УДК 62-503.57:622.24

М. І. Горбійчук, д-р техн. наук, проф,
О. Т. Лазорів, аспірант,
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

НЕЧІТКА ЗАДАЧА ОПТИМАЛЬНОГО РОЗПОДІЛУ ПРОХОДОК ЗА ГЛИБИНОЮ СВЕРДЛОВИНИ

Анотація. Розглядається задача оптимального розподілу проходок за глибиною свердловини. Як критерій оптимальності вибрано вартість буріння заданого інтервалу. З огляду на те, що цілий ряд параметрів, які входять у критерій оптимальності, можна оцінити лише наближено, тому такі величини розглядаються як нечіткі числа. Останнє допущення дало змогу детерміновану задачу нелінійного програмування переформувати у задачу нечіткого нелінійного програмування.

Ключові слова: оптимізація, критерій, розподіл проходок, функція належності, нечіткі числа.

Задача оптимального розподілу проходок за глибиною свердловини, де критерій оптимальності виступає вартість пробуреного інтервалу, розгадалася в [1] у детермінованій постановці. З огляду на те, що параметри критерію оптимальності не можуть бути точно визначені, вони інтерпретуються як нечіткі величини.

Тому метою роботи є розроблення методу оптимального розподілу проходок за глибиною свердловини в умовах невизначеності.

Виходячи із математичної моделі процесу поглиблення нафтогазових свердловин в роботі [1] отриманий такий критерій оптимальності:

$$R(\bar{h})=\sum_{i=1}^{N}\left(\frac{C_{б,i}}{K_{e,i}}e^{a_i h_i}+q_i h_i\right), \qquad (1)$$

де $C_{б,i}$ – вартість роботи бурової установки віднесеної до одиниці часу; $K_{ε,i}$ – швидкість зміни оцінки стану долота в i – тому рейсі; $a_i=K_{e,i}/v_{0,i}$; $v_{0,i}$ – середня швидкість проходки в i – тому рейсі; $q_i=\frac{C_{б,i}}{v_c}+\frac{1}{v_{cn}}\sum_{k=i+1}^{N}C_{б,k}$; $v_{cn}=\frac{v_n v_c}{v_n+v_c}$; v_n , v_c - середня швидкість підйому і спуску бурового інструменту; h_i – величина проходки в i – тому рейсі; N – загальне число рейсів.

Значення величини $C_{б,i}$, K_{ei} , $v_{0,i}$, v_n і v_c , які входять в критерій оптимальності (1), можна визначити лише наближено за результатами пробурених свердловин в подібних геолого-технічних умовах.

Тому значення перерахованих величин будемо вважати нечіткими числами з трикутною функцією належності, яку будемо апроксимувати експоненціальною функцією

$$m(z)=\exp\left(-\frac{(z-z_0)^2}{2s^2}\right), \qquad (2)$$

де z_0 – модальне значення нечіткої величини z .

Параметр σ^2, який є параметром нечіткості, виберемо таким, щоб функція належності (2) проходила через точку з координатами $(z_A;1/2)$, яка належить трикутній функції належності. Остання умова дала змогу визначити, що

$$s^2=\frac{\Delta^2}{32\cdot\ln 2}, \qquad (3)$$

де Δ – основа трикутної функції належності.

Отже, величини, що ходять у критерій (1) будемо інтерпретувати як нечіткі числа $(L-R)$ типу з функціями належності (2), де $z\in\{C_{бi}, v_{0i}, K_{ε,i}\, v_c, v_n\}$. Після виконання операцій над нечіткими числами таких як додавання, множення, ділення нечітких чисел, множення нечіткого числа на чітке і ділення чіткого числа на нечітке [2] отримали модальне значення критерію оптимальності

$$R_0\left(\bar{h}\right)=\sum_{i=1}^{N}\left(\frac{C_{б,i}^{(0)}}{K_{e,i}^{(0)}}e^{a_i^{(0)}h_i}+q_i^{(0)}h_i\right) \tag{4}$$

і значення параметру нечіткості критерію оптимальності (1)

$$s_R=\sum_{i=1}^{N}\left(a_{1,i}\left(h_i\right)+a_{2,i}h_i\right), \tag{5}$$

де

$$a_{1,i}\left(h_i\right)=\frac{e^{a_i^{(0)}h_i}}{K_{e,i}^{(0)}}\left(\frac{C_{б,i}^{(0)}}{K_{e,i}^{(0)}}a_{K_{e,i}}+a_{C_{б,i}}\right);\ a_i^{(0)}=\frac{K_{e,i}^{(0)}}{v_{0,i}^{(0)}},\ a_{a,i}=\frac{K_{e,i}^{(0)}a_{v_{0,i}}+v_{0,i}^{(0)}a_{K_{e,i}}}{\left(v_{0,i}^{(0)}\right)^2}.\ a_{2,i}=\frac{C_{б,i}^{(0)}}{K_{e,i}^{(0)}}a_{a,i}e^{a_i^{(0)}h_i}+$$

$$+\frac{C_{б,i}^{(0)}a_{v_c}+v_c^{(0)}a_{C_{б,i}}}{\left(v_c^{(0)}\right)^2}+\sum_{k=i+1}^{N}\left(C_{б,k}^{(0)}\left(\frac{a_{v_c}}{\left(v_c^{(0)}\right)^2}+\frac{a_{v_n}}{\left(v_n^{(0)}\right)^2}\right)+\frac{a_{C_{б,k}}}{v_{cn}^{(0)}}\right);$$

верхній індекс «0» вказує на модальні значення відповідних нечітких чисел.

Якщо для функції належності визначимо γ – зріз, то отримаємо

$$\tilde{R}\left(\bar{h}\right)=\sum_{i=1}^{N}\left(\frac{C_{б,i}^{(0)}}{K_{e,i}^{(0)}}e^{a_i^{(0)}h_i}+q_i^{(0)}h_i\right)+s_R\left(\bar{h}\right)\sqrt{\ln\frac{1}{g^2}}\ . \tag{6}$$

Тепер здачу оптимального розподілу проходок за глибиною свердловини сформуємо як мінімізацію критерію оптимальності (6) при таких обмеженнях:

$$0\le h_i\le h_{i,\max},\ i=\overline{1,N}, \tag{7}$$

$$\sum_{i=1}^{N}h_i=H, \tag{8}$$

де H - величина пробуреного інтервалу N долотами.

Задача (6)–(8) розглянута для трьох випадків – випереджаючий знос опор долота, випереджаючий знос озброєння долота і буріння не затупленим долотом.

Кількість доліт, які необхідно витратити, щоб пробурити інтервал величиною H, як правило, обмежене відносно малими додатними числами, тому вибір оптимального N може бути визначене шляхом дискретного пошуку. Для кожного значення $N=2,3,\mathbf{K}$ розв'язується задача (6) при обмеженнях (7) і (8). Оптимальна кількість доліт N^* відповідає найменшому значенню критерію оптимальності (6).

Література

1. Горбійчук М. І. Оптимізація процесу буріння глибоких свердловин: монографія / М. І. Горбійчук, Г. Н. Семенцов. – Івано-Франківськ: Нова Зоря, 2006. – 404 с.

2. Раскин Л. Г. Нечеткая математика. Основы теории. Приложения / Л. Г. Раскин, О. В. Серая. – Харьков: Парус, 2008. – 352 с.