



УДК 622.276.054

## СТАТИСТИЧНІ МОДЕЛІ ВІДМОВ КОЛОН НАСОСНИХ ШТАНГ

*В.Б. Коней*

*ІФНТУНГ, вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, Україна, 76019  
e-mail: vkorey@gmail.com*

Відмови колони насосних штанг є найбільш затратними під час експлуатації свердловинних штангових насосних установок, що пов'язано з необхідністю проведення ловильних і спуско-підіймальних ремонтних робіт. Для виявлення залежностей частоти відмов від різних факторів часто використовують статистичні методи обробки даних про відмови [1, 2]. Як правило найточніші прогнози відмов можна отримати тільки для тих типів свердловин, на основі яких були побудовані статистичні моделі відмов. Тому виробництву потрібно запропонувати не моделі, а саму методика побудови точних і робастних статистичних моделей. Метою роботи є демонстрація можливості побудови таких моделей за допомогою методів індуктивної самоорганізації моделей [3].

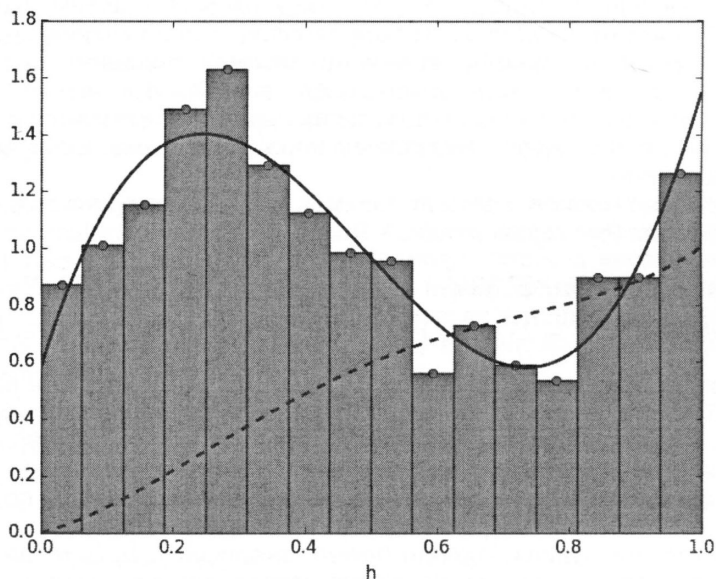
Моделі розробляли на основі статистичних даних про відмови колон в НГВУ «Долина нафтогаз» [2]. Будували моделі  $f(h)$  – функції густини імовірності відмов для випадкової величини  $h$  (відносна глибина обриву). Функцію  $f(h)$  шукали шляхом апроксимації значень відносно частоти відмов на різних інтервалах  $h$  поліномом. Коефіцієнти кожного полінома шукали методом найменших квадратів. Точність апроксимації оцінювали за допомогою коефіцієнта детермінації  $R^2(y, f(x))$  – квадрата коефіцієнта кореляції Пірсона векторів емпіричних  $y$  і теоретичних  $f(x) = (f(x_1), f(x_2), \dots, f(x_n))$  значень. Найкращу модель шукали серед множини поліномів  $F$ , яка утворена з усіх можливих комбінації членів повного полінома четвертого степеня. Для перехресної перевірки моделі емпіричні дані ділили на три групи: група 0 – усі точки  $x, y$ ; група 1 – непарні точки  $x_1, y_1$ ; група 2 – парні точки  $x_2, y_2$ . Виберемо поліном  $f$  з множини  $F$ . Для кожної групи 0, 1, 2 знайдемо його коефіцієнти та одержимо поліноми  $f_0, f_1, f_2$ . Критерій пошуку – максимальне значення узагальненого критерію  $S$ , який є середнім арифметичним значенням оцінок:  $R^2(y, f_0(x)), R^2(y_2, f_1(x_2)), R^2(y_1, f_2(x_1)), R^2(f_1(x), f_2(x))$ .

Розглянемо усі відмови колон без урахування відмов полірованого штока. Кількість відмов  $N=569$ . Найкраща модель  $f(h)$  (1) і гістограма



відносних частот показана на рис. 1. Тут  $F(h)$  – кумулятивна функція розподілу ймовірностей відмов.

$$f(h) = 0,58 + 7,54h - 20,46h^2 + 13,89h^3, R^2 = 0,863, S = 0,864, N = 569 \quad (1)$$



**Рисунок 1 - Емпірична залежність відносної частоти відмов від відносної глибини обриву  $h$  і теоретичні функції  $f(h)$  (-) та  $F(h)$  (- -)**

Крива функції  $f(h)$  має  $S$ -подібний вигляд з двома мінімумами ( $h=0, h=0,7$ ) і двома максимумами ( $h=0,25, h=1$ ) та подібна на криві моделей, отриманих раніше методом найменших квадратів [2]. Фактори, які впливають на частоти відмов на різних інтервалах  $h$ , описані в працях [1, 2, 4, 5]. Зокрема в праці [5] підвищення частоти відмов в середніх і нижніх ділянках колони пояснюють дією значних динамічних навантажень (гідравлічних ударів), які спричинені запізненням руху плунжера у порівнянні з рухом точки підвіски.

Розроблено також моделі відмов колон з насосами різного діаметра: малого – 29 та 32 мм (2), середнього – 38 та 44 мм (3), великого – 57, 70 та 95 мм (4).

$$f(h) = 1,77 - 9,9h^2 + 10,2h^3, R^2 = 0,547, S = 0,592, N = 106 \quad (2)$$

$$f(h) = 0,33 + 10,74h - 28,09h^2 + 18,67h^3, R^2 = 0,579, S = 0,523, N = 194 \quad (3)$$



$$f(h) = 0,49 + 5,64h - 10,2h^2 + 5,49h^4, R^2 = 0,477, S = 0,595, N = 269 \quad (4)$$

В цілому ці результати відповідають отриманим раніше [2] – обриви колон з насосами великого діаметра частіше відбуваються в їх нижній частині. У випадку застосування насосів з малим діаметром першої максимум  $f(h)$  знаходиться на гирлі. Зі збільшенням діаметра насоса зростає кількість відмов в нижній половині колони, а екстремуми кривої  $f(h)$  зміщуються вправо. Це пояснюють [4] збільшенням навантажень стиску, згину і кручення на колону в нижній її частині, які призводять до процесів корозійної втоми, зношування та відгвинчування.

Отримано також моделі відмов в безпарафіністих (5) і парафіністих (6) свердловинах.

$$f(h) = 0,52 + 8,87h - 22,38h^2 + 14,03h^3, R^2 = 0,797, S = 0,883, N = 339 \quad (5)$$

$$f(h) = 0,94 + 7,5h^2 - 25,6h^3 + 19,83h^4, R^2 = 0,795, S = 0,505, N = 229 \quad (6)$$

В парафіністих свердловинах суттєво менша імовірність відмов в верхній частині колони, що можна пояснити зменшенням корозійно-втомних відмов внаслідок наявності захисного шару смолопарафіністих утворень на поверхні штанги. Можливо також побудувати такі моделі для різних типів відмов (по тілу, по різьбі, відгвинчування).

Побудовано також поліноміальні регресійні моделі виду  $f(h, Pump)$ , де  $Pump$  – діаметр плунжера свердловинного насоса. Моделі отримано за допомогою методу індуктивної самоорганізації моделей шляхом використання програми GMDH Shell 3 [6]. Спочатку для кожного інтервалу значень діаметрів насоса будували гістограму величини  $h$ . Кількість інтервалів для  $h$  – 14, для  $Pump$  – 4.

Налаштування алгоритму [6]: спосіб вибору спостережень – парні/непарні, спосіб перевірки – перехресна перевірка з виключенням по одному, критерій  $S$  вибору моделі – середній квадрат помилки навчання-перевірка, основний алгоритм – покроковий змішаний. В більшості випадків повний поліном задавався з наступними обмеженнями: максимальна степінь змінної 3, мінімальна – (-1), максимальна сума степенів в члені – 6, максимальна кількість змінних в члені – 2. Для цього критерію  $S$  кращою моделлю вважається модель з меншим його значенням. В деяких випадках замість моделі з меншим значенням критерію вибиралась більш проста модель, якщо значення їх критеріїв не суттєво відрізнялись. Точність моделі оцінювалась за коефіцієнтом детермінації  $R^2$ .

Модель для усіх відмов крім відмов штока (парафіністи і безпарафіністи свердловини):



$$f = -0,27109 + 12,5111h + 18,6381h^3 - 28,9086h^2 + \\ + 1,64308/(h \cdot Pump) - 14,02h/Pump, \quad (7) \\ R^2 = 0,5, \quad S = 0,05707$$

На відміну від попередніх простих моделей ця модель змогла задовільно описати локальний мінімум густини відмов в зоні  $h=0,1$  та локальний максимум біля  $h=0$  для насосів малого діаметра. Їх можна пояснити такими факторами як максимальні напруження розтягу та максимум товщини захисного шару парафіноутворень на колоні в зоні  $h=0..0,1$ .

Такі моделі можуть бути використані для обґрунтування заміни штанг на глибині  $h$  колони у разі її підйому. Після певного наробітку колони така заміна полягає у перестановці штанг з високоаварійних секцій у низькоаварійні і навпаки. У першу чергу це важливо для зменшення втомних відмов штанг. Інтервали з підвищеною густиною імовірності відмов під час проектування колони потрібно оснащувати деталями з посиленою конструкцією.

#### Літературні джерела

1 Вирновский, А.С. Теория и практика глубинно-насосной добычи нефти. Избранные труды / А.С. Вирновский - М.: Недра, 1971. - 184с.

2 Копей, В.Б. Підвищення ресурсу штангової колони при видобутку парафінистих нафт [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.12: захищена 16.11.04: затв. 09.03.05 / Копей Володимир Богданович. - Івано-Франківськ, 2004. - 175 с.

3 Ивахненко, А. Г. Моделирование сложных систем по экспериментальным данным / А. Г. Ивахненко, Ю. П. Юрачковский - М.: Радио и связь, 1987. - 120 с.

4 Адонин, А. Н. Добыча нефти штанговыми насосами. / А. Н. Адонин. - М.: Недра, 1979. - 209с.

5 Галимуллин, М. Л. Разработка технических средств повышения работоспособности скважинных плунжерных насосов [Текст] : автореф. дис. на соиск. уч. ст. к.т.н. 05.02.13 / М. Л. Галимуллин; Уфимский государственный нефтяной технический университет. - Уфа, 2004. - 25 с.

6 GMDH Shell Documentation [Electronic resource]. – Mode of access: <https://gmdhsoftware.com/docs/>