

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

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

Ключові слова: *електровідцентрові насоси, гідрозахисту електродвигуна; витік; ущільнення.*

Вступ. При видобуванні рідких корисних копалин, із свердловин, одним із основних агрегатів, які широко використовуються є насоси і серед них найбільш поширеним типом для глибин більше 2000 м є електричні відцентрові.

Як показав аналіз роботи цих насосів на промислах нафтових регіонів, оптимальний терміном їх роботи є 200...250 діб [1].

Підвищення надійності і довговічності роботи цих насосів дає можливість зменшити собівартість витрат на заміну занурених електровідцентрових насосів у свердловинах, які складають 50...60% від вартості самого обладнання.

Проблемам підвищення ресурсу та питанням спрацьовування поверхні деталей під дією різних факторів а особливо дії абразиву присвячено багато праць, де розглядаються різні аспекти даної проблеми.

Для аналізу причин відмовлення та розрахунку надійності, зібрано й опрацьовано матеріали із 100 установок електровідцентрових насосів НГВУ „Полтаванафтогаз” Глинсько–Розбишевського родовища.

На основі цих матеріалів установлено, що у 73 випадках відмовлення виникли в електровідцентрових насосах, що становить 41,42% від загальної суми відмовлень.

Друге місце серед усіх відмовлень займає пошкодження електричного кабелю – 32,33%.

На третьому - пошкодження пристрою гідрозахисту електродвигуна – 16,5%.

Основними причинами відмовлення від роботи є пошкодження ущільнення між робочими колесами і струмененаправляючим апаратами (рис.1), це пошкодження викликає осадку усіх робочих коліс, що призводить до защемлення валу та викликає перевантаження зануреного електродвигуна, погіршенню його охолодження, так як він охолоджується проточною рідиною, що прокачується. Воно піддається найбільш інтенсивній дії абразивних часток, які проникають в насос із вуглеводневою сировиною. Такі відмовлення у роботі зустрічаються в 30...35 випадках, що становить приблизно 34,1%.

Змащування поверхонь торцевого ущільнення, що труться здійснюється рідиною, що перекачується.

Огляд останніх джерел і публікацій. В залежності від величини витіку через ущільнення може утворитися суцільна плівка по всій площі поверхні контакту (рідинне тертя) то зношування буде мінімальне.

При наявності гарної рідинної плівки між поверхнями кілець, що труться, ущільнення не буде нагріватися і зношуватися, але при цьому витік рідини між кільцями буде значний. При граничному змащенні поверхонь, що труться, витік може різко зменшуватися, 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.

Виділення невіршених 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 часток прискорюють їхнє зношування.

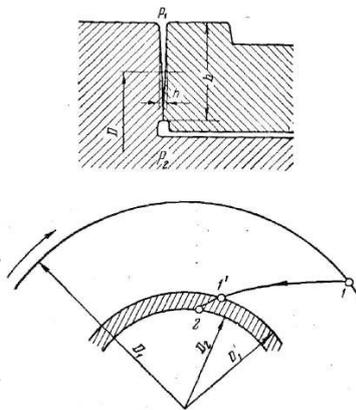


Рисунок 1 - Бічний розріз ущільнення.

Постановка завдання. В роботі пропонується за рахунок обробітку поверхні досягти оптимальні величини зношення забезпечивши регулювання товщини плівки змащування і охолодження.

Характер режиму потоку і кількість рідини, що протікає в зазорі торцевого ущільнення, для ідеального випадку можна уявити собі, користуючись рис. 2 і вважаючи при цьому, що частки 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 ковкої 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. Ламінарний рух рідини між поверхнями ковзання ущільнення можна скоріше віднести до часткового прикладу, чим до загального явища.

При рідкому терті з великим витіком 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 витіку 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 витіку 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 температури 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.

Основний матеріал і результати. Межі працездатності моделі визначалися розрахунково-експериментальним шляхом. Для оцінки інтенсивності зношування пар тертя навіть для найбільш вживаних 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:

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

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.

Враховуючи, що твердість матеріалу є одним із вирішальних факторів на інтенсивність зношування, то в даній роботі пропонується поверхні пари тертя зміцнити шляхом нанесення зносостійкого газотермічного покриття.

Існує цілий ряд порошкових матеріалів для створення зносостійких покриттів, до складу яких входять дорогі і дефіцитні компоненти.

