

УДК 65.011.56.

С. М. Рудак, асп.

СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ БУРІННЯ З МЕТОЮ ЗАПОБІГАННЯ АВАРІЙ ТА УСКЛАДНЕНЬ

Розглядаються питання СК з метою запобігання аварій та ускладнень в процесі буріння, що базується на аналізі нечіткої (нечислової) інформації про параметри процесу буріння.

Розроблена СК включає в себе лінгвістичний опис технологічних ситуацій, пов'язаних з виникненням аварій та ускладнень у процесі буріння свердловин, яким керуються технологі-оператори при прийнятті рішення про можливу аварію з метою її запобігання. СК дозволяє контролювати параметри процесу буріння в реальному часі в умовах невизначеності, що дає можливість досягти вищих техніко-економічних показників та запобігти виникненню аварій.

Сучасний стан паливно-енергетичного комплексу України вимагає подальшого збільшення видобутку економічних видів палива, що пов'язано як з розвідуванням нових нафтових і газових родовищ, так і з ефективним використанням наявних за рахунок вдосконалення техніки та технології буріння свердловин. Аналіз результатів буріння нафтових і газових свердловин показує, що режими буріння, які встановлюють на стадії розробки свердловини, значно відрізняються від раціональних, оскільки під час проектування не можна врахувати всі зміни властивостей порід, перехід з однієї породи в іншу, зношення доліт, а також багато інших випадкових факторів.

Тому буріння свердловин – це складний технологічний процес, особливістю якого є нестационарність і взаємозв'язок більшості процесів, що виникають в стовбурі свердловини і навколишньому масиві гірничих порід, а також винятковість різноманітних технологічних умов, що часто призводять до виникнення непрогнозованих передаварійних ситуацій і необхідності прийняття кваліфікованого рішення в обмежений проміжок часу. Найважливішим питанням підвищення якості робіт в бурінні свердловин є зменшення кількості ускладнень і виключення аварій через використання сучасних методів контролю.

Як показує практика, поточний контроль за розпізнаванням аварій, незважаючи на невизначеність і складність цього процесу, досить ефективно здійснює оператор-бурильник, використовуючи свій досвід, інтуїцію і професійні навички у вигляді нечітких якісних понять [9, 10, 11].



Рис. 1. Зовнішній вигляд системи контролю «СГТ-мікро»

З урахуванням особливостей процесу буріння і необхідності прийняття рішення про можливість виникнення аварій, актуальним питанням є розробка автоматизованої системи контролю для запобігання аварій, з використанням основних положень теорії нечітких множин і нечіткої логіки, що дасть можливість виявити аварії на початковій стадії розвитку.

Незважаючи на те, що впровадження сучасного устаткування, інструментів, прогресивної технології буріння, засобів механізації й автоматизації окремих операцій, удосконалювання організації праці в цілому забезпечило виконання цих завдань. У розвідницькому бурінні залишаються значні резерви підвищення продуктивності праці

і поліпшення його техніко-економічних показників [6, 7]. Ці резерви полягають насамперед в оптимізації й автоматизації оперативного керування процесом буріння свердловин і в удосконалюванні організації робіт.

Найважливішими впливами і параметрами контролю для запобігання аварій і ускладнень є вхідні керувальні впливи $X(t) = \{P(t), n(t), Q1(t)\}$, що вимірюються в реальному часі; параметри бурильної колони $A = \{l, d_n, f_0\}$, для кожного інтервалу буріння свердловини задається ГТН; стан долота по озброєнню і опорі $A = \{B_d\}$, є контрольованим збуренням; фізико-механічні і абразивні влас-

тивості порід f , та пластові тиски $p_{пл}$ які є прогнозовані за ГТН (згідно зі стратиграфічним розрізом), але є неконтрольованими і непрогнозованими збуреннями.

Тут $P(t)$ – осьове навантаження на породоруйнівний інструмент, d_r – діаметр бурильних труб, l – довжина бурильної колони, f_0 – сила статичного опору тертя колони бурильних труб об стінки свердловини.

Модель «вхід—вихід» об’єкта контролю зображена на рис. 2.

Загальний підхід до вибору контрольованих величин [1, 2, 3], що базується на визначенні втрат від похибок виявлення подій, до яких відноситься стан об’єкта, використати неможливо, оскільки невідомою є апіорна ймовірність появи кожної події, і втрат, що виникають при хибній класифікації подій протягом циклу роботи СК. Тому будемо робити вибір величин $UK(t)$, користуючись досвідом та інтуїцією експертів-бурильників, спираючись на постановку задачі контролю для запобігання аварій і ускладнень, на розуміння природи процесу функціонування об’єкта.

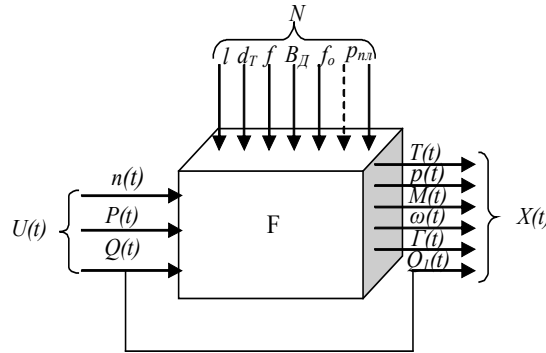


Рис. 2. Загальна модель об’єкта контролю для запобігання аварій та ускладнень

В відповідності з цим бралися до уваги основні інформаційно-вимірювальні та геологічні ознаки виникнення передаварійних ситуацій та ускладнень: витрата бурового розчину на вході в свердловину $Q_{вх}$; температура бурового розчину на вході в свердловину $T_{вх}$; температура бурового розчину на виході зі свердловини $T_{вих}$; тиск бурового розчину на вході в свердловину $p_{вх}$; вага бурового інструменту P ; крутний момент на роторі M_p ; частота обертання ротора ω_p ; газовміст Γ .

Оскільки в системі контролю параметрів і показників процесу буріння, які використовуються для запобігання аварій та ускладнень, здійснюється послідовний збір і обробка інформації від 8 датчиків ($UK(t) = [Q_{вх}(t), T_{вх}(t), T_{вих}(t), p_{вх}(t), P(t), M_p(t), \omega_p(t), \Gamma(t)]$), то виникає задача визначення допустимих інтервалів між моментами вимірювання кожної величини (рис. 3).

Як видно із моделі контрольованого об’єкту (див. рис. 2а) до незалежних факторів відносяться керувальні впливи:

осьове навантаження на долото P , частота обертання колони n , витрата бурового розчину Q ; контрольовані параметри колони бурильних труб $A = \{l, d_r, B_d, f_0\}$; неконтрольовані параметри — фізико-механічні і абразивні властивості порід f та пластові тиски $p_{пл}$ [1, 2, 3].

Керувальні впливи — осьове навантаження на долото P та частота обертання колони n повинні задовольняти не тільки умовам керованості, але і незалежності [2].

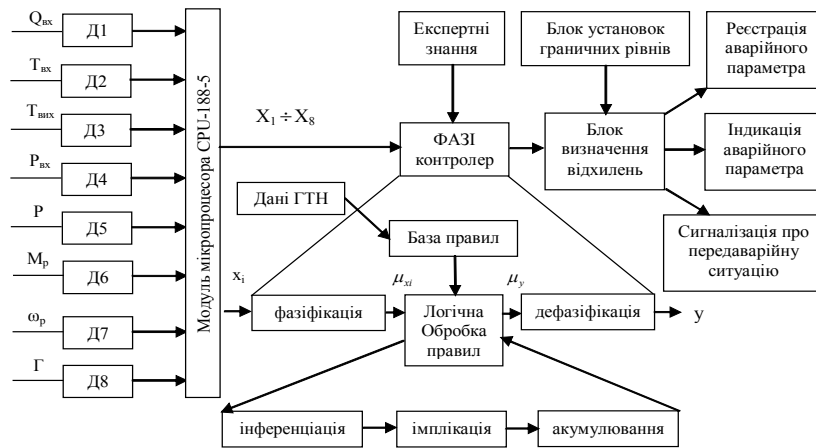


Рис. 3. Структурна схема системи контролю

Умову керованості задовольняють всі способи буріння — роторне, турбінне і електробуріння, а умову незалежності — тільки роторне та електробуріння. Для турбінного способу буріння характерним є те, що осьове навантаження на долото P і частота обертання колони n функціонально зв’язані між собою рівняннями механічної характеристики турбобура і цей зв’язок носить стохастичний характер внаслідок зміни фізико-механічних властивостей гірських порід і наявності тертя в свердловині.

Модель контрольованого об’єкта отримана в результаті буріння свердловини роторним способом: осьове навантаження на долото P і частота обертання колони n взаємно незалежні величини; вся гли-

бина свердловини розбита на інтервали, в середині яких фізико-механічні властивості гірських порід постійні; для буріння свердловини використовуються шарошкові долота таких типів: Ш 215,9 С-ГВ; Ш 215,9 С-ГВ; Ш 215,9 СЗ-ГВ; Ш 215,9 МС-ГНУ; Ш 215,9 С-ГВУ.

Вибір долота зумовлений ГТН на буріння свердловин і глибиною при якій проводилися дослідження. Осьове навантаження на долото підтримувалося в межах $P = 80 \div 120$ кН.

Межі вимірювання частоти обертання БК вибирали, виходячи з можливостей бурового верстата БУ-5000-ДГУ-1, а саме: $n1 = 0,8 \text{ c}^{-1}$, $n2 = 1,0 \text{ c}^{-1}$, $n3 = 1,08 \text{ c}^{-1}$.

Вибрані діапазони зміни осьового навантаження P і частоти обертання колони n забезпечили можливість проведення експерименту.

Для оцінки фізико-механічних властивостей порід використовуються такі показники, як твердість за штампом (кГс/мм^2) і коефіцієнт пластичності. На глибині 2562...3452 м свердловини № 45 Тянява розбурювалися породи стратиграфічного підрозділу – поляницької свити, яка містить такі типи порід: аргіліт, алевроліт, пісковик із середнім вмістом відповідно 80 %, 16 %, 4 %.

В розглянутих умовах проведено дослідження закономірностей параметрів процесу буріння для запобігання аварій та ускладнень.

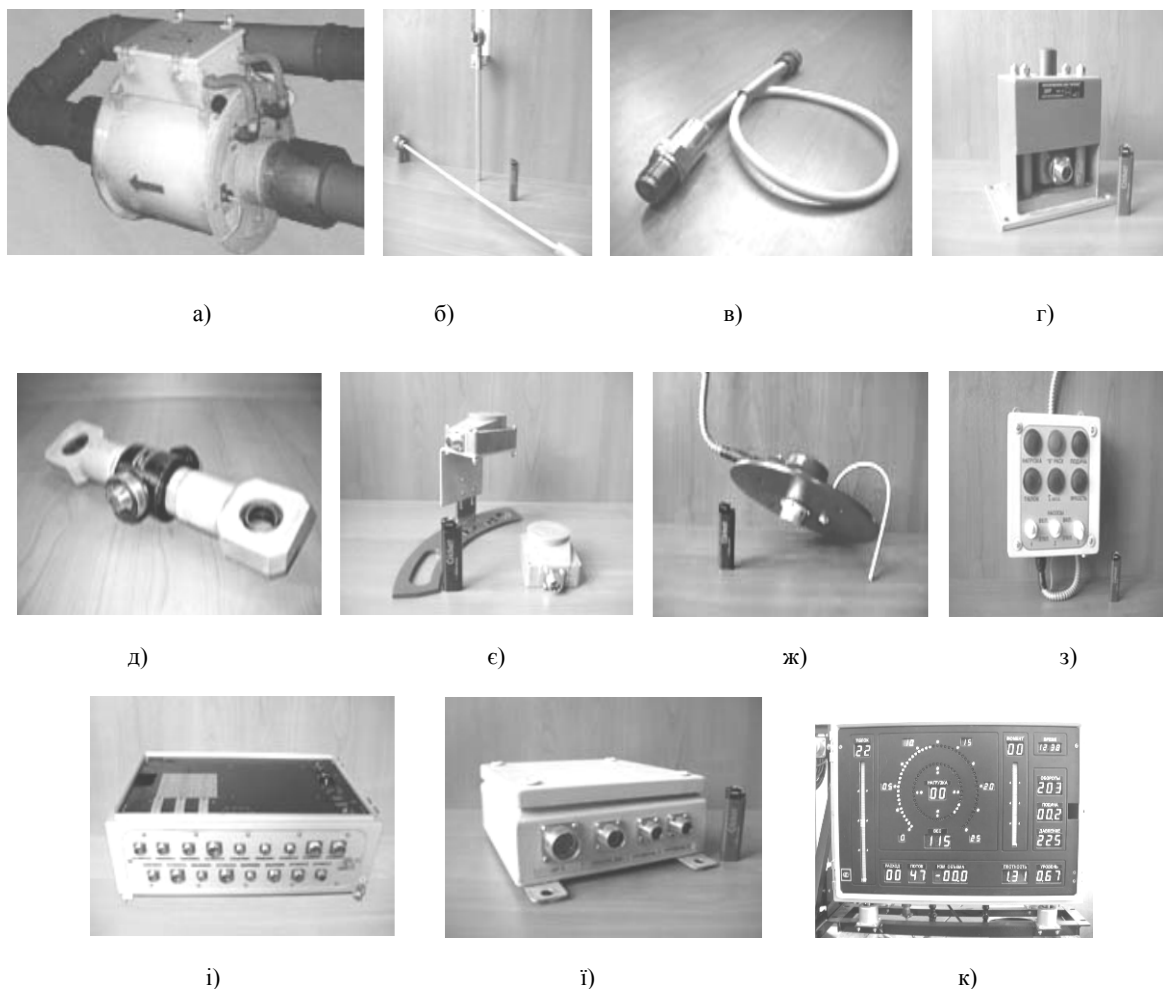


Рис. 4. а) давач витрати бурового розчину на вході в свердловину; б) давач температури бурового розчину на вході та виході з свердловини; в) давач тиску бурового розчину на вході в свердловину; г) давач крутного моменту на роторі; д) давач крутного моменту на роторі; е) давач обертів ротора; ж) давач сумарного газового вмісту на вході; з) пульт керування; і) розподільні коробки; і) блок посилення, комутації, перетворення; к) табло бурильника

На основі інформації одержаної в результаті експертного опитування технологів-операторів (експертів) Долинського і Надвірнянського УБР ВАТ «Укрнафта» сформульовані правила-продукції для ідентифікації можливих аварій та ускладнень.

Допустиме відхилення осьового навантаження від номінального складає $\pm(10 \div 30)$ кН.

Лінгвістичний опис технологічних ситуацій [8], які виникають в процесі буріння і яким користуються технологи-оператори для прийняття рішення про можливі аварії та ускладнення має такий вигляд: відношення витрати бурового розчину на виході з свердловини і вході до неї менше одиниці; відношення моменту на роторі до номінального моменту більше одиниці; швидкість переміщення бурильного інструменту рівна нулю; тиск бурового розчину значно перевищує номінальне значення. На основі лінгвістичного опису складені нечіткі правила-продукції, які дозволяють використовувати нечітку (не числову) інформацію про параметри процесу буріння для визначення початку аварій:

- $N1 = \text{ЯКЩО } P_{\min} < P < P_{\max} \text{ ТО «Результат СК коректний»};$
- $N2 = \text{ЯКЩО } Q_{\text{вих}}/Q_{\text{вх}} \in H \text{ I } V \in H \text{ ТО «Ймовірність аварій» АБО}$
- $N3 = \text{ЯКЩО } M \in B \text{ I } V \in H \text{ ТО «Ймовірність аварій» АБО}$
- $N4 = \text{ЯКЩО } P \in B \text{ I } V \in H \text{ ТО «Ймовірність аварій» ІНАКШЕ}$
- $N5 = \text{ЯКЩО } M \in H \text{ I } V \in B \text{ ТО «Результат СК не коректний»}.$

де P_{\min}, P_{\max} — граничні умови; M — момент на роторі; V — механічна швидкість буріння; P — осьове навантаження на долото; p — тиск бурового розчину; $Q_{\text{вх}}, Q_{\text{вих}}$ — витрати бурового розчину на вході та виході з свердловини відповідно; B, C, H — нечіткі терми, відповідно ВИСОКИЙ, СЕРЕДНІЙ, НИЗЬКИЙ.

Пронумеруємо аварії таким чином:

$11, 12, \dots, 1k1$ — номери аварій і ускладнень Ψ_1 ; $21, 22, \dots, 2k2$ — номери аварій і ускладнень Ψ_2 ; $j1, j2, \dots, jkj$ — номери аварій і ускладнень Ψ_j ; $m1, m2, \dots, mk_m$ — номери аварій і ускладнень Ψ_m ; аварій і ускладнень $\psi_j, j = \overline{1, m}$:

$$\begin{aligned} &\text{ЯКЩО } (x_1 = a_1^{11}) \text{ I } (x_2 = a_2^{11}) \dots \text{ I } (x_n = a_n^{11}) \text{ АБО } \dots \\ &\quad (x_1 = a_1^{12}) \text{ I } (x_2 = a_2^{12}) \dots \text{ I } (x_n = a_n^{12}) \text{ АБО } \dots \\ &\quad (x_1 = a_1^{1k_1}) \text{ I } (x_2 = a_2^{1k_1}) \dots \text{ I } (x_n = a_n^{1k_1}), \\ &\quad \text{ТО } \psi = \psi_1, \text{ ІНАКШЕ} \\ &\text{ЯКЩО } (x_1 = a_1^{21}) \text{ I } (x_2 = a_2^{21}) \dots \text{ I } (x_n = a_n^{21}) \text{ АБО } \dots \\ &\quad (x_1 = a_1^{22}) \text{ I } (x_2 = a_2^{22}) \dots \text{ I } (x_n = a_n^{22}) \text{ АБО } \dots \\ &\quad (x_1 = a_1^{2k_2}) \text{ I } (x_2 = a_2^{2k_2}) \dots \text{ I } (x_n = a_n^{2k_2}), \\ &\quad \text{ТО } \psi = \psi_2, \text{ ІНАКШЕ} \\ &\text{ЯКЩО } (x_1 = a_1^{m1}) \text{ I } (x_2 = a_2^{m1}) \dots \text{ I } (x_n = a_n^{m1}) \text{ АБО } \dots \\ &\quad (x_1 = a_1^{m2}) \text{ I } (x_2 = a_2^{m2}) \dots \text{ I } (x_n = a_n^{m2}) \text{ АБО } \dots \\ &\quad (x_1 = a_1^{mk_m}) \text{ I } (x_2 = a_2^{mk_m}) \dots \text{ I } (x_n = a_n^{mk_m}), \\ &\quad \text{ТО } \psi = \psi_m. \end{aligned}$$

З використанням операцій \cup (АБО) і \cap (І) ця система висловлювань може бути переписана в компактній формі:

$$\left[\bigcap_{i=1}^n (x_i = a_i^{j1}) \right] \cup \left[\bigcap_{i=1}^n (x_i = a_i^{j2}) \right] \dots \cup \left[\bigcap_{i=1}^n (x_i = a_i^{jk_j}) \right] \longrightarrow \psi_j, j = \overline{1, m}.$$

Аварії та ускладнення класифікують по трьох категоріях:

I — аварії та ускладнення, що залежать від газовмісту (газопрояви, зона аномально високих пластових тисків) (Ψ_1); II — аварії та ускладнення, що виникають в залежності від стану бурового розчину (Ψ_2); III — аварії та ускладнення, що виникають в залежності від стану бурильної колони (Ψ_3).

Перераховані категорії Ψ_1, Ψ_2, Ψ_3 підлягають контролю. Для запобігання аварій та ускладнень на буровій установці [5, 8] беремо до уваги такі основні фактори, які крім описаних вище, визначаються в лабораторних умовах, геолого-технологічним нарядом та контролюються в реальному часі. Можливі діапазони зміни чинників вказані в дужках:

$X1 = (4.6...440)$ — пластовий тиск, кгс/см²; $X3 = (1,0...250)$ — перепад тиску, кгс/см²; $X4 = (18...19)$ — витрата бурового розчину, л/с; $X5 = (6...8)$ — тиск бурового розчину, МПа; $X6 = (1,0...22,0)$ — вміст змащувальної добавки в буровому розчині, %; $X7 = (10...200)$ — довжина ОБТ в компоновці низу бурильної колони, м; $X8 = (7,0...67,5)$ — зазор між ОБТ і стінкою свердловини, мм. Фактори $X1...X8$, що визначені вище, будемо розглядати як лінгвістичні змінні.

Крім того, введемо такі лінгвістичні змінні:

ψ — небезпечність аварій та ускладнень, яка вимірюється категоріями I, II, III; a — небезпечність аварій та ускладнень, що залежить від чинників $\{X1, X3\}$; v — небезпечність

аварій та ускладнень, що залежить від чинників {X4, X5, X6}; c — небезпечність аварій та ускладнень, що залежить від чинників {X7, X8};

Взаємозв'язок введених лінгвістичних змінних визначається співвідношеннями:

$$\psi = f\psi(a, v, c); \tag{1}$$

$$a = a\psi(X1, X3); \tag{2}$$

$$v = v\psi(X4, X5, X6); \tag{3}$$

$$c = c\psi(X7, X8). \tag{4}$$

Для оцінки лінгвістичних змінних X1...X8 і a, v, c будемо також використовувати єдину шкалу термів Н — низький, С — середній; В — високий.

Кожен з цих термів представляє нечітку множину, задану за допомогою функцій належності.

ЯКЩО $a = Н \text{ І } v = В \text{ І } c = С$, АБО $a = С \text{ І } v = В \text{ І } c = Н$, АБО $a = Н \text{ І } v = В \text{ І } c = С$, ТО $\psi = \psi I$.

Цьому висловлюванню відповідає логічне рівняння, що зв'язує функції належності змінних a, v, c і ψI :

$$\mu^{\psi I}(a, v, c) = [\mu^H(a) \wedge \mu^B(v) \wedge \mu^C(c)] \vee [\mu^C(a) \wedge \mu^B(v) \wedge \mu^H(c)] \vee [\mu^H(a) \wedge \mu^B(v) \wedge \mu^C(c)],$$

де $\mu^{\psi I}(a, v, c)$ — функція належності рішення $\psi = \psi I$, залежить від значень змінних a, v, c ; $\mu^j(a), \mu^j(v), \mu^j(c)$ — функції належності термів $j(B, C, H)$, що залежать від значень змінних a, v, c .

Користуючись функціями належності, запишемо логічні рівняння, що формують експертні знання. Для компактності запису операцію « \wedge » будемо позначати крапками (\cdot).

Логічні рівняння можливих аварій та ускладнень відповідної категорії

$$\begin{aligned} \mu^{\psi I}(a, v, c) &= [\mu^H(a) \cdot \mu^B(v) \cdot \mu^C(c)] \vee [\mu^C(a) \cdot \mu^B(v) \cdot \mu^H(c)] \vee [\mu^H(a) \cdot \mu^B(v) \cdot \mu^C(c)] \\ \mu^{\psi II}(a, v, c) &= [\mu^C(a) \cdot \mu^H(v) \cdot \mu^C(c)] \vee [\mu^H(a) \cdot \mu^C(v) \cdot \mu^H(c)] \vee [\mu^C(a) \cdot \mu^C(v) \cdot \mu^H(c)] \\ \mu^{\psi III}(a, v, c) &= [\mu^H(a) \cdot \mu^H(v) \cdot \mu^B(c)] \vee [\mu^C(a) \cdot \mu^H(v) \cdot \mu^B(c)] \vee [\mu^H(a) \cdot \mu^C(v) \cdot \mu^B(c)] \end{aligned} \tag{5}$$

Логічні рівняння можливих аварій, що залежать від тисків

$$\begin{aligned} \mu^H(a) &= [\mu^B(X_1) \cdot \mu^H(X_3)] \vee [\mu^C(X_1) \cdot \mu^H(X_3)]; \\ \mu^C(a) &= [\mu^C(X_1) \cdot \mu^C(X_3)] \vee [\mu^H(X_1) \cdot \mu^C(X_3)] \vee [\mu^B(X_1) \cdot \mu^C(X_3)]; \\ \mu^B(a) &= [\mu^H(X_1) \cdot \mu^B(X_3)] \vee [\mu^C(X_1) \cdot \mu^B(X_3)]. \end{aligned} \tag{6}$$

Логічні рівняння можливих аварій, що залежать від бурового розчину:

$$\begin{aligned} \mu^B(v) &= \mu^B(X_4) \cdot \mu^B(X_5) \cdot \mu^B(X_6) \vee \mu^B(X_4) \cdot \mu^B(X_5) \cdot \mu^B(X_6) \vee \mu^B(X_4) \cdot \mu^B(X_5) \cdot \mu^C(X_6); \\ \mu^C(v) &= \mu^C(X_4) \cdot \mu^C(X_5) \cdot \mu^C(X_6) \vee \mu^B(X_4) \cdot \mu^B(X_5) \cdot \mu^C(X_6) \vee \mu^C(X_4) \cdot \mu^C(X_5) \cdot \mu^B(X_6); \tag{7} \\ \mu^H(v) &= \mu^H(X_4) \cdot \mu^H(X_5) \cdot \mu^H(X_6) \vee \mu^H(X_4) \cdot \mu^H(X_5) \cdot \mu^H(X_6) \vee \mu^H(X_4) \cdot \mu^H(X_5) \cdot \mu^H(X_6); \end{aligned}$$

Логічні рівняння можливих аварій, що залежать від ОБТ

$$\begin{aligned} \mu^H(c) &= [\mu^B(X_7) \cdot \mu^H(X_8)] \vee [\mu^C(X_7) \cdot \mu^H(X_8)]; \\ \mu^C(c) &= [\mu^H(X_7) \cdot \mu^C(X_8)] \vee [\mu^C(X_7) \cdot \mu^C(X_8)] \vee [\mu^C(X_7) \cdot \mu^H(X_8)]; \tag{8} \\ \mu^B(c) &= [\mu^H(X_7) \cdot \mu^B(X_8)] \vee [\mu^C(X_7) \cdot \mu^B(X_8)]. \end{aligned}$$

Для використання отриманих логічних рівнянь скористаємося функціями належності і правилом перерахунку параметрів, яке наведено нижче.

Відобразимо діапазон $\left[\underline{X}_i, \overline{X}_i \right]$ зміни параметра x_i на множину $U_i = [0, i - 1]$, яку будемо вважати універсальною множиною змінної x_i . Перерахунок фіксованого значення $X_i^* \in \left[\underline{X}_i, \overline{X}_i \right]$ у відповідний елемент $U_i \in [0, i - 1]$ визначається пропорцією:

$$\frac{\overline{X}_i - X_i}{i - 1} = \frac{X_i^* - X_i}{U_i^*}, \text{ звідки } u_i^* = (i - 1) \cdot \frac{X_i^* - X_i}{X_i - X_i} \quad (9)$$

НИЗЬКИЙ (Н) = $[0, 2] \cup [0, 1] \cup [0, 5] \cup [0, 0] \cup 1$; СЕРЕДНІЙ (С) = $[0, 2] \cup [0, 2] \cup [0, 5] \cup [1, 1] \cup 1$; ВИСОКИЙ (В) = $[0, 2] \cup [0, 1] \cup [2, 2] \cup 1$; 0, 0,5 і 1 — α -рівні, що використовуються.

Для отримання аналітичних виразів функцій скористаємося рівняннями прямої

$$\begin{aligned} \tilde{\mu}^H(u) &= 1 - 0,5 \cdot u \quad u \in [0, 2]; \\ \tilde{\mu}^C(u) &= \begin{cases} 0,5 + 0,5 \cdot u & u \in [0, 1]; \\ 1,5 - 0,5 \cdot u & u \in [0, 2]; \end{cases} \\ \tilde{\mu}^B(u) &= 0,5 \cdot u \quad u \in [0, 2]. \end{aligned} \quad (10)$$

Візьмемо фактори, що характеризують процес буріння, які були зареєстровані в свердловині № 45 — Тянява об'єднання ВАТ «Укрнафта» в момент аварії: пластовий тиск $X_1 = 240$ кгс/см²; тип породи X_2 — глина + сіль; перепад тиску $X_3 = 54$ кгс/мс²; витрата бурового розчину $X_4 = 18,5$ л/с; тиск бурового розчину $X_5 = 7,45$ МПа; вміст нафти в буровому розчині $X_6 = 14$ %; довжина ОБТ $X_7 = 100$ м; зазор між ОБТ і стінкою свердловини $X_8 = 30$ мм.

Підставляючи знайдені функції належності в рівняння (6), знаходимо

$$\begin{aligned} \mu^H(a) &= 0,55 \cdot 0,78 \vee 0,95 \cdot 0,78 = 0,78; \\ \mu^C(a) &= 0,95 \cdot 0,72 \vee 0,45 \cdot 0,72 \vee 0,55 \cdot 0,72 = 0,72; \\ \mu^B(a) &= 0,45 \cdot 0,21 \vee 0,95 \cdot 0,21 = 0,21. \end{aligned}$$

Аналогічно знаходимо значення в рівнянні (7)

$$\begin{aligned} \mu^B(b) &= 0,6 \cdot 0,72 \cdot 0,62 \vee 0,6 \cdot 0,72 \cdot 0,62 \vee 0,6 \cdot 0,72 \cdot 0,88 = 0,72 \\ \mu^C(b) &= 0,9 \cdot 0,77 \cdot 0,88 \vee 0,6 \cdot 0,72 \cdot 0,88 \vee 0,9 \cdot 0,77 \cdot 0,62 = 0,77 \\ \mu^H(b) &= 0,4 \cdot 0,23 \cdot 0,38 \vee 0,4 \cdot 0,23 \cdot 0,38 \vee 0,4 \cdot 0,23 \cdot 0,88 = 0,23 \end{aligned}$$

В рівнянні (8)

$$\begin{aligned} \mu^H(c) &= 0,48 \cdot 0,62 \vee 0,98 \cdot 0,62 = 0,62; \\ \mu^C(c) &= 0,53 \cdot 0,88 \vee 0,98 \cdot 0,88 \vee 0,98 \cdot 0,62 = 0,98; \\ \mu^B(c) &= 0,53 \cdot 0,38 \vee 0,98 \cdot 0,38 = 0,38. \end{aligned}$$

Кінцево знаходимо значення функцій належності для аварій та ускладнень відповідної категорії за формулами (5)

$$\begin{aligned} \mu^{\Psi I}(a, b, c) &= 0,78 \cdot 0,72 \cdot 0,98 \vee 0,72 \cdot 0,72 \cdot 0,62 \vee 0,78 \cdot 0,72 \cdot 0,98 = 0,72; \\ \mu^{\Psi II}(a, b, c) &= 0,72 \cdot 0,23 \cdot 0,98 \vee 0,78 \cdot 0,77 \cdot 0,62 \vee 0,72 \cdot 0,77 \cdot 0,62 = 0,77; \\ \mu^{\Psi III}(a, b, c) &= 0,78 \cdot 0,23 \cdot 0,38 \vee 0,72 \cdot 0,23 \cdot 0,38 \vee 0,78 \cdot 0,77 \cdot 0,38 = 0,38. \end{aligned}$$

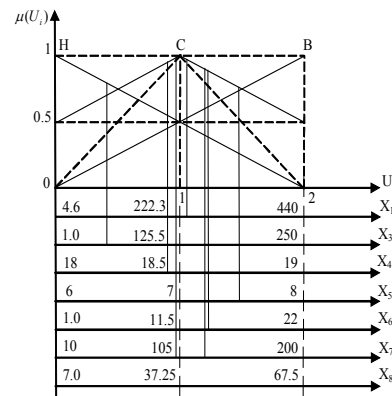


Рис. 5. Процедура отримання значень функцій належності в фіксованих точках

Оскільки функція належності має найбільше значення для аварій II категорії, то можемо констатувати, що в свердловині № 45—Танява відбулася аварія II категорії, що збігається з дійсністю.

Дослідимо дану систему контролю в програмному пакеті MATLAB (бібліотека Fuzzy Logic Toolbox).

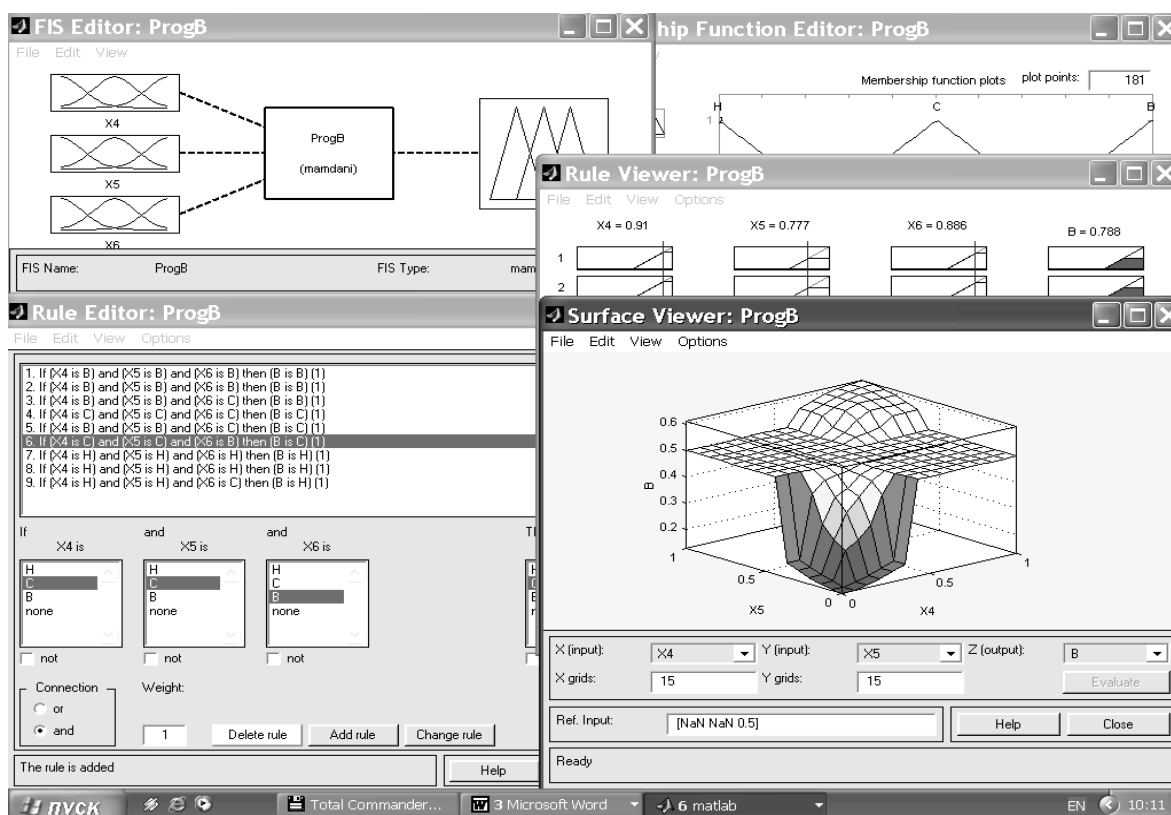


Рис. 6. Дослідження системи контролю для запобігання аварій та ускладнень

Висновки

В ході виконання роботи проведено аналіз уже відомих методів контролю аварій та теоретичних основ, що показали відсутність загальноприйнятого та водночас ефективного методу контролю, на основі якого можна було б отримати вірогідну інформацію про передаварійну ситуацію. З урахуванням особливостей процесу (невизначеність, нестационарність, неповнота інформації) і вимог до СК, з метою запобігання аварій та ускладнень обґрунтовано перспективність системи, що базується на використанні теорії нечіткої логіки, які дають можливість подолати невизначеність технологічної ситуації формування аварій та ускладнень.

Здійснено теоретичне обґрунтування можливості контролю для запобігання аварій та ускладнень, на основі використання принципів лінгвістичності знань про аварійні ситуації та ускладнення в процесі буріння свердловин, що дозволило описати причинно-наслідкові зв'язки «параметри процесу буріння — можлива аварія» на природній мові за допомогою нечітких логічних висловлювань.

Також розроблено структуру СК на базі нечіткої логіки з метою запобігання аварій та ускладнень, яка забезпечує підвищену точність фазифікації якісних входних сигналів з функціями належності трикутної форми за рахунок апріорного формування аналітичних залежностей для визначення точок перетину функцій незалежності входних нечітких сигналів та лінгвістичних термінів і проведено апробацію СК на експериментальних даних, результати якої підтверджують її ефективність.

Результати дослідження, стосовно розробки СК для запобігання аварій та ускладнень, реалізовані на базі інтегрованого математичного пакету MATLAB (бібліотека Fuzzy Logic Toolbox).

В перспективі планується здійснити ноніусний підхід до розв'язання даної проблеми, що дасть змогу ще на більш ранніх стадіях прогнозувати можливе виникнення аварійних ситуацій та ускладнень.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Семенов Г. Н. Автоматизація процесу буріння свердловин: Навчальний посібник. — Івано-Франківськ: ІФНТУНГ. — 1998. — Ч. I. — С. 5—18, 209—229.
2. Локотош Б. Н., Семенов Г. Н. Автоматизация процесса бурения глубоких скважин // Навчальний посібник. Львов: Издательство ЛГУ. — 1977. — С. 3—17.
3. Семенов Г. Н., Когуч Я. Р. Автоматизація систем контролю: Навчальний посібник. — Івано-Франківськ: ІФНТУНГ. — 2003. — С. 17—23.
4. Семенов Г. Н., Шавранський М. В. Фазі-логіка в системах контролю: Навчальний посібник. — Івано-Франківськ: ІФНТУНГ. — 2002. — С. 6—52.
5. Шавранський М. В. Система контролю для запобігання прихоплень бурильної колони в процесі буріння // Автореф. дис. ... канд. техн. наук 05.11.13 — Захищено 30.01.2004.
6. Семенов Г. Н., Кукурудз С. Ф. Автоматизація бурових установок. — Ужгород: Карпати, 1973. — 70 с.
7. Фадєєва І. Г. Техніко-економічне управління будівництвом свердловини на нафту і газ // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. Сер.: Технічна кібернетика і електрифікація об'єктів паливно-енергетичного комплексу. — 1997. — Вип. 34 (Т.6). — С. 200—206.
8. Шавранський М. В. Нечіткі алгоритми прогнозування передаварійних ситуацій і ускладнень в процесі буріння свердловин на нафту і газ // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. Серія: Технічна кібернетика та електрифікація об'єктів паливно-енергетичного комплексу. Вип. 35 (6). — Івано-Франківськ: ІФДТУНГ. — 1998. — С. 51—55.
9. Семенов Г. Н., Шавранський М. В. Інтелектуальна система прогнозування передаварійних ситуацій і ускладнень при бурінні свердловин: Пр. 5-ї Міжнародної конф. «Нафта і газ України», Ч. 2. — Полтава: 1998. — С. 129—130.
10. Семенов Г. Н., Шавранський М. В. Нечітка інтелектуальна система прогнозування передаварійних ситуацій і ускладнень у процесі буріння свердловин // Тези наук.-техн. конф. проф.-викл. складу університету. — Івано-Франківськ: ІФДТУНГ. — 1998. — С. 69—70.
11. Шавранський М. В. Интеллектуальная система прогнозирования передаварийных ситуаций и осложнений при бурении скважин // Проблемы нефтегазового комплекса России : 36. научн. тр. Международн. научн.- техн. конф., посвящен. 50-летию УНГТУ. — Уфа, 1998. — Т. 2. — С. 37—44.
12. Kastner W., Fenske A., Hampel R. Improvement of the robustness of Modelled Measuring Methods using Fuzzy Logic. — World Scientific, Proceeding of the 3rd International FLINS Workshop, Antwer, Belgium, 1998. — P. 129—142.
13. Zadeh L. A. The Role of Fuzzy Logic in the Management of Uncertainty in Expert Systems // Fuzzy Sets and Systems 11. — 1983. — P. 199—277.
14. Булатов А. И., Аветисов А. Г. Справочник инженера по бурению. — Т. 1, 2. Недра. 1986. — С. 4—9, 3—15.

Рудак Степан Миколайович — аспірант кафедри автоматичної та електроприводу.

Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка