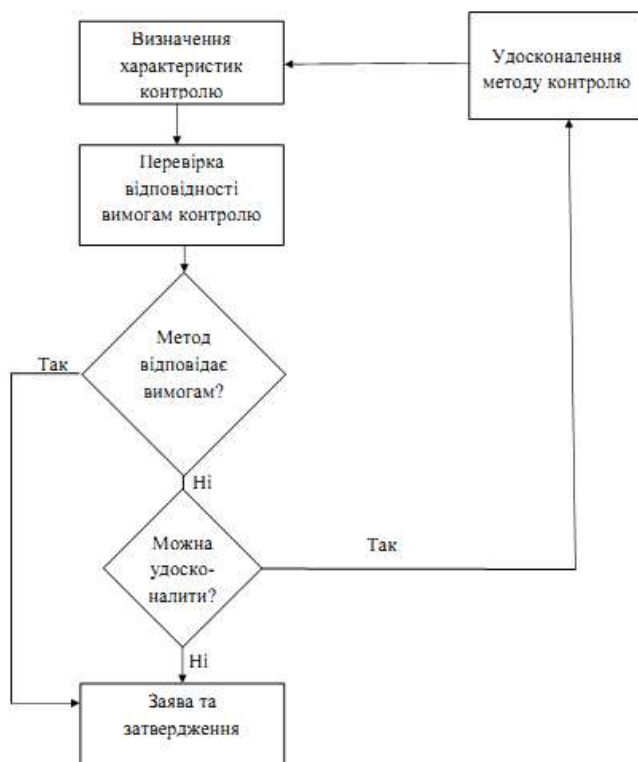


Рис. 7 Блок-схема процедури оцінювання придатності методу контролю МСК СПУ.

Таким чином.

Розроблено метод для вибору МСК на основі робіт М.Л. Лідова, на відміну від відомого, що в пропонованому методі імовірнісні характеристики помилок вихідних даних МСК вважаються невідомими й задаються лише множини, до яких належать сумарні помилки або їхні характеристики, а результати контролю аналізуються з обліком технічних характеристик МСК.

Проведені дослідження дозволяють зробити висновок, що підвищення достовірності діагностування редукторів верстатів-гойдалок можна досягти шляхом врахування при спектральному аналізі вкладу власних коливань всіх елементів конструкції СШНУ та особливостей її роботи, що спричиняють нестаціонарність вібросигналу на протязі періоду качання.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Заміховський, Л.М. Діагностика технічного стану глибинно-насосних установок / Л.М. Заміховський, В.А. Ровінський, О.В. Євчук О.В. - Івано-Франківськ: Симфонія форте, 2006. – 308с.
2. Локальна система діагностування штангових глибинно-насосних установок ДМНТЗ / О.В. Васьків, Л.М. Заміховський, В.А. Ровінський, В.М. Шумида // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. Сер.Техн. кіберн. та електриф. об'єктів паливо-енергет. комплексу. - Івано-Франківськ, 2000.- Вип. 37. – 71-79.
3. Методы и средства контроля технического состояния глубиннонасосного оборудования / Т.М. Алиев, В.А. Надеин, Л.М. Рысикин, А.А. Тер-Хачатуров // Нефтяная промышленность: Обзор инф. / ВНИИОСНГ. - М., 1981. – Сер. Автоматиз. и телемех. нефт. пром.. - 57с.

