

ПРОГНОЗУВАННЯ ПРИХВАТУ ІНСТРУМЕНТУ ПРИ БУРІННІ СВЕРДЛОВИН

© Шавранський М. В., 1999

Івано-Франківський державний технічний університет нафти і газу

Пропонується новий підхід до прогнозування прихвату бурового інструменту із застосуванням нечіткої логіки. Складені логічні рівняння небезпечності і прогнозу прихвату бурового інструменту, за якими визначаються функції належності до ступеня прихвату.

Із аналізу аварійних ситуацій і ускладнень при бурінні свердловин [1] видно, що часто зустрічається така аварія, як прихват бурового інструменту. Прихвати складають від 30.8 % до 48.3 % загальної кількості аварій та від 33.8 % до 57.2 % сумарних втрат часу через аварійність. На підприємствах ведеться лише облік аварійності і виявляються причини та винні в цьому, тому актуальним є питання прогнозування цієї аварії. Відомі методи прогнозування, що приведені в [2, 3] повністю не виключають можливість виникнення прихвату бурового інструменту, тому пропонується нова методика прогнозування із застосуванням нечіткої логіки.

Основними інформаційно-вимірювальними ознаками прихвату бурового інструменту є: відношення моменту на роторі M_p до номінального моменту $M_{p,ном}$ значно більше одиниці; тиск бурового розчину значно перевищує номінальне значення; швидкість переміщення бурового інструменту рівна нулю.

Складність прихвату бурового інструменту будемо визначати на наступних рівнях (від нижчого до вищого):

- p_1 – прихват легкого ступеня;
- p_2 – середній ступінь прихвату;
- p_3 – важкий ступінь прихвату.

Перераховані рівні $p_1 + p_3$ будемо визначати типами прогнозів, які підлягають розпізнаванню.

При прогнозуванні будемо приймати до уваги наступні основні параметри бурового процесу [4]:

- X_1 – момент на роторі;
- X_2 – тиск бурового розчину;
- X_3 – швидкість проходки;
- X_4 – якість конструкції;
- X_5 – якість інструменту;
- X_6 – якість обладнання;
- X_7 – якість приладів;
- X_8 – невідповідність рецептур і властивостей промивної рідини;
- X_9 – нестійкі породи;
- X_{10} – вивали;
- X_{11} – трудова і виробнича дисципліна.

Фактори $X_1 \dots X_{11}$ будемо розглядати як лінгвістичні змінні [5]. Крім того, введемо наступні лінгвістичні змінні (рис. 1):

p – прогнози, які вимірюються рівнями $p_1 + p_3$;
 x – небезпечність аварії, яка залежить від інформаційно – вимірювальних параметрів $\{X_1; X_2; X_3\}$;

y – технічна небезпечність аварії, яка залежить від факторів $\{X_4; X_5; X_6; X_7\}$;

z – геолого-технологічна небезпечність аварії, яка залежить від факторів $\{X_8; X_9; X_{10}\}$;

g – організаційна небезпечність аварії, яка залежить від фактора $\{X_{11}\}$.

Взаємозв'язок введених лінгвістичних змінних визначимо співвідношеннями

$$p = f(x, y, z, g), \quad (1)$$

$$x = f_x(X_1, X_2, X_3), \quad (2)$$

$$y = f_y(X_4, X_5, X_6, X_7), \quad (3)$$

$$z = f_z(X_8, X_9, X_{10}), \quad (4)$$

$$g = f_g(X_{11}). \quad (5)$$

Для оцінки значень лінгвістичних змінних $X_1 + X_{11}$ будемо використовувати єдину шкалу якісних термів: Н – низький, С – середній, В – високий. Ці терми представляють нечітку множину, яка задана за допомогою відповідної функції належності.

Користуючись введеними якісними термами і знаннями експертів представимо вирази (1...5) у вигляді табл. 1...4.

