

ПРОЦЕСИ ЗНОШУВАННЯ В БАГАТОСТУПІНЧАТИХ СВЕРДЛОВИННИХ ВІДЦЕНТРОВИХ НАСОСАХ ТА ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ЇХ РОБОТИ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ МЕТОДАМИ

Викладено вплив технологічних факторів обробки поверхні торцевих пар тертя в електровідцентрових насосах для добування пластових рідин та оптимізовано їх параметри.

Изложено влияние технологических факторов обработки поверхности торцевых пар трения в электроцентробежных насосах для добычи пластовых жидкостей и проведено оптимизацию их параметров.

It examines the impact of technological factors of surface treatment of end friction pairs in electric submersible pumps for the extraction of reservoir fluids and their parameters are optimized.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Основними причинами відмов у роботі свердловинних відцентрових насосів є пошкодження ущільнення між робочими колесами і струмененаправляючими апаратами (рис. 1). Це пошкодження викликає осадку усіх робочих коліс, що призводить до защемлення валу та перевантаження зануреного електродвигуна, а так як він охолоджується прокачуваною проточною рідиною, то й погіршення його охолодження. Робоче колесо піддається найбільш інтенсивній дії абразивних частинок, які проникають в насос із вуглеводневою сировиною. Такі відмови у роботі зустрічаються в приблизно 34,1% випадків порушення працездатного стану насоса.

Аналіз досліджень та публікацій. Питанням спрацьовування поверхні деталей та виходу їх з ладу під дією різних факторів присвячено праці В.Н. Кашеева, І.Р. Клейса, В.Н. Ткачова, Ю.А. Євдокімова. В залежності від величини витіку через ущільнення може утворитися суцільна плівка по всій площі поверхні контакту (рідинне тертя), у цьому випадку зношування мінімальне.

При наявності достатньої рідинної плівки між поверхнями кілець, що труться, ущільнення не буде нагріватися і зношуватися, але при цьому матиме місце витік рідини між кільцями, який може бути значним. При гранично мінімальному змащенні поверхонь, що труться, витік різко зменшується, але при цьому може збільшуватися нагрівання [2, 3] і знос кілець. При сухому терті і незначному питомому тиску на кільцях можна

цілком усунути витік, але в цьому випадку нагрів і зношування кілець можуть досягти небезпечних значень.



Рис. 1. Пошкодження робочого колеса і струмененаправляючого апарата відцентрових електронасосів.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Основними умовами при виборі і конструюванні ущільнення є тиск (точніше, перепад тиску) між порожнинами, що ущільнюються, витік, зношування кілець, тобто довговічність ущільнення, внутрішнє і зовнішнє середовище, споживане потужність, температура нагрівання і т. д.

Недостатнє змащення і присутність абразивних частинок прискорюють їхнє зношування.

Постановка завдання. В роботі пропонується за рахунок обробки поверхні досягти оптимальних величин зношення забезпечивши регулювання товщини плівки змащування і охолодження.

Характер режиму потоку і кількість рідини, що протікає в зазорі торцевого ущільнення, є основними чинниками процесів зношування. Виходячи з попередніх досліджень приймають, що частинки рідини, проникаючи у вузьку щілину між кільцями, утворюють ламінарний потік. Кількість рідини, що протікає між цими двома нерухомими кільцями може бути орієнтовно визначено за допомогою рівняння ламінарного потоку:

$$q = \frac{\pi D h^3 p}{12 \mu b}, \text{ см}^3/\text{хв}, \quad (1)$$

де D - середній діаметр кільця в мм; h - середня висота зазору в мк; μ - динамічна в'язкість у $\text{кГ} \cdot \text{сек}/\text{м}^2$; b - ширина ковзкої поверхні кільця в мм; p - перепад тиску в $\text{кГ}/\text{см}^2$.

Приведене рівняння дає лише наближене теоретичне уявлення про можливий характер витіку і його залежність від деяких основних параметрів. Крім того, ламінарний рух рідини між поверхнями ковзання ущільнення можна скоріше віднести до часткового прикладу, ніж до загального явища.

При рідкому терті з великим витокком через щілину і певному стані поверхні тертя, рівняння (1) може дати меншу погрішність, чим при граничному терті.

Як показують дослідження торцевих ущільнень із граничним тертям, на величину витокку істотно впливає відцентровий тиск між дотичними поверхнями. Витік змінюється прямо пропорційно квадратові зазору між дотичними поверхнями і зворотно пропорційно квадратові питомого тиску на кільця. Стан поверхонь ковзання, тобто прямолінійність і шорсткість, дуже впливає на розподіл тиску в зазорі і витік.