Для здешевлення собівартості порошкових матеріалів пропонується додавати більш дешеві компоненти, одним із яких є базальт.

Базальт відноситься до магматичних порід, що характеризуються певним хімічним і мінеральним складом.

Головними компонентами, з яких полягають магматичні гірські породи, є дев'ять елементів: О, Si, Al, Fe, Mg, Ca, Na, K, Н. Ці елементи названі М. Вашингтоном петрогенними, на відміну від металогенних елементів, що становлять головну масу руд.

Мінерали, які своєю присутністю вказують на певні особливості хімічного складу магматичних порід, називаються симптоматичними. Наприклад, на ступінь насичення

порід оксидом кремнію вказує кварц, який утворюється тільки тоді, коли зміст SiO_2 у магмі перевищує критичне число, яке повинне вступити в сполуки з металами. Кристали олівину сприяють цьому процесу.



Рисунок 2 - Відновлені робочі деталі та струмененаправляючого апарату відцентрових електронасосів.

При взаємодії металевих порошоків з олівіном утворюється зносостійке покриття.

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

$$Y = a_0 + a_1x_1 + \dots + a_nx_n + a_{n+1}x_1^2 + \dots + a_{2n}x_n^2 + a_{2n+1}x_1x_2 + \dots + a_mx_{n-1}x_n \quad (5).$$

Кількість дослідів при плануванні експерименту визначалася за формулою:

$$N = 2n - p + 2n + 1 \quad (6)$$

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 проведення оптимізації мінімального зношування тертя робочого колеса за режимами різання приймалась функція відгуку виду:

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_1^2 + a_5x_2^2 + a_6x_3^2 + a_7x_1x_2 + a_8x_1x_3 + a_9x_2x_3 \quad (7).$$

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

Таблиця 1 - Значення факторів та рівні їх варіювання

Фактори		Твердість матеріалу МПа	Концентрація базальту, %	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 занесене 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:

$$y=1,087+0,22x_1+0,741x_2-0,44x_3 -0,50x_1^2+0,132x_2^2+0,472x_3^2+0,105x_1 x_2+0,66x_1x_3-0,39x_2x_3 \quad (8).$$

Перевірка адекватності моделі проведена на основі критерію Фішера.

Квадрат різниці відхилень $S_R = 1,342711$, при числі ступенів свободи $\nu=5$.

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 $\nu = 3$.

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.

Таблиця 2 – Залежність інтенсивності зношування від технологічних факторів.

Кодовані значення факторів	$y=f(x_1)$	$y=f(x_2)$	$y=f(x_3)$
1,215	0,62	15,185	1,252
1	0,81	14,63	1,122
0	1,09	11,09	1,09
-1	0,37	8,481	2,002
-1,215	0,085	6,385	2,321

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

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

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 концентрації базальту в порошок, %.

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

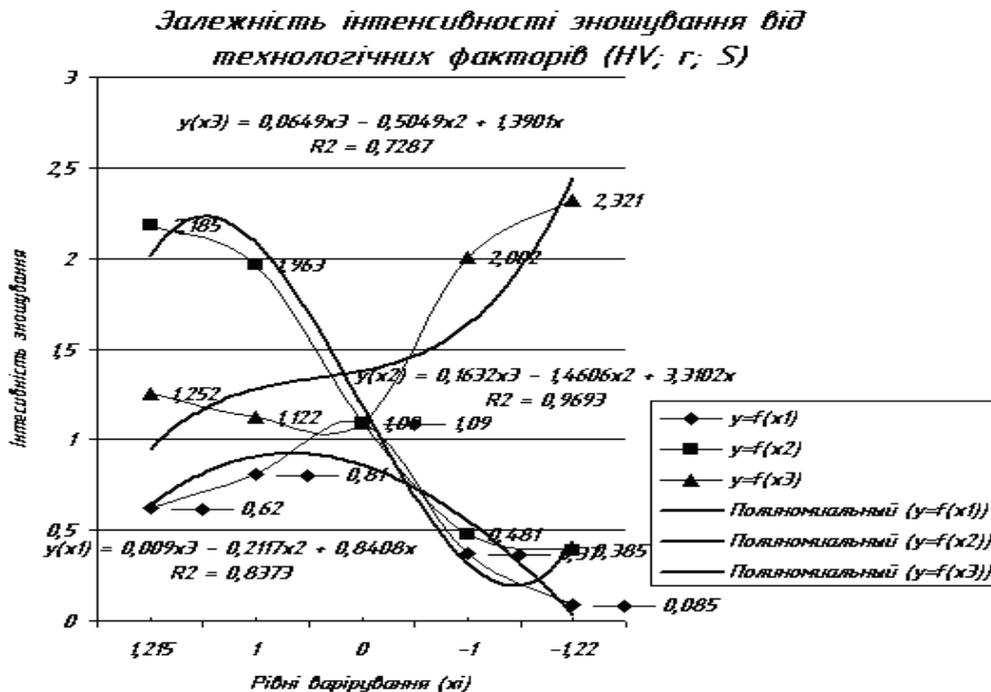


Рисунок 3 – Графіки основних залежностей при одній змінній при фіксації інших факторів на нульовому рівні.

Після проведених спрощень, одержано остаточну математичну модель:

$$I = 77,26 - 0,0016 \cdot HV - 1162,65 \cdot r - 25,26 \cdot S - 5 \cdot 10^{-7} \cdot HV^2 + 1090,91 \cdot r^2 + 156,04 \cdot S^2 + 0,11 \cdot HV \cdot r - 0,011 \cdot HV \cdot S - 646 \cdot r \cdot S \quad (9)$$

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 концентрації базальту $r = 10,88$ %/

Висновки: 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 [5].

3. Для оцінки об'єму спрацювання в залежності від різних факторів твердості металевих поверхонь та властивостей абразиву найбільш придатною є формула Хрущова-Бабічева, але вона не враховує фізичних характеристик шару покриття.

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

5. Встановлено, що інтенсивність зношування залежить від шорсткості поверхні тертя. Оптимальною шорсткістю поверхні тертя при даних випробуваннях є $r = 10,88$ %, при якій інтенсивність спрацювання мінімальна та становить $I = 0,567$ мг/год.

Література

1. Калашиников А.В. Методика визначення ресурсів роботи багатоступінчатих свердловинних відцентрових насосів / А.В.Калашиников, І.А. Калашиникова // *Восточно-европейский журнал передовых технологий*. Вып.2/1[20]., 2006р. - С.79-82
2. Калашиников А.В. Основные закономерности абразивного изнашивания газотермического покрытия / А.В.Калашиников, Д.Г. Тищенко // *Механизация строительства*. Вып. № 12., 1997г. - С. 26-29.
3. Калашиников А.В. Анализ абразивного износа и методы повышения ресурса работы деталей растворонасосов / А.В.Калашиников, В.М.Корж // *Автоматическая сварка*. Вып. №6., 1998г. - С.27-30
4. *Нефтепромысловое оборудование. Справочник под ред. Е.И. Бухаленко*. - М.: Недра, 1990.
5. Проникав А.С. *Надежность машин*. - М.: Машиностроение, 1978, с.592
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. Икрамов У.А. *Расчетные методы оценки абразивного износа*. - М.: Машиностроение, 1987. - 287с.
9. Е.Н. Граменицкий, А.Р. Котельников, А.М. Батанова, Т.И. Щекина, П.Ю. Плечов. *Экспериментальная и техническая петрология*. / Москва, МГУ, 1986. - 296с.

© І.А.Калашникова, А.В.Калашников.

УДК 622.276.05.004

І.А.Калашникова, ассистент

А.В.Калашников, к.т. н., доцент

Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка

ПРОЦЕССЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ В МНОГОСТУПЕНЧАТЫХ БУРОВЫХ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСАХ ТА ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ИХ РАБОТЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ СПОСОБАМИ

Изложено влияние технологических факторов обработки поверхности торцевых пар трения в электроцентробежных насосах для добычи пластовых жидкостей и оптимизировано их параметры.

Ключевые слова: *электроцентробежные насосы, гидрозащита электродвигателя; исток; уплотнение.*

UDC 622.276.05.004

I.A.Kalashnikova, assistant

A.V.Kalashnikov, Ph.D.

Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University

IMPROVING LIFE OF MNOGOSTUPENCHASTYH SKVAZHENNYH CENTRIFUGAL PUMPS TECHNOLOGICAL METHODS OF PROCESSING SURFACE

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.

Keywords: *electric centrifugal pumps, motor seal section, source, seal.*