

ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКИ МІЖ ПОКАЗНИКАМИ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ БУРІННЯ СВЕРДЛОВИН ТА ПРОХОДКОЮ НА ДОЛОТО

В.Б. Кропивницька

*ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (0342) 504521,
e-mail: vita103k@mail.ru*

Проведено аналіз фрактального поля технологічного процесу буріння нафтових і газових свердловин за діаграмою Ісікави, створено причинно-наслідкову модель процесу й удосконалено функціональну модель процесу буріння свердловин як об'єкта управління. Проаналізовано зв'язки між показниками ефективності процесу буріння і проходкою на долото. Отримано математичну модель питомих витрат енергії як інтегральної, досяжної для вимірювань оцінки ефективності процесу поглиблення свердловин, яку запропоновано для вирішення задач енергоінформаційного підходу й інтелектуальних технологій управління.

Ключові слова: фрактальне поле, функціональна модель процесу буріння, питомі енерговитрати, критерій оптимальності, енергоінформаційний підхід.

Проведен анализ фрактального поля технологического процесса бурения нефтяных и газовых скважин по диаграмме Исикава, создана причинно-следственная модель процесса и усовершенствована функциональная модель процесса бурения скважин как объекта управления. Проанализирована связь между показателями эффективности процесса бурения и проходкой долота. Получена математическая модель удельных затрат энергии, как интегральной, достижимой для измерений оценки эффективности процесса углубления скважин, предложенной для решения задач энергоинформационного подхода и интеллектуальных технологий управления.

Ключевые слова: фрактальное поле, функциональная модель процесса бурения, удельные энергозатраты, критерий оптимальности, энергоинформационный подход.

The fractal field of the oil and gas wells drilling based on Ishikawa diagram is analyzed. It made it possible to build up the causal model of the process and to improve the functional model of the wells drilling process acting as a controlled object. The relationships between the performance factors of the drilling process and the bit penetration are analyzed. We have obtained the mathematical model of the specific energy consumption, which acts as an integral and attained to measure the performance evaluation of the wells deepening process that is proposed to solve problems with energy-informational approach and intelligent technologies for management.

Key words: fractal field, functional model of the drilling process, specific energy consumption, optimality criterion, energy-informational approach.

Постановка проблеми. Проблема енергозбереження, яка спрямована на раціональне використання енергії та природних енергоресурсів, сьогодні набула особливої гостроти й актуальності. Основним чинником ефективності функціонування паливно-енергетичного комплексу України може бути зниження енерговикористання шляхом зменшення витрат енергії на процеси видобування вуглеводнів, зокрема, на буріння нафтових і газових свердловин. Суб'єктивність у визначенні раціональних режимів роботи обладнання бурових установок призводить до високих витрат енергоносіїв, низької продуктивності процесу. Відсутність адекватного математичного опису технології буріння, адекватних описів фрактального поля та окремих фракталів, неврахування недосяжних для вимірювання збурювальних впливів призводить до погіршення показників процесу буріння, зростання собівартості метра проходки. Отже, формування методів підвищення ефективності використання енергоресурсів на бурових установках за рахунок оптимального використання енергії, необхідної для буріння свердловини, є актуальним науково-прикладним завданням, вирішення якого дозволить підвищити ефективність буріння нафтових і газових свердловин.

Аналіз наукових досліджень і публікацій. Окремі аспекти підвищення ефективності буріння нафтових і газових свердловин знайшли відображення у роботах зарубіжних учених [1÷5 та ін.], які розглядають це питання як основне завдання автоматизації процесу буріння. Поставлено завдання створення автоматичної бурової установки з робочим місцем бурільника, аналогічним робочому місцю пілотів літаків або підводних човнів. Особлива увага надається оперативному управлінню процесом буріння у реальному масштабі часу за допомогою наземних комплексів контролю [6]. Увагу науковців зосереджено переважно на забезпеченні собівартості буріння свердловини. Актуальність наукової проблеми зумовлює інтерес до неї українських учених [7÷17 та ін.], які вивчають взаємозв'язки параметрів і показників процесу буріння з метою: оптимізації управління бурінням, визначення властивостей гірських порід у реальному масштабі часу, створення математичних моделей для задач оптимізації управління. Слід зазначити, що труднощі з вирішенням цієї проблеми обумовленні складністю об'єкта управління, наявністю недосяжних для вимірювання збурень, з стохастично-хаотичним характером процесу буріння.