Більш точно величина витокку встановлюється дослідним шляхом для кожного виду ущільнення окремо. Швидкість (інтенсивність) зношування для різних пар тертя коливається від сотих часток до десятків і сотень мікронів за годину.

Існує декілька методів визначення антифрикційних властивостей пар тертя. Одним із найпростіших методів, що не потребує випробувальних машин складної конструкції є зразок, який під час випробування притискується до диску що обертається. Але такий метод не може дати повної оцінки пари тертя, що працює у електровідцентрових насосах для добування нафти де величина тиску сягає до 30 МПа і температура рідини доходить до 150 °С. Випробування для визначення коефіцієнту тертя проводились на стенді для випробування на інтенсивність торцевого зношування пар тертя, за умов відсутності абразиву.

Величину коефіцієнту тертя визначали за формулою:

$$f = \frac{F_{mp.}}{\pi \cdot D \cdot b \cdot p_k}, \quad (2)$$

де $F_{mp.}$ - сила тертя, яка залежить від конструкції ущільнення; D – середній діаметр ущільнюючого кільця, см; b - ширина контакту ущільнюючого кільця, см; p_k – перепад тиску в ущільненні, МПа.

Сила тертя визначалась за формулою:

$$F_{mp} = F_p \cdot p_c / n - G, \quad (3)$$

де p_c - тиск рідини, яку перекачує насос, МПа; F_p - площа поверхні тертя, см²; n – кількість робочих ступенів насосу; G - маса робочого колеса, кГ.

Коефіцієнт тертя визначався для різних типів покриття та ущільнення.

Моделювання процесів торцевого зношування використовується для вирішення проблем по стійкості та для оцінки умов спрацювання трубоз'єднань у конкретних умовах експлуатації і при вивченні фізичних основ прогнозування їх довговічності.

Викладення матеріалу та результати. Межі працездатності моделі визначалися розрахунково-експериментальним шляхом. Для оцінки інтенсивності зношування пар тертя навіть для найбільш часто застосовуваних матеріалів ще не одержано простих залежностей, здатних описати процеси зношування.

У парах тертя розчинонасосів іде процес спрацювання за рахунок попадання абразиву між поверхнями тертя. У роботі [2] запропоновано формулу, яка характеризує в загальному вигляді об'єм зношування:

$$V_{\bar{n}\delta} = c \cdot \frac{S \cdot p \cdot d}{HV}, \quad (4)$$

де p – тиск, МПа; S – шлях тертя, м; d – діаметр абразиву, мм; HV – твердість поверхні тертя, МПа; c – коефіцієнт пропорційності, який залежить від властивостей матеріалу пари тертя і його значення наближається до коефіцієнту тертя.

Запишемо формулу (4) у вигляді:

$$V_{\bar{n}\delta} = \frac{c \cdot p \cdot d}{HV} \cdot S, \quad (5)$$

і врахуємо, що $S = \pi \cdot D_{сер}$, тоді отримуємо співвідношення:

$$S_{сер} = 12 \frac{q \cdot \mu \cdot b}{p \cdot R_z^3} \quad (6)$$

де R_z - шорсткість поверхні яка забезпечує мінімальний зазор в парі тертя h (формула 1).

Підставивши $D_{сер}$ у рівняння (6) отримаємо:

$$V_{сер} = \frac{c \cdot d}{HV} \cdot 12 \frac{q \cdot \mu \cdot b}{R_z^3} \quad (7)$$

Позначимо $\bar{n} \cdot d \cdot q \cdot \mu \cdot b = \varphi$ тоді вираз (7) прийме вигляд:

$$V_{сер} = 12 \frac{\varphi}{HV \cdot R_z^3} \quad (8)$$

В свою чергу відомо, що $R_z = \frac{S^2}{8 \cdot r^2}$ [7], де S - подача, а r – радіус заокруглення різця при вершині. Враховуючи, що інтенсивність спрацювання при торцевому терті буде залежати тільки від технологічних факторів обумовлених властивостями матеріалу та його обробітком, підставивши значення R_z у формулу (8), одержимо:

$$V_{сер} = \frac{6144 \cdot \varphi \cdot r^6}{HV \cdot S^6} \quad (9)$$

З урахуванням великої кількості змінних, що входять до функції φ , об'єм спрацювання при торцевому терті від технологічних факторів, в загальному вигляді можна записати виразом:

$$V_{\bar{n}\delta} = f(HV, r, S) \quad (10)$$

Для математичного моделювання процесу зношування від технологічних факторів використано поліном другого порядку.

$$Y = a_0 + a_1 x_1 + \dots + a_n x_n + a_{n+1} x_1^2 + \dots + a_{2n} x_n^2 + a_{2n+1} x_1 x_2 + \dots + a_m x_{n-1} x_n \quad (11)$$

Кількість дослідів при плануванні експерименту визначалася за формулою:

$$N=2n-p+2n+1 \quad (12)$$

з кількістю факторів плану $n=3$ та генератором плану $p=0$, звідси $N=23+2 \times 3+1=15$, з мінімальною кількістю повторень, що дорівнює трьом ($\gamma=3$), то загальна кількість експериментів дорівнює 45.

За фактори варіювання прийнято: V – швидкість різання, м/хв.; t – глибина різання, мм; S – подача, мм/об.

Функція відгуку (Y) – зношування поверхні тертя.

Для знаходження мінімального зношування тертя робочого колеса за режимами різання використана функція відгуку виду:

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_1^2 + a_5x_2^2 + a_6x_3^2 + a_7x_1x_2 + a_8x_1x_3 + a_9x_2x_3 \quad (13)$$

Значення факторів та рівні їх варіювання приведені в табл. 1.

Таблиця 1

Значення факторів та рівні їх варіювання

Фактори		Твердість матеріалу МПа	Радіус заокруглення вершини різця, мкм	Подача, мкм/об.
Найменування	Код	x_1	x_2	x_3
Основний рівень	0	4500	100	500
Зіркова точка	1,215	5470	122	610
Верхній рівень	1	4670	115	580
Нижній рівень	-1	4330	85	420
Зіркова точка	-1,22	3530	78	390

Результати досліджень у відповідності з планом експериментів занесені в табл. 2. Одержані результати опрацьовані на ПЕОМ з використанням прикладних та спеціально розроблених програм.

Визначено коефіцієнти регресії та одержано модель процесу у вигляді поліному другої степені:

$$y = 1,087 + 0,22x_1 + 0,741x_2 - 0,44x_3 - 0,50x_1^2 + 0,132x_2^2 + 0,472x_3^2 + 0,105x_1x_2 + 0,66x_1x_3 - 0,39x_2x_3 \quad (15)$$

Перевірка адекватності моделі проведена на основі критерію Фішера. Квадрат різниці відхилень $S_R=1,342711$, при числі ступенів свободи $\gamma=5$.

Дисперсія адекватності $S_R = 1,342711/5 = 0,2685$.

Помилка досліду (дисперсія відновлення) $Se=16,275$, з числом ступенів свободи $\varphi_2 = 30$ та кількістю повторень $\gamma = 3$.

Дисперсія коефіцієнтів $S^2 = 16,275/(3 \times 30) = 0,18083$. Перевірка адекватності виконувалась за критерієм Фішера:

$F=0,2685/0,18083=1,485 < F_{кр.}=19,3$, отже критерій Фішера моделі, менший - критичного.

На основі рівняння в кодованих значеннях побудовано графіки, які дають основну тенденцію впливу факторів варіювання.