Кожній четвірці рядків в табл. 1 відповідає нечітке логічне висловлювання типу **ЯКЩО – ТО**, що використовує операції **I / АБО**. Наприклад, із таблиці 1 видно, що умова появи прихвату легкого ступеня ($p=p_1$) виражається таким нечітким висловлюванням:

$$\text{ЯКЩО } x = B \text{ і } y = B \text{ і } z = C \text{ і } g = B,$$

$$\text{АБО } x = C \text{ і } y = B \text{ і } z = B \text{ і } g = B,$$

$$\text{АБО } x = B \text{ і } y = C \text{ і } z = B \text{ і } g = B,$$

$$\text{АБО } x = B \text{ і } y = B \text{ і } z = B \text{ і } g = C, \text{ ТО } p = p_1.$$

Цьому висловлюванню відповідає логічне рівняння, яке зв'язує функції належності змінних x, y, z, g і p :

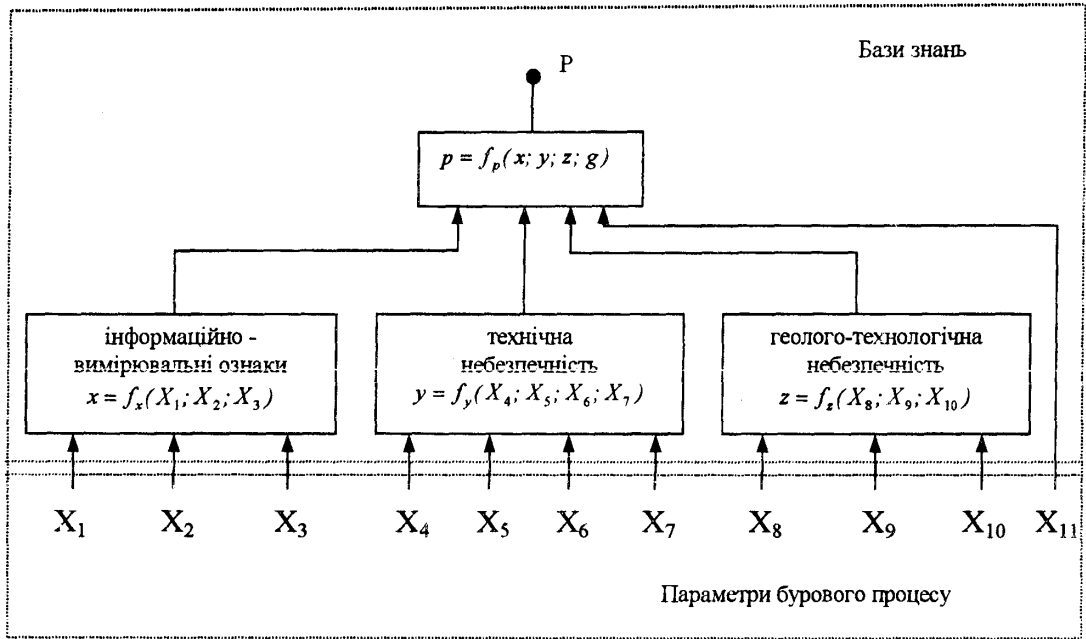


Рис. 1. Прогнозування прихвату бурового інструменту.

$$\mu^{p_1}(x, y, z, g) = [\mu^B(x) \wedge \mu^B(y) \wedge \mu^C(z) \wedge \mu^B(g)] \vee \vee [\mu^C(x) \wedge \mu^B(y) \wedge \mu^B(z) \wedge \mu^B(g)] \vee \vee [\mu^B(x) \wedge \mu^C(y) \wedge \mu^B(z) \wedge \mu^B(g)] \vee \vee [\mu^B(x) \wedge \mu^B(y) \wedge \mu^B(z) \wedge \mu^C(g)] \quad (6)$$

де $\mu^{p_1}(x, y, z, g)$ - функція належності прихвату $p = p_1$, яка залежить від змінних x, y, z, g ; $\mu^j(x), \mu^j(y), \mu^j(z), \mu^j(g)$ - функції належності термів j (Н, С, В), які залежать від значень змінних X_i ($i = 1, 11$); \wedge і \vee - логічні операції І і АБО.