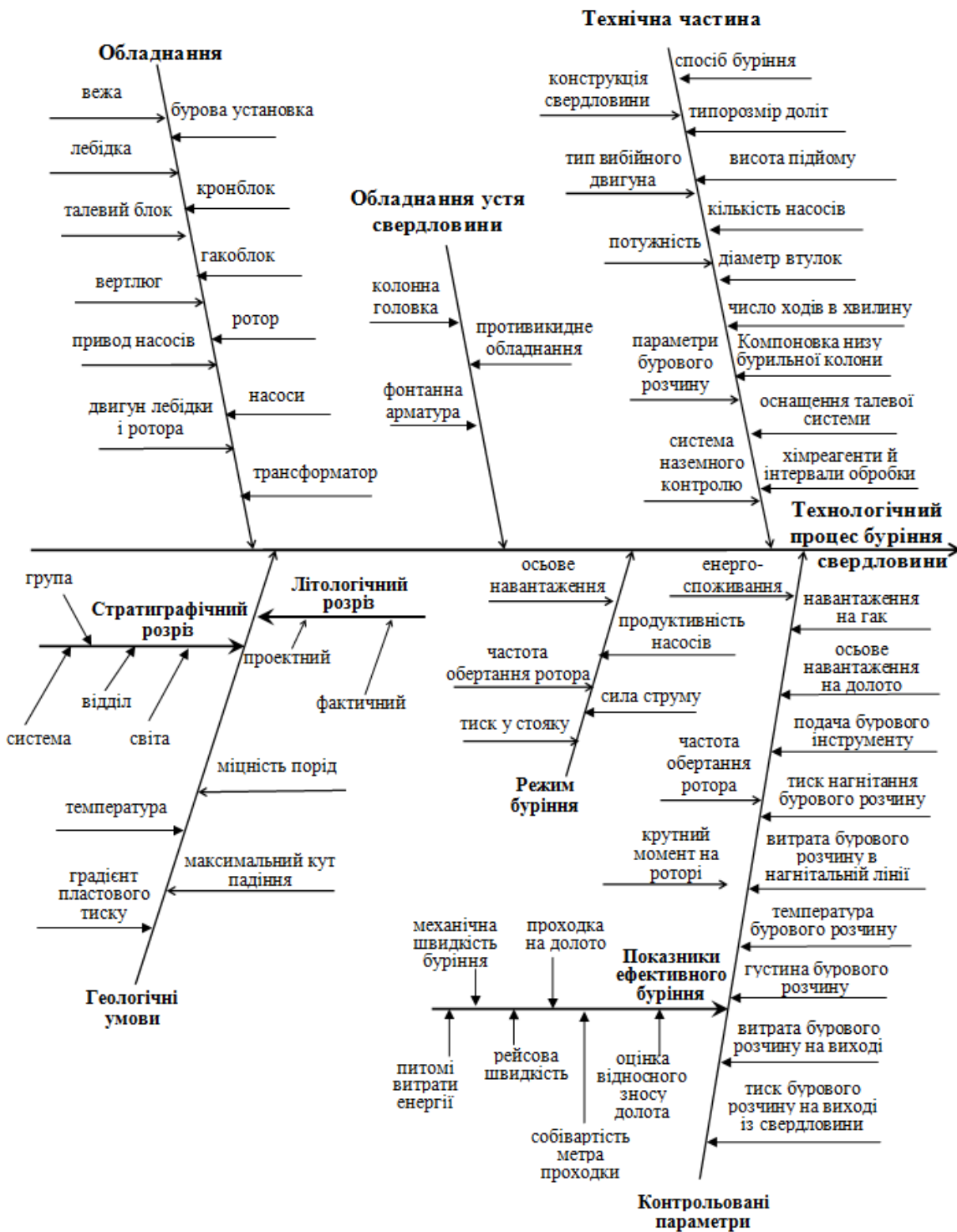


Рисунок 1 – Структура фрактального поля процесу буріння свердловин (діаграма Ісікави)

Мета роботи полягає у побудові багатовимірної моделі споживання енергії та зниження енерговитрат на процес поглиблення свердловин шляхом регулювання режимних параметрів процесу буріння в режимі реального часу за критерієм «мінімум питомих витрат енергії».

Висвітлення основного матеріалу. Проаналізуємо взаємозв'язки показників ефективності процесу буріння свердловин за одним із найбільш важливих параметрів – проходкою на долото. Вибір критерію проходки для аналізу

взаємозв'язків обумовлений тим, що максимум проходки на долото є одним із головних критеріїв оптимізації процесу буріння, а інші критерії оптимізації у той чи інший спосіб пов'язані з цим чинником. Основним джерелом інформації для зазначеного аналізу були геолого-технічні наряди на буріння свердловин, індивідуальні робочі проекти на спорудження свердловин, публікації у фахових виданнях.

За результатами аналізу побудовано причинно-наслідкову модель технологічного процесу буріння за схемою Ісікави (рис. 1).

Таблиця 1 – Опис параметрів процесу буріння свердловин

Параметр	Значення	Одиниця виміру	Параметр	Значення	Одиниця виміру
F_r	Навантаження на гак	кН	$L_{розг}$	Рівень розчину в приймальних ємностях	м
F	Осьове навантаження на буровий інструмент	кН	T	Температура бурового розчину в приймальних ємностях	$^{\circ}\text{C}$
h	Подача бурового інструмента	м	ρ	Густина бурового розчину в приймальних ємностях	$\text{кг}/\text{м}^3$
$h_{тб}$	Положення талевого блоку відносно стола ротора	м	$Q_{вих}$	Витрата виходу бурового розчину	%
P	Тиск нагнітання бурового розчину	мПа	$P_{вих}$	Тиск бурового розчину на виході із свердловини	мПа
Q	Витрата бурового розчину в нагнітальній лінії	$\text{м}^3/\text{с}$	$\rho_{вих}$	Густина бурового розчину на виході із свердловини	$\text{кг}/\text{м}^3$
n	Частота обертання ротора	об/хв	$T_{вих}$	Тиск бурового розчину на виході із свердловини	$^{\circ}\text{C}$
M	Крутний момент на роторі	кНм	m	Число подвійних ходів бурового насоса	
$M_{кл}$	Крутний момент на машинному ключі	кНм	V_r	Об'ємна місткість газу в буровому розчині	$\text{м}^3/\text{м}^3$

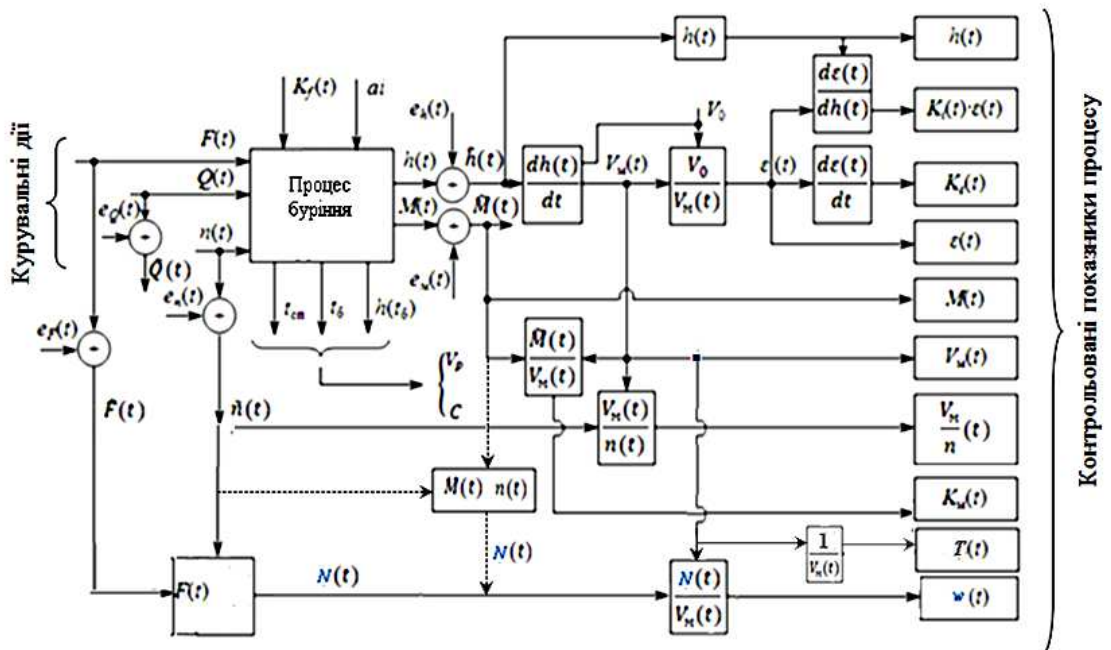


Рисунок 2 – Функціональна модель процесу буріння свердловин як об'єкта управління

Діаграма відображає основні структурні зв'язки всередині системи та дозволяє наочно відобразити ієрархію факторів і визначити структуру параметрів, які суттєво впливають на процес буріння свердловин. Визначені параметри наведені у табл. 1.

Сучасні системи контролю процесу буріння нафтових і газових свердловин, наприклад БУР-САК, дозволяють обчислювати додатково двадцять технологічних параметрів.

Для аналізу цих взаємозв'язків розглянемо функціональну модель процесу поглиблення нафтових і газових свердловин з декількома обчислювальними показниками ефективності (рис. 2).

На рис. 2 прийняті такі позначення:

$F(t)$, $Q(t)$, $n(t)$ – осьове навантаження на долото, витрата бурового розчину в нагнітальній лінії та частота обертання ротора, які створюють вектор керувальних дій $\vec{U}^T = (F, Q, n)$;

$e_F(t)$, $e_Q(t)$, $e_n(t)$ – похибки вимірювання відповідних параметрів: $\vec{F}(t) = F(t) + e_F(t)$;

$\vec{Q}(t) = Q(t) + e_Q(t)$; $\vec{n}(t) = n(t) + e_n(t)$;

$K_f(t)$ – вектор, який характеризує взаємодію об'єкта з навколишнім середовищем – вектор недоступних для вимірювання збурень (зміна фізико-механічних і абразивних властивостей порід, що розбурюються та ін.);

a_i – апріорна інформація, яку отримано на основі геолого-технічного наряду та інших документів;

$\varepsilon(t)$ – оцінка відносного зношення долота, $\varepsilon(t) = V_0 / V_m(t)$;

$h(t)$ – поточне значення проходки на долото, $\tilde{h}(t) = n(t) + e_h(t)$;

V_p – рейсова швидкість буріння;

C – собівартість метра проходки;

$h(t_0)$ – проходка на долото;

t_0 – тривалість буріння;

V_0 – початкове значення механічної швидкості буріння;

$e_m(t), e_h(t)$ – похибки вимірювань моменту на роторі і проходки;

$K_\varepsilon(t), K_i(t), K_M(t)$ – оцінки швидкості та інтенсивності відносного зношення оснащення долота, а також інтегрального показника зношування оснащення і опор долота, $K_\varepsilon(t) = d\varepsilon(t) / dt$,

$K_i(t) = K_\varepsilon(t) / V_0$,

$K_M = Mn / F \cdot V_M$, [11];

$N(t)$ – потужність на долоті;

$w(t)$ – питомі витрати енергії.

$T(t)$ – час, що витрачається на буріння 1 м свердловини.

Сукупність технологічних параметрів впливає на найважливішу характеристику процесу буріння – механічну швидкість буріння

$V_M = \frac{\Delta h}{\Delta t}$, м/год або на більш зручний показник

– час, що витрачається на буріння кожного метра свердловини $T = \frac{\Delta t}{\Delta h}$, год/м. За результатами аналізу інтенсивності зміни показника T можна визначити динамічний режим процесу буріння свердловини. На рис. 3 наведено графіки $T = f(h)$, $\frac{dT}{dh} = f(h)$, $\frac{d^2T}{dh^2} = f(h)$, що були отримані за результатами буріння свердловини № 804 