

1989. - С. 12-13. 5. Мирзаджанзаде А.Х., Лветисов А.Г., Булатов А.И. Методические указания по применению статистических методов в бурении нефтяных и газовых скважин –

Краснодар: ВНИИКРнефть, 1983. – 316 с.б. Мислюк М.А., Зарубін Ю.О. Моделювання явищ і процесів у нафтопромисловій справі: Навчальний посібник. – Івано-Франківськ: Екор, 1999. – 496 с.

УДК 681.515

РОБАСТНИЙ МЕТОД АНАЛІЗУ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ПОРОДОРУЙНІВНОГО ІНСТРУМЕНТУ

©Семенцов Г.Н., Чигур І.І., 2006

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

На основі математичного та лінгвістичного опису процесу контролю породоруйнівого інструменту, запропоновано робастний метод аналізу технічного стану, що базується на детермінованій інформаційній моделі та нечіткій моделі. Метод дозволяє контролювати технічний стан опор і озброєння шарошкових доліт у реальному масштабі часу, в умовах інформаційної невизначеності процесу буріння свердловини

Впровадження сучасних методів контролю за технічним станом породоруйнівого інструменту в процесі буріння свердловини веде, без сумніву, до таких результатів: покращення продуктивності буріння і створення можливості керувати процесом буріння на основі повної і вірогідної інформації про нього.

В даній статті автори пропонують новий підхід щодо створення ефективного методу контролю за технічним станом породоруйнівого інструменту на вибої свердловини, який базується на аналізі інформації, джерелом якої є давачі системи СКУБ. Створення такого методу базується на повній математичній моделі породоруйнівого інструменту, як багатовимірного об'єкту контролю і на його фаззі моделі. Повну математичну модель породоруйнівого інструменту, як багатовимірного об'єкту контролю, можна представити у вигляді двох рівнянь – рівняння стану і рівняння спостереження, які записуються у вигляді векторних диференціальних рівнянь у формі Коші.

Рівняння стану, яке відображає динамічні властивості об'єкту (породоруйнівого інструмента), в загальному можна записати так:

$$\dot{y}(t) = Ay(t) + Bx(t) + \alpha(t), \quad (1)$$

де $y(t)$ – вектор стану з компонентами $\mu(t)$ – зношенням озброєння долота і $g(t)$ – його опор, які будемо називати змінними стану об'єкту; $x(t)$ –

вектор керування з компонентами $P(t)$, $n(t)$, $Q(t)$; $\alpha(t)$ – вектор збурень d_p , d_{op} , n_p , n_{no} , f , що діють на вході об'єкту; $A=[a_{ij}]_{n \times n}$; $B=[b_{ij}]_{n \times m}$ – матриці постійних коефіцієнтів, що залежать від параметрів об'єкту.

Векторне рівняння (1) еквівалентне системі n скалярних диференціальних рівнянь першого порядку

$$\dot{y}_i(t) = \sum_{j=1}^n a_{ij} y_j(t) + \sum_{j=1}^m b_{ij} x_j(t) + \alpha_i(t), \quad (2)$$

$i=1, 2, \dots, n.$

Але змінні стану $\mu(t)$ і $g(t)$ є неконтрольованими, тому скористаємося побічними показниками технічного стану породоруйнівого інструменту: механічною швидкістю проходки $v(t)$ і проходкою $h(t)$. Вони разом з інформацією про швидкість обертання долота $n(t)$ і осьове навантаження $P(t)$, є вихідними змінними $Y(t)$, що характеризують технічний стан породоруйнівого інструменту [1].

Всі змінні стану такої моделі контролювані і мають певний фізичний зміст.