Таблиця 1 – Знання про співвідношення $p = f(x, y, z, g)$

x	y	z	g	p
В	В	С	В	p ₁
С	В	В	В	
В	С	В	В	
В	В	В	С	p ₂
С	С	С	С	
С	В	Н	С	
Н	С	С	Н	
С	Н	С	С	p ₃
Н	Н	Н	Н	
Н	С	Н	Н	
Н	Н	С	Н	
Н	Н	Н	С	

Таблиця 2 – Знання про співвідношення $x = f_x(X_1 \div X_3)$

X ₁	X ₂	X ₃	x
Н	В	В	Н
Н	С	В	
С	В	В	
Н	В	В	
С	С	С	С
С	С	С	
В	С	Н	
С	В	С	
В	Н	Н	В
В	Н	Н	
В	С	Н	
В	Н	Н	

Таблиця 3 – Знання про співвідношення $y = f_y(X_4 \div X_7)$

X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	y
Н	Н	Н	С	В
Н	Н	С	Н	
Н	С	Н	Н	
Н	Н	Н	Н	
С	С	С	Н	С
С	С	С	С	
С	С	С	С	
Н	Н	С	С	
В	В	В	С	Н
В	В	В	В	
В	С	В	В	
В	В	В	В	

Таблиця 4 – Знання про співвідношення
 $z=f_z(X_8+X_{10})$

X_8	X_9	X_{10}	z
Н	Н	Н	Н
Н	Н	С	
Н	С	Н	
С	Н	Н	С
С	С	С	
Н	С	С	
С	Н	С	
С	С	Н	
В	В	В	В
В	В	С	
В	С	В	
В	В	В	

Користуючись функціями належності, запишемо логічні рівняння, що формалізують експертні знання із табл. 1...4.

Для компактності запису операцію “ \wedge ” позначимо крапкою “.”

Логічні рівняння прогнозу прихвату бурильного інструменту (із табл. 1) запишемо:

$$\begin{aligned} \mu^{p1}(x, y, z, g) &= \mu^B(x) \cdot \mu^B(y) \cdot \mu^C(z) \cdot \mu^B(g) \vee \\ &\vee \mu^C(x) \cdot \mu^B(y) \cdot \mu^B(z) \cdot \mu^B(g) \vee \\ &\vee \mu^B(x) \cdot \mu^C(y) \cdot \mu^B(z) \cdot \mu^B(g) \vee \\ &\vee \mu^B(x) \cdot \mu^B(y) \cdot \mu^B(z) \cdot \mu^C(g); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu^{p2}(x, y, z, g) &= \mu^C(x) \cdot \mu^C(y) \cdot \mu^C(z) \cdot \mu^C(g) \vee \\ &\vee \mu^C(x) \cdot \mu^B(y) \cdot \mu^H(z) \cdot \mu^C(g) \vee \\ &\vee \mu^H(x) \cdot \mu^C(y) \cdot \mu^C(z) \cdot \mu^H(g) \vee \\ &\vee \mu^C(x) \cdot \mu^H(y) \cdot \mu^C(z) \cdot \mu^C(g); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu^{p3}(x, y, z, g) &= \mu^H(x) \cdot \mu^H(y) \cdot \mu^H(z) \cdot \mu^H(g) \vee \\ &\vee \mu^H(x) \cdot \mu^C(y) \cdot \mu^H(z) \cdot \mu^H(g) \vee \\ &\vee \mu^H(x) \cdot \mu^H(y) \cdot \mu^C(z) \cdot \mu^H(g) \vee \\ &\vee \mu^H(x) \cdot \mu^H(y) \cdot \mu^H(z) \cdot \mu^C(g). \end{aligned}$$