4. Lea, J.F. What`s new in artificial lift / J.F. Lea, H.V. Winkler, R.E. Snyder // Word Oil. - 2000. – Vol.221, No.3. – P.74.
5. Програмно-аппаратный комплекс исследования и диагностики ШГНУ (ПАК «КДС») [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.neftegazprogress.ru/nauka-dneft.shtml>. – Загол. з екрану.
6. Вибрации в технике: Справочник. В 6-ти томах / Ред.совет: В.Н.Челомей (пред).- М.: Машиностроение, 1981. – Т.5. Измерения и испытания / Под ред. М.Д. Генкина. - 496 с.,ил.
7. Генкин, М.Д. Виброакустическая диагностика машин и механизмов / М.Д. Генкин, А.Г. Соколова .- М.: Машиностроение, 1987.-288с.
8. Sheingold, D.H. Analog - digital conversion handbook / D.H. Sheingold. - Norwood, Mass.: Analog Devices, 1972. - 306 p.
9. Stearns, S. D. Digital signal analysis / S. D. Stearns. - Rochelle Park, N.J.: Hayden Book Co., 1978. - 234 p.
10. Мозгалевский, А.В. Техническая диагностика / А.В. Мозгалевский, Д.В. Гаскаров. - М.: Высш. шк., 1983. - 223с.
11. Jameson, B. Analyzing Data - Comm. Channels Requires Special Equipment Doing Special Measurements / B. Jameson // Electronic Design. - 2004 . - №10.- P.144-148
12. Lucas, M. Faulkenberry. SYSTEMS TROUBLESHOOTING HANDBOOK / M. Lucas. – N.Y.: John Wiley & Sons, inc. 2003. - 608p.
13. Вібраційний контроль моделі редуктора верстата-гойдалки. Сучасні проблеми трибології / Б.В. Копей, О.В. Євчук, О.І. Стефанишин., В.В. Лопатін, В.Б. Копей // Тези доповідей Міжнародної науково-технічної конференції, Київ, 19-21 травня 2010.- К.: ІВЦ АЛКОН НАН України, 2010. – С.189.
14. Алексеева, И.У. Теоретические и экспериментальные исследования законов распределения погрешностей, их классификация и методы оценки их параметров / Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.11.13 / И.У. Алексеева ; Уфимский авиационный университет. – Уфа, 1995. -20с.
15. Лопатин, В.В. Результати випробувань редукторів свердловиною штангової насосної установки розробленою мобільною системою контролю / В.В. Лопатин // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр.- Днепропетровск, 2012. - Вып. 98.- С. 309-314.
16. Эльясенберг, П.Е. О состоятельности оценок параметров движения космических объектов / П.Е. Эльясенберг // Космические исследования. – 1974. - Т. 12, вып.2 . - С. 404-421.
17. Эльясенберг, П. Е. Измерительная информация. Сколько её необходимо, как обрабатывать? / П.Е. Эльясенберг. - М.: Наука, 1983. - 208с.
18. Численные методы математической статистики. Алгоритмы и программы.- М.: Изд-во МГУ, 1999. - 267с.
19. Алиев, Т.А. Экспериментальный анализ / Т.А. Алиев. – М.: Машиностроение, 1991. – 272с.
20. Лидов, М. Л. К априорным оценкам точности определения параметров по методу наименьших квадратов / М.Л. Лидов // Космические исследования. - 1964 - Т. 2, вып.5. - С. 132-149.
21. Лидов, М.Л. Математическая аналогия между некоторыми оптимальными заданиями коррекции траекторий и выбором состава измерений и алгоритма их решения / М.Л. Лидов // Космические исследования. – 1985. - Т. 23, вып. 11. - 86-95.
22. Копей Б.В., Лопатін В.В., Стефанишин О.І. Мобільні вимірювальні системи в нафтогазовій та гірничій промисловості. Монографія. Івано-Франківськ, ІФНТУНГ, 2010, - 392с.

**ВЛИЯНИЕ ДИАМЕТРА БАРАБАНЫХ МЕЛЬНИЦ НА
ПРОЦЕССЫ МОКРОГО САМОИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ЖЕЛЕЗНЫХ РУД**

Наведені статистичні залежності впливу розмірів барабаних млинів самоподрібнення залізних руд на кількість утворююмого в них тонкого класу, галі та скрапу.

**INFLUENCE OF THE DIAMETER OF DRUM MILLS ON THE
PROCESSES OF WET AUTOGENOUS GRINDING IRON ORE**

These statistical dependence effect size drum mills samopodribnennya iron ore on the number utvoryuyemoho them thin class, gallium and scrap.

В процессе разработки железорудных месторождений периодически возникает вопрос о замене установленного оборудования новым – более производительным. Для процессов измельчения самым простым способом повышения производительности является увеличение размеров мельниц.

Предварительный расчет производительности новых барабанных шаровых мельниц на стадии не составляет труда. Он базируется на общепринятой достоверной статистической зависимости [1] между производительностью мельницы по заданному классу крупности q (как правило меньше 71 мкм, или меньше 44 мкм), внутренним диаметром мельницы D и ее длиной L

$$q \sim LD^{2.5} \quad (1)$$

и обеспечивает достаточную точность прогноза.

Иначе обстоит дело при оценке производительности новых мельниц самоизмельчения. Для ее расчета статистической зависимости (1) не достаточно. Самоизмельчение железных руд осуществляется в две, или три стадии. Мельница в каждой стадии выдает 2 продукта – мелкую фракцию, размером примерно 0,1 мм и крупную – до 50 мм.

Мельница первой стадии самоизмельчения получает исходную руду, крупностью до 300 мм и скрап из мельницы второй, или третьей стадии крупностью до 20 мм, а выдает рудную гальку крупностью 20 – 60 мм и промпродукт (пески) крупностью 0 – 0,2 мм.

Мельницы второй и третьей стадии получает рудную гальку и пески, а выдает кроме доизмельченных песков скрап, возвращаемый в головную мельницу.

Без оценки влияния размеров барабана на скорость образования рудной гали в головных мельницах, и скорость ее измельчения в мельницах второй стадии невозможно правильно выбрать мельницы по стадиям – одна из них будет недогружена. А таких зависимостей до настоящего времени не установлено.

Для анализа характера образования рудной гали в первой стадии, и ее измельчения во второй стадии наш институт использовал базу данных мо-