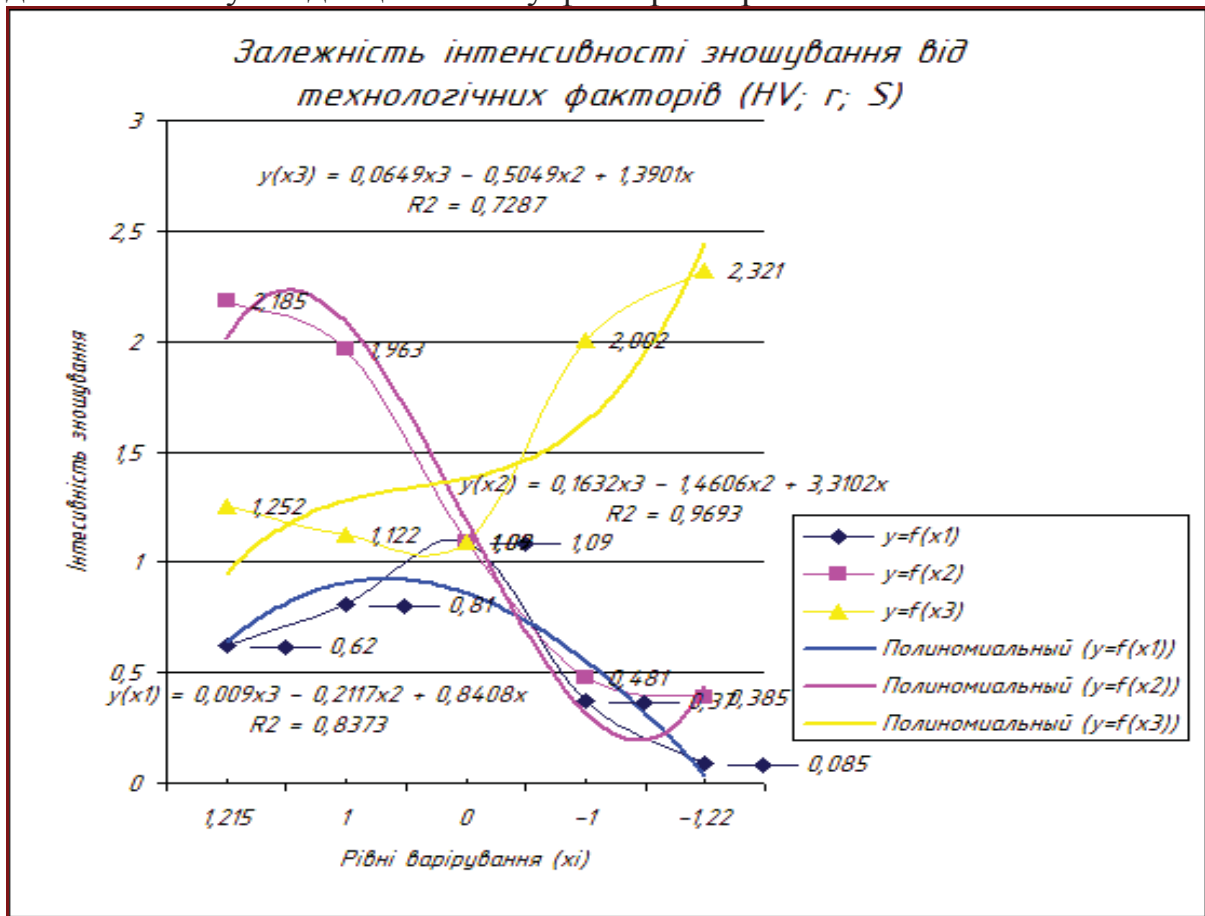


Рис. 2. Графіки основних залежностей при одній змінній при фіксації інших факторів на нульовому рівні.

Таблиця 2

Залежність інтенсивності зношування від технологічних факторів.

Кодовані значення факторів	$y=f(x1)$	$y=f(x2)$	$y=f(x3)$
1,215	0,62	2,185	1,252
1	0,81	1,963	1,122
0	1,09	1,09	1,09
-1	0,37	0,481	2,002
-1,215	0,085	0,385	2,321

Замінивши значення x_i на реальні величини одержано розрахункову формулу в реальній системі координат:

$$x_1 = \frac{HV - (X_{+1,215} + X_{-1,215})/2}{(X_{+1,215} - X_{-1,215})/2} = \frac{HV - (5470 + 3530)/2}{(5470 - 3530)/2}$$

для твердості поверхні тертя, м/хв.;

$$x_2 = \frac{r - (X_{+1,215} + X_{-1,215})/2}{(X_{+1,215} - X_{-1,215})/2} = \frac{r - (0,1 + 0,078)/2}{(0,1 - 0,078)/2}$$

для радіуса заокруглення вершини різця, мм .

$$x_3 = \frac{S - (X_{+1,215} + X_{-1,215})/2}{(X_{+1,215} - X_{-1,215})/2} = \frac{S - (0,5 + 0,39)/2}{(0,5 - 0,39)/2}$$

для подачі, мм/об.

Після проведених спрощень, одержано остаточну математичну модель:

$$\begin{aligned} \text{Знос} = & 77,26 - 0,0016 \cdot HV - 1162,65 \cdot r - 25,26 \cdot S - 5 \cdot 10^{-7} \cdot HV^2 + \\ & + 1090,91 \cdot r^2 + 156,04 \cdot S^2 + 0,11 \cdot HV \cdot r - 0,011 \cdot HV \cdot S - 646 \cdot r \cdot S \quad (16). \end{aligned}$$

Одержана залежність математично проаналізована на мінімальне значення величини зношування в залежності від технологічних факторів при виготовленні ущільнення.

Встановлено що мінімальне зношування (I_{min}) дорівнює $I=0,567$ мг/год, при $Ra = 2,88$ мкм, яке можна прирівняти до $Ra = 3,2$ мкм, що відповідає стандартній величині.

Висновки та напрямок подальших досліджень.

1. Найбільш слабким місцем у електровідцентрових насосах є ущільнення між ступенями, яке також сприймає зусилля від стовпа прокачуваної рідини.

2. При підвищенні температури взаємодії поверхні з абразивом різко зростає інтенсивність спрацювання і коефіцієнт тертя.

3. Математична модель проаналізована на мінімальне значення величини зношування в залежності від технологічних факторів при виготовленні ущільнення.

4. Встановлено, що інтенсивність зношування залежить від шорсткості поверхні тертя. Оптимальною шорсткістю поверхні тертя при даних випробуваннях є $Ra=3,2$ мкм, при якій інтенсивність спрацювання мінімальна та становить $I=0,567$ мг/год.

Список літератури

1. Калашников А.В. Методика визначення ресурсів роботи багатоступінчатих свердловинних відцентрових насосів / А.В. Калашников, І.А. Калашникова // Восточно-европейский журнал передовых технологий. Вып.2/1[20]., 2006р. -С.79-82.

2. Калашников А.В. Основные закономерности абразивного изнашивания газотермического покрытия / А.В.Калашников, Д.Г. Тищенко // Механизация строительства. Вып. № 12., 1997. -С. 26-29.

3. Калашников А.В. Анализ абразивного износа и методы повышения ресурса работы деталей растворонасосов / А.В.Калашников, В.М.Корж // Автоматическая сварка. Вып. №6., 1998г. -С.27-30 .

4. Крец В,Г., Саруев Л.А. Нефтепромысловое оборудование. - Томск: ТПУ, 2011. -236с.

5. Шишмарев В.Ю. Надежность технических систем.– М.: Академия, 2010. –304 с.

6.Адлер Ю.П., Марков Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. –М.: Наука, 1976. –276 с.

7.Дроздов Ю.Н., Павлов В.Г., Пучков В.Н. Трение и износ в экспериментальных условиях. Справочник. –М.: Машиностроение, 1986. –543 с.

8.Комбалов В.С. Методы и средства испытаний на трение и износ конструкционных и смазочных материалов. Справочник. -М: Машиностроение, 2008. – 384с.

УДК 621.926

К.Л. ШПИЛЬОВИЙ, інж., Л.В. ШПИЛЬОВИЙ, канд. техн. наук, ТОВ «Азов-Мінералтехніка», м. Волноваха

ВДОСКОНАЛЕННЯ РУДОПІДГОТОВКИ ПРИ ЗБАГАЧЕННІ НЕФЕЛІНОВИХ СІЄНІТІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ВИЛУЧЕННЯ ПРОХЛОРУ

Виконано дослідження щодо удосконалення технології збагачення нефелінових сієнітів Мазуровського родовища на основі селективного подрібнення мінералів перед гравітаційним розділенням у відцентровому полі.

Выполнено исследование относительно усовершенствования технологии обогащения нефелиновых сиенитов Мазуровского месторождения на базе селективного измельчения минералов перед гравитационным разделением в центробежном поле.

These researches have been done with the purpose of ore-dressing technology perfection for nefelin – siyenit ores of the Mazurovsky deposit on the basis of selective crushing of minerals before their gravitational separation in centrifugal field.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Збагачення бідних тонковкраплених руд рідкісних металів, зокрема ніобієвих, пов'язано з подоланням низки технологічних труднощів та характеризується низьким вилученням основного цінного компоненту в кондиційний концентрат. Для забезпечення прийняттого вилучення рідкісних металів та зниження їх втрат на стадії механічного збагачення іноді обмежуються отриманням чорнових концентратів чи напівпродуктів з низьким вмістом металу. Далі такі продукти переробляють відомими хімічними чи пірометалургійними методами, які забезпечують більш високе вилучення [1, 2].

Вивчення причин низького вилучення ніобію на стадії механічного збагачення та вдосконалення рудопідготовки для підвищення цього показника при отриманні чорнових концентратів є актуальною проблемою.

Аналіз досліджень і публікацій. Численні дослідження збагачуваності комплексних ніобієвих руд – нефелінових сієнітів Мазурівського родовища (Приазов'я), виконані в різні роки інститутами ГИРЕДМЕТ (м.