Логічні рівняння небезпечності при інформаційно-вимірювальних ознаках (із табл. 2)

$$\begin{aligned} \mu^H(x) &= \mu^H(x_1) \cdot \mu^B(x_2) \cdot \mu^B(x_3) \vee \\ &\vee \mu^H(x_1) \cdot \mu^C(x_2) \cdot \mu^B(x_3) \vee \\ &\vee \mu^C(x_1) \cdot \mu^B(x_2) \cdot \mu^B(x_3) \vee \\ &\vee \mu^H(x_1) \cdot \mu^B(x_2) \cdot \mu^B(x_3); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu^C(x) &= \mu^C(x_1) \cdot \mu^C(x_2) \cdot \mu^C(x_3) \vee \\ &\vee \mu^C(x_1) \cdot \mu^C(x_2) \cdot \mu^C(x_3) \vee \\ &\vee \mu^B(x_1) \cdot \mu^C(x_2) \cdot \mu^H(x_3) \vee \\ &\vee \mu^C(x_1) \cdot \mu^B(x_2) \cdot \mu^C(x_3); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu^B(x) &= \mu^B(x_1) \cdot \mu^H(x_2) \cdot \mu^H(x_3) \vee \\ &\vee \mu^B(x_1) \cdot \mu^H(x_2) \cdot \mu^H(x_3) \vee \\ &\vee \mu^B(x_1) \cdot \mu^C(x_2) \cdot \mu^H(x_3) \vee \\ &\vee \mu^B(x_1) \cdot \mu^H(x_2) \cdot \mu^H(x_3). \end{aligned}$$

Логічні рівняння технічної небезпечності (із табл. 3)

$$\begin{aligned} \mu^H(y) &= \mu^B(x_4) \cdot \mu^B(x_5) \cdot \mu^B(x_6) \cdot \mu^C(x_7) \vee \\ &\vee \mu^B(x_4) \cdot \mu^B(x_5) \cdot \mu^B(x_6) \cdot \mu^B(x_7) \vee \\ &\vee \mu^B(x_4) \cdot \mu^C(x_5) \cdot \mu^B(x_6) \cdot \mu^B(x_7) \vee \\ &\vee \mu^C(x_4) \cdot \mu^B(x_5) \cdot \mu^B(x_6) \cdot \mu^B(x_7); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu^C(y) &= \mu^C(x_4) \cdot \mu^C(x_5) \cdot \mu^C(x_6) \cdot \mu^H(x_7) \vee \\ &\vee \mu^C(x_4) \cdot \mu^C(x_5) \cdot \mu^C(x_6) \cdot \mu^C(x_7) \vee \\ &\vee \mu^C(x_4) \cdot \mu^C(x_5) \cdot \mu^C(x_6) \cdot \mu^C(x_7) \vee \\ &\vee \mu^H(x_4) \cdot \mu^H(x_5) \cdot \mu^C(x_6) \cdot \mu^C(x_7); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu^B(y) &= \mu^H(x_4) \cdot \mu^H(x_5) \cdot \mu^H(x_6) \cdot \mu^C(x_7) \vee \\ &\vee \mu^H(x_4) \cdot \mu^H(x_5) \cdot \mu^C(x_6) \cdot \mu^H(x_7) \vee \\ &\vee \mu^H(x_4) \cdot \mu^C(x_5) \cdot \mu^H(x_6) \cdot \mu^H(x_7) \vee \\ &\vee \mu^H(x_4) \cdot \mu^H(x_5) \cdot \mu^H(x_6) \cdot \mu^H(x_7). \end{aligned}$$

Логічні рівняння геолого-технологічної небезпечності (із табл. 4)

$$\begin{aligned} \mu^H(z) &= \mu^H(x_8) \cdot \mu^H(x_9) \cdot \mu^H(x_{10}) \vee \\ &\vee \mu^H(x_8) \cdot \mu^H(x_9) \cdot \mu^C(x_{10}) \vee \\ &\vee \mu^H(x_8) \cdot \mu^C(x_9) \cdot \mu^H(x_{10}) \vee \\ &\vee \mu^C(x_8) \cdot \mu^H(x_9) \cdot \mu^H(x_{10}); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu^C(z) &= \mu^C(x_8) \cdot \mu^C(x_9) \cdot \mu^C(x_{10}) \vee \\ &\vee \mu^H(x_8) \cdot \mu^C(x_9) \cdot \mu^C(x_{10}) \vee \\ &\vee \mu^C(x_8) \cdot \mu^H(x_9) \cdot \mu^C(x_{10}) \vee \\ &\vee \mu^C(x_8) \cdot \mu^C(x_9) \cdot \mu^H(x_{10}); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu^B(z) &= \mu^B(x_8) \cdot \mu^B(x_9) \cdot \mu^B(x_{10}) \vee \\ &\vee \mu^B(x_8) \cdot \mu^B(x_9) \cdot \mu^C(x_{10}) \vee \\ &\vee \mu^B(x_8) \cdot \mu^C(x_9) \cdot \mu^B(x_{10}) \vee \\ &\vee \mu^C(x_8) \cdot \mu^B(x_9) \cdot \mu^B(x_{10}). \end{aligned}$$

Для отриманих логічних рівнянь функція належності визначається для трьох термів, згідно [6], за наступними виразами:

$$\tilde{\mu}^1(u) = 1 - \frac{1}{2}u, \quad u \in [0, 2];$$

$$\tilde{\mu}^2(u) = \begin{cases} u \\ 2-u \end{cases}, \quad u \in [0, 1]; \quad (7)$$

$$\tilde{\mu}^3(u) = \frac{1}{2}u, \quad u \in [0, 2].$$

Правило перерахунку параметрів таке:

$$U = 2 \frac{x_i - \underline{x}_i}{\bar{x}_i - \underline{x}_i}, \quad (8)$$

де $[\underline{x}_i, \bar{x}_i]$ - діапазон зміни параметрів x_i , $i = \overline{1, n}$.

При конкретних значеннях параметрів $x_1 \div x_{11}$, що задаються із створеної бази експертних знань, знаходимо функції належності в точках x_i ($i = \overline{1, 11}$) для всіх нечітких термів, за виразами (7) і (8).

Найбільше значення функції належності відповідає певному рішенням p ($p_1; p_2; p_3$), тобто прогнозує ступінь прихвату бурового інструменту. Це дає змогу розробити автоматичну систему прогнозування передаварійних ситуацій і ускладнень на базі нечітких математичних моделей, які мають бути складені для кожної ситуації окремо. За допомогою таких моделей, нечітких методів ефективного оптимального керування і використання комп'ютерної техніки та давачів системи СКУБ проблема прогнозування передаварійних ситуацій і ускладнень може бути вирішена на більш високому науково-

технічному рівні.

1. Краснопольский И. Е. Комп'ютерний облік аварійності, зокрема прихватів бурильних колон. // Збірник наукових праць 5 - і міжнар. конф. "Нафта і газ України" - том 2 - Полтава, 1998. - С. 108-109.
2. Колмоєц А. В. Предупреждение и ликвидация прихватов в разведочном бурении. - М.: Недра, 1985.
3. Яремійчук Р. С. Конспект лекцій. Попередження та ліквідація аварій на морських нафтогазових спорудах. Ч. 3. Івано-Франківськ, 1998.
4. Семенов Г. Н. Навчальний посібник з курсу Автоматизація процесу буріння свердловин. Ч. 3. Івано-Франківськ, 1998.
5. Заде Л. А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. М.: Мир, 1976.
6. Ротштейн А. П. Медицинская диагностика на нечеткой логике. - Винница: Континент - ПРИМ, 1996.