Для такого вигляду функціональної структури контролюваного об'єкту повна математична модель містить ще рівняння спостережень, яке зв'язує змінні стану і керуючі впливи з вихідними змінними, що спостерігаються Y_c :

$$Y_c(t) = CY(t) + DX(t) + q(t), \quad (3)$$

або в скалярній формі

$$y_{ci}(t) = \sum_{j=1}^n C_{ij} y_j(t) + \sum_{j=1}^m d_{ij} x_j(t) + q_i(t); \quad (4)$$

$i=1, 2, \dots, l$

де $y_c(t) = [y_{c1}(t), y_{c2}(t), \dots, y_{cl}(t)]^T$ – вимірний вектор вихідних змінних об'єкту; $q(t) = [q_1(t), q_2(t), \dots, q_l(t)]^T$ – l – вимірний вектор збурень, що діють на виході об'єкту; $C = [c_{ij}]_{l \times n}$, $D = [d_{ij}]_{l \times m}$ – матриці постійних коефіцієнтів, що характеризують безінерційний вплив змінних стану і керуючих впливів на виході об'єкту.

Матриця спостереження C відображає статичні передавальні властивості як самого контрольного об'єкта, так і вимірювального пристрою, за допомогою якого отримують вихідні сигнали y_c .

Вектор збурень q містить також і перешкоди, що виникають у вимірювальному просторі.

Моделі об'єкта, що записані за допомогою змінних стану у вигляді рівнянь (1) і (3), відповідає алгоритмічна структура, яка зображена на рис. 1.

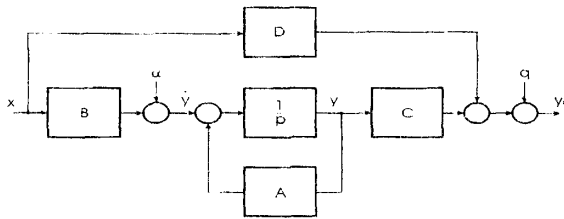


Рис. 1. Алгоритмічна структура технічного стану породуруйнівного інструменту у вигляді моделі змінних стану

У ланці, що стоїть між \dot{y} і y виконується операція

$$y = \left(\frac{1}{p} \right) \dot{y},$$

де $1/p$ - оператор інтегрування; I – одинична матриця.

Від моделі об'єкта, записаної у вигляді рівнянь (1) і (3), можна перейти до опису за методом “вхід-вихід”. Структуру пристрою, що оптимально може оцінити технічний стан породуруйнівного інструменту, можна створити, користуючись методикою фільтра Калмана. При цьому об'єкт, на вході якого діють керуючий вплив $x(t)$ і випадкове збурення $\alpha(t)$, будемо розглядати як формуючий фільтр, а сигнал, $y_c(t)$, що спостерігається на виході об'єкта, будемо подавати на вхід пристрою спостереження (рис.2), який представляє собою модель об'єкта, що охоплена від'ємним зворотнім зв'язком по сигналу:

$$\varepsilon_c(t) = y_c(t) - \hat{y}_c(t).$$

Як міра близькості оцінки $\hat{y}_c(t)$ до істинного сигналу $y_c(t)$ приймаємо середньозважене значення квадратів відхилень

$$\varepsilon_i = y_i - \hat{y}_i,$$

тобто скалярну величину

$$Q = M \left\{ \sum_{i=1}^n r_i [y_i(t) - \hat{y}_i(t)]^2 \right\},$$

де $M\{\dots\}$ – знак математичного сподівання, r_i – вагові коефіцієнти.

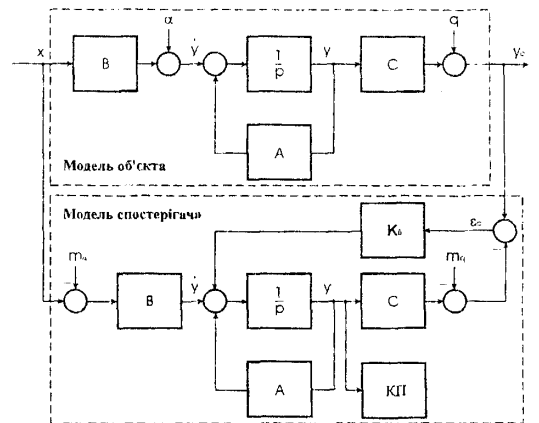
Будемо вважати, що об'єкт стаціонарний [2] і описується рівнянням

