

УДК 622.276.054

СТРАТЕГІЯ ОНОВЛЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ КОЛОНИ НАСОСНИХ ШТАНГ НА ОСНОВІ ТЕОРІЇ ЛАНЦЮГІВ МАРКОВА**В. В. Лопатін¹, Б. В. Копей², І. Б. Копей³**

¹Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України;
49005, Дніпро-5, вул. Сімферопольська, 2а;
тел. +38(0562) 46-01-51; e-mail: vlor@ukr.net

²Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу;
76019, Івано-Франківськ, Карпатська 15;
тел. +38(0342) 72-71-01, e-mail: koreyb@ukr.net

³ПрАТ “Івано-Франківський локомотиворемонтний завод”;
76000, м. Івано-Франківськ, вул., Залізнична, 22;
тел. +38(066)4553886; e-mail: koreyi@i.ua

Для прогнозування ресурсу роботи насосних штанг запропоновано застосовувати теорію ланцюгів Маркова. Розглядається методика розрахунку запасу насосних штанг, який необхідно мати для відновлення елементів колони, що вийшли з ладу. За допомогою методики можна підготувати замовлення на необхідну кількість насосних штанг для свердловини.

Ключові слова: ланцюги Маркова, ресурс, насосна штанга, оновлення.

Постановка проблеми. Процес оновлення насосних штанг має випадковий характер [1-5]. Математично дану операцію в умовах стохастичної невизначеності можна розглядати як марківський випадковий процес. Для будь-якого наступного моменту часу імовірнісні характеристики процесу оновлення залежать тільки від стану насосних штанг в даний момент часу і не залежать від того, коли штанга набула цього стану [1].

Мета дослідження. Побудувати модель на основі марківського випадкового процесу з дискретним часом в заданому просторі, тобто ланцюг Маркова (*Markov Chain*) [1, 3, 5].

Виклад основного матеріалу дослідження. Припустимо, що в колоні насосних штанг періодично оновляли певну кількість штанг за початкової кількості штанг в колоні рівній 100. Працездатними залишились в колоні n штанг. Результати відробки штанг у свердловині подано в табл. 1.

Відсоткове відношення $P(t)$ кількості насосних штанг $n(t)$, що залишились працездатними до моменту часу t , до кількості штанг в комплекті в початковому стані $n(0)$ подамо законом розподілу безвідмовної роботи колони

$$P(t) = \frac{n(t)}{n(0)}.$$

Таблиця 1. Дані відбракування насосних штанг у свердловині

Дата, t	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Кількість штанг, n	100	99	98	97	94	87	79	70	55	31	13	4	3	2	1

За великої кількості насосних штанг можна припустити, що ймовірність функціонування штанги до часу t складає

$$P_r(T > t) = P(t),$$

де T – випадкова змінна, у даному випадку наробіток штанги на відмову.

Ймовірність того, що штанга відмовить між $t-1$ та t , рівна

$$P_r(t-1 < T \leq t) = \frac{n(t-1) - n(t)}{n(0)},$$

а умовна ймовірність $P_c(t)$, що штанга, відпрацювавши до моменту часу $t-1$, зруйнується між $t-1$ та t складає [2-4]

$$P_r(t-1 < T \leq t) = P_r(T > t) \cdot P_c(t),$$

звідки

$$P_c(t) = \frac{n(0)}{n(t)} \cdot \frac{n(t-1) - n(t)}{n(0)} = \frac{n(t-1) - n(t)}{n(t)}.$$

Позначимо наробіток штанги з моменту вводу в експлуатацію величиною τ , тоді $n_\tau(t)$ – кількість штанг, що мають наробіток τ в момент часу t .

Вектор стану

$$N(t) = [n_0(t), n_1(t), n_2(t)]^t$$

дає таким чином розподіл наробітків штанг до моменту часу t .

Отже, використовуючи дані таблиці, маємо:

$$N(0) = [100 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad \dots \quad 0]$$

$$N(1) = [099 \quad 0 \quad 0 \quad \dots \quad 0]$$

$$N(2) = [0 \quad 0 \quad 98 \quad 0 \quad \dots \quad 0]$$

.....

Припустимо, що на промислі використовують аварійне технічне обслуговування [9], тобто виконують заміну в момент часу t штанг, які відмовили в інтервалі $[t-1, t]$. Тоді маємо

$$N(0) = [100 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad \dots \quad 0]$$

$$N(1) = [1 \quad 99 \quad 0 \quad 0 \quad \dots \quad 0]$$

$$N(2) = [2 \quad 1 \quad 98 \quad 0 \quad \dots \quad 0]$$

$$N(3) = [3 \quad 2 \quad 1 \quad 97 \quad \dots \quad 0]$$

$$N(4) = [6 \quad 3 \quad 2 \quad 1 \quad 94 \quad \dots \quad 0]$$

.....

Ймовірність відмови штанги, яка відпрацювала термін $t-1$ в інтервалі $[t-1, t]$ буде $P_c(t)$, а ймовірність безвідмовної роботи $1-P_c(t)$.

Штанга, яка відмовила в момент часу t і систематично була заміненою, розглядається як елемент, що має наробіток рівний нулю.

Таким чином, загальна кількість штанг, наробіток t яких переходить до наробітку 0 в інтервалі часу $[T-1, T]$, складе

$$n_0(T) = n_1(T-1)P_c(1) + n_2(T-1)P_c(2) + \dots,$$

$$n_0(T) = \sum_{t=1}^T n(T-1)P_c(t), \quad (1)$$

де T – найбільший наробіток штанги.

Кількість старіючих штанг, які перейшли від наробітку t до наробітку $t+1$, складе

$$n_{t+1}(T) = n_t(T)[1 - P_c(t)], \quad (t = 0, 1, 2, \dots, m-1). \quad (2)$$

Згрупуємо рівняння (1) і (2) у ймовірнісну матрицю

$$p = \begin{bmatrix} P_c(1) & 1 - P_c(1) & - & - & \dots & 0 \\ P_c(2) & - & 1 - P_c(2) & - & \dots & \\ P_c(3) & - & - & 1 - P_c(3) & & \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \\ P_c(m-1) & - & - & - & \dots & 1 - P_c(m-1) \\ 1 & - & - & - & \dots & 0 \end{bmatrix}.$$

Одержимо вираз, що еквівалентний рівнянням (1) і (2),

$$N(T) = N(T-1)P \quad (T = 1, 2, 3, \dots), \quad (3)$$

який є марківським ланцюгом першого порядку [1-8].

Застосуємо дану методику до розрахунку необхідного запасу насосних штанг $\rho(t)$ для відновлення елементів колони, що вийшли з ладу.

Кількість штанг $\rho(t)$, замовлених до моменту t , буде рівною кількості нових штанг (нульового наробітку) до цього моменту часу. Тоді

$$\rho(t) = n_0(t).$$

Досить, таким чином, обчислити послідовність векторів станів $N(1)$, $N(2)$, $N(3)$ і т.д. Це можна зробити, використавши рівняння (3) з порожньою матрицею P .

Висновки. Таким чином, за допомогою розрахунків, наведених вище, можна підготувати замовлення на необхідну кількість насосних штанг для свердловини. Оскільки відповідь $\rho(t)$ коливається незначно, то необхідно провести невелику корекцію, щоб врахувати похибку дискретизації.

Література

1. Марков А.А. Избранные труды. Теория чисел. Теория вероятностей / А.А.Марков. – Л.: Изд-во АН СССР, 1951. – 719 с.

2. Тутубалин В.Н. Вероятность, компьютеры и обработка результатов эксперимента / В.Н. Тутубалин // Успехи физических наук. – М., 1993. – № 163 (7). – С. 93-109.
3. Simmons M.P. Misleading Results of Likelihood-based Phylogenetic Analyses in the Presence of Missing Data / M.P. Simmons // Cladistics, 28 (2), 2012. – P. 208-222.
4. Теория вероятностей и математическая статистика. Математические модели. – Мн.: Академия, 2009. – 318 с.
5. Вентцель Е.С. Теория вероятностей / Е.С. Вентцель. – 10 изд., стер. – М.: Академия, 2005. – 576 с. – ISBN 5-7695-2311-5.
6. Ross, Sheldon (2010). A First Course in Probability (8th ed.). Pearson Prentice Hall. 627p. ISBN 978-0-13-603313-4.
7. Faure R. Précis de recherche opérationnelle / R. Faure, V. Lemaire, C. Picouveau. – 7^e edition – Dunod, Paris – 2014 – 592 pp.
8. Гнеденко Б.В. Курс теории вероятностей: Учебник / Б.В. Гнеденко. – М.: Наука, 1988. – 448 с.
9. Байхельт Ф. Надежность и техническое обслуживание. Математический подход: Пер. с нем. / Ф. Байхельт, П. Франкен. – М.: Радио и связь, 1988. – 392 с.: ил.

*Стаття надійшла до редакційної колегії 26.12.2017 р.
Рекомендовано до друку д.т.н., професором Лисканичем М.В.,
к.т.н. Онищуком С.Ю.*

STRATEGY OF SUCKER ROD COLUMN ELEMENTS UPGRADING BASED ON THE THEORY OF MARKOV CHAINS

V. V. Lopatin¹, B. V. Kopey², I. B. Kopey³

¹*Institute of Geotechnical Mechanics named after M.S. Polyakov, National Academy of Sciences of Ukraine; 49005, Dnipro-5, Simferopolska str., 2-a;
tel. +38 (0562) 46-01-51, e-mail: vlop@ukr.net*

²*Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas;
76019, Ivano-Frankivsk, Carpatska str., 15;
tel. +38 (0342) 72-71-01, e-mail: kopeyb@ukr.net*

³*PrAT “Ivano-Frankivsk Locomotive Repair Plant”;
76000, Ivano-Frankivsk, Zaliznichna str., 22;
tel. +38 (066) 455-38-86; e-mail: kopeyi@i.ua*

To predict the life of the sucker rods, the application of the Markov chain theory is proposed. The methodology on the example of calculation of the necessary stock of sucker rods, which it is necessary to have to restore the sucker rod column elements, is considered. With the above calculations, you can prepare orders for the required number of sucker rods for the well.

Key words: *Markov chains, resource, sucker rod, renewal.*