$$\dot{y}(t) = Ay(t) + B\alpha(t), \quad (5)$$

де $\alpha(t)$ – m – вимірний вектор білого шуму з нульовим математичним сподіванням і відомою матрицею-стовбцем інтенсивностей $S_{\alpha\alpha}$, а вимірювальний пристрій описується рівнянням

$$y_c(t) = cy(t) + q(t). \quad (6)$$

Тоді матричний коефіцієнт фільтра Калмана K_ϕ в усталеному режимі фільтрації стаціонарних станів представляє собою постійну $(n \times l)$ – матрицю



m_α, m_q – ненульові математичні сподівання перешкод;

K_I – контролюючий пристрій

Рис. 2. Структура класичного лінійного спостерігача за технічним станом породуруйнівного інструменту в процесі буріння свердловини

$$K_\phi = KC^T S_{q_0}^{-1}, \quad (7)$$

де S_{q_0} – матриця-стовбчик інтенсивності перешкод; K – постійна симетрична позитивно визначена матриця розміру $n \times n$, що визначається як розв'язок нелінійного матричного алгебраїчного рівняння

$$AK + KA^T + BS_{\omega} B^T - KC^T S_{q_0}^{-1} CK = 0. \quad (8)$$

Шукана матриця K представляє собою так звану коваріаційну (або дисперсійну) матрицю похибок оцінювання

$$K = \text{cov}(\varepsilon, \varepsilon) = M\{\varepsilon, \varepsilon^T\},$$

яка складається із дисперсій D_{ε_i} і кореляційних моментів $R_{\varepsilon_i \varepsilon_j}$ (0) похибок оцінювання і яка згідно визначення дорівнює:

$$K = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & \dots & k_{1n} \\ k_{21} & k_{22} & \dots & k_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ k_{n1} & k_{n2} & \dots & k_{nn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} D_{\varepsilon_1} & R_{\varepsilon_1 \varepsilon_2} & \dots & R_{\varepsilon_1 \varepsilon_n} \\ R_{\varepsilon_1 \varepsilon_2} & D_{\varepsilon_2} & \dots & R_{\varepsilon_2 \varepsilon_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ R_{\varepsilon_n \varepsilon_1} & R_{\varepsilon_n \varepsilon_2} & \dots & D_{\varepsilon_n} \end{bmatrix}.$$

Зокрема, коли $n=1$, коефіцієнт $K=k_{11}$ дорівнює дисперсії похибки оцінювання D_{ε} .

Формули (7) і (8) мають сенс лише в тому випадку, коли всі елементи матриці-стовбчика S_{q_0} відрізняються від нуля, тобто всі l складові сигналу $y_c(t)$ містять перешкоди. Рівняння (8) має єдиний позитивний визначений розв'язок, якщо система (5) і (6) – керована.

Якщо вхідні сигнали $\alpha(t)$ і $q(t)$ не є центрованими сигналами, то для отримання незміщених оцінок в схему необхідно згідно принципу суперпозиції ввести зі знаком мінус відповідні ненульові математичні сподівання $-m_g$ і m_α , як зображено на рис.2.

Керуючі впливи $X(t)$ розглядаються як додаткові зовнішні впливи і також, як детерміновані складові m_g і m_α подаються на відповідні входи спостерігача. Спостерігач забезпечує компроміс між швидкістю поновлення змінних стану і темпом згладжування завади спостереження. Баланс між цими двома властивостями визначається співвідношенням інтенсивностей збурень α і перешкод q . Якщо перешкода спостережень q відсутня, то точна оцінка технічного стану породоруйнівного інструменту можлива лише в тому випадку, коли кількість компонент змінної, що спостерігається, не більше числа компонент збурення α . Спостерігач такого типу може задовільно працювати і при достатньо довільно вибраному коефіцієнті K_ϕ . Єдиним обмеженням при виборі цього коефіцієнту є умова стійкості замкнутого контуру оцінювання. Звичайно матричний коефіцієнт K_ϕ треба вибирати таким, щоб перехідні процеси в контурі оцінювання завершувалися в 2-3 рази швидше, ніж в контурі управління [3]. Спостерігач, побудований у вигляді фільтру Калмана, має певну ступінь надлишковості, оскільки він оцінює весь вектор стану $Y(t)$, хоча l його компонент можна обчислити і за результатами

безпосередніх вимірювань. Тому можна використати і спрощений пристрій, що має порядок $(n-l)$.

Але треба враховувати, що класичний спостерігач, запропонований для контролю технічного стану породоруйнівного інструменту, ефективний, коли необхідні параметри піддаються спостереженню, що не завжди має місце при бурінні свердловини на нафту і газ. Це вимагає використання при контролі технічного стану породоруйнівного інструменту не тільки класичної детермінованої моделі, але і лінгвістичного опису, яким користуються технологи при виявленні катастрофічного стану породоруйнівного інструменту.

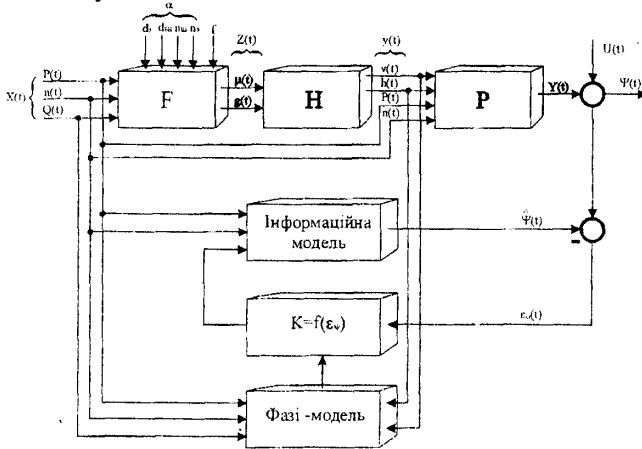
Характерну залежність між вхідними і вихідними змінними процесу катастрофічного зношення породоруйнівного інструменту можна змодельовати за допомогою наукового обґрунтування методів фаззи логіки. Фаззи логіка, як новітній метод, може бути використана не тільки для керування і діагностування, але і для моделювання нелінійних процесів, якими є зміна технічного стану породоруйнівного інструменту в часі. Динамічний процес катастрофічного зношення породоруйнівного інструменту характеризується нелінійністю, яка має нелінійну структуру аналітичної моделі, залежність коефіцієнтів в рівняннях моделі від часу і нелінійну залежність, як результат зміни стану процесу.

Глобальною задачею є розрахунок граничного часу роботи породоруйнівного інструменту на вибої свердловини при існуючих параметрах режиму буріння свердловини під час катастрофічного зростання показника зношення долота $dK_m / dt > 0$, який має місце як результат руйнування опор, або озброєння породоруйнівного інструменту. Для вирішення задач контролю такого класу був запропонований гібридний спостерігач. Він об'єднує класичного лінійного спостерігача з фаззи-моделлю. Для задач контролю технічного стану породоруйнівного інструменту в процесі буріння свердловини цей спостерігач може бути удосконалений і представлений у такому вигляді, який зображено на рис.3.

У зв'язку з тим, що показники групи y не дають однозначної відповіді про стан породоруйнівного інструменту, особливо опор, ввели додаткову групу показників: потужність на долоті $N(t)$, момент на долоті $M(t)$, та інші. Ця група показників контрольованого об'єкта визначається як деяка функція від вхідних і вихідних величин, тобто

$$Y_c(t) = P_k [X(t), y(t), \alpha, f, t], \quad k = 1, \dots, d.$$

Варіант контролю відповідає визначенню подій в умовах невизначеності.



$\hat{\psi}(t)$ - вихідна змінна спостерігача; $U(t)$ - метрологічні збурення; $\epsilon_v(t)$ - оцінка похибки; K - коректуючий сигнал

Рис.3. Структура комбінованого методу контролю за технічним станом породоруйнівного інструменту в процесі буріння свердловин

Вихідною змінною $Y(t)$ є відношення потужності M_n , що витрачається на обертання породоруйнівного інструменту, до потужності, що витрачається на просування інструменту вздовж свердловини, тобто

$$\psi = M_n / P_v.$$

Величина ψ є сталою на стадії нормальної експлуатації породоруйнівного інструменту і зростатиме при переході інструменту в режим катастрофічного технічного стану. Показник ψ піддається безперервному контролю у процесі буріння свердловини за допомогою робастного методу спостереження, який базується на використанні класичної моделі та фаззі логіки.

Фаззі-контролер, який базується на використанні фаззі моделі, дає можливість компенсації нелінійності і вдосконалення оцінок якості контролю технічного стану породоруйнівного інструменту.

Для аналізу моделі процесу буріння проведена певна кількість експериментів на бурових підприємствах Прикарпаття і проаналізовані результати інших досліджень. Було встановлено, що процес катастрофічного технічного стану породоруйнівного інструменту характеризується різними величинами початкових значень показника ψ і початкового граничного рівня ψ_0 на початку катастрофічного технічного стану.

Результати експериментів визначені для проектування фаззі-моделей контролю технічного

стану шарошkových доліт, який перевірений в режимі off-line за допомогою програмного комплексу DynStar.

На відміну від шарошkových доліт, складний породоруйнівний інструмент немає опор і тому структура фаззі-моделі для них (рис.4), представляє собою залежність між вхідними параметрами $P(t)$, $n(t)$, $Q(t)$, $h(t)$, $v(t)$ і вихідною змінною $\psi(t)$, яка необхідна для розрахунку граничного рівня технічного стану, базового на спостерігаючій моделі (рис.4).

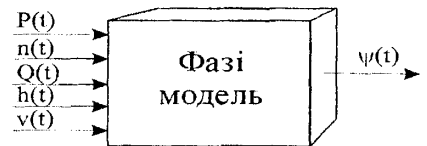


Рис.4. Фаззі-модель залежності "вхід-вихід" для складного породоруйнівного інструменту

Для вивчення залежності "вхід-вихід" необхідно розглянути три структури фаззі-моделей, які дають можливість порівняти отримані результати і оцінити точність моделювання:

багатомірну структуру моделі, паралельну структуру моделі, каскадну структуру моделі.

В першій структурі використовується одна мультимірні фаззі-модель.

Друга структура сформована певною кількістю одномірних фаззі-моделей, з'єднаних паралельно.

Третя структура містить каскадні двовимірні фаззі-моделі [4].

Під час створення фаззі-моделі для всіх варіантів структур моделей треба вирішити такі задачі, як: фаззіфікація, створення бази значень, дефаззіфікація (рис.5)

Засобами фаззіфікаційних операцій знаходиться кількість фаззі-множин і вид функцій. Основана на специфічних властивостях нелінійних характеристик апроксимація в фаззіфікаційному процесі була побудована з використанням трикутних функцій.

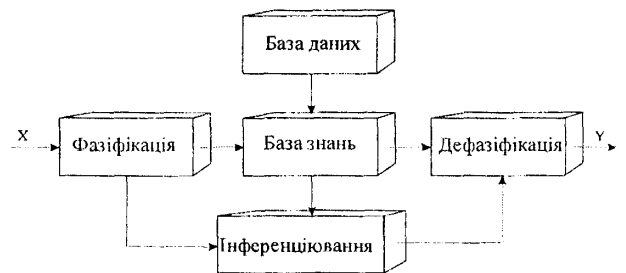


Рис.5 - Складові фаззі-моделі системи контролю технічного стану породоруйнівного інструменту

Фаззі-модель може бути створена на базі Mamdani або Sugeno [4]. В моделі Mamdani вихід знаходиться після процесу дефаззифікації. В цьому випадку можна визначити кількість множин, вид функцій і метод дефаззифікації. В моделі Sugeno виникає проблема визначення лінійної вихідної функції і вона не дає необхідної точності.

Створення робастних засобів контролю за технічним станом породоруйнівного інструменту базується на використанні цифрової обробки вимірюваної інформації безпосередньо в первинному вимірювальному контролері, що дає переваги в експлуатації і дозволяє одним приладом замінити декілька первинних пристроїв контрольовано-вимірюваної техніки.

1. Чизур І.І. Аналіз задачі алгоритмізації контролю технічного стану породоруйнівного інструменту // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. Серія: Технічна кібернетика та електрифікація об'єктів паливно-енергетичного комплексу. – 2001, Вип. 37 (7). – С. 114-119.
2. Семенцов Г.Н., Горбійчук М.І., Чизур І.І. Математичний аналіз критеріїв відпрацювання доліт // Нафтова і газова промисловість. – 2001, № 6. – С. 25 – 28.
3. Лукас В.А. Теорія автоматического управління: Учеб. для ВУЗов. – М.: Недра, 1990. – 416 с.
4. Kästner W., Fenske A., Hampel R. Improvement of the robustness of Model-based. 5. Measuring Methods using Fuzzy Logic // World Scientific, Proceedings of the 3rd International FLINS Workshop. - Antwerp., Belgium, 1998. – pp. 129-142.

УДК 681.3

ВИКОРИСТАННЯ АНАЛОГОВИХ КОДЕКІВ ДЛЯ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

© Євчук О.В., Ровінський В.А., Стрілецький Ю.Й., 2006
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Розглянуто способи використання аналогових кодеків, для вимірювання змінних аналогових сигналів низької частоти. Наведено схемні рішення вимірювальних пристроїв і програмна реалізація типових функцій, що застосовуються при роботі зі звуковими платами персональних комп'ютерів типу ІВМ РС в яких встановлені такі кодеки

При проведенні експериментальних та науково-дослідних робіт, пов'язаних з діагностикою або автоматизацією об'єктів нафтогазового комплексу, нерідко виникає потреба вводу вимірюваних даних в ЕОМ для подальшої їх обробки за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення. На початкових етапах експериментів, які стосуються оптимального вибору інформативних параметрів об'єкта діагностування або управління, досліднику необхідно визначитись з розрядністю блоку аналогово-цифрового перетворення (АЦП), кількістю його робочих каналів, швидкістю А/Ц перетворення тощо. Ця інформація необхідна для правильного вибору АЦП і впливає на структуру інформаційно-вимірювальної системи. Однак зробити правильні висновки про параметри робочих сигналів можна тільки зробивши попередні вимірювання. Як правило, в такому разі

вибір АЦП залежить в першу чергу від досвіду проектувальника і вибір здійснюється із значним запасом як по розрядності, так і по швидкодії. Це негативно позначається на собівартості розроблюваної системи.

На сучасному етапі світова промисловість випускає значну кількість АЦП як у вигляді інтегральних схем (найбільш поширені виробники: Analog Devices, Maxim, Texas Instruments, Linear Technology), так і у вигляді модулів збору інформації (Siemens, National Instruments). Останні незважаючи на значну вартість, найбільш широко застосовуються в промислових організаціях, оскільки їх використання потребує знань тільки системотехніки та програмування і не потребує досконалого знання схемотехніки прецизійних та вимірювальних схем. Власна розробка модулів збору інформації з розрядністю $n > 14$ в загальному випадку є складним завданням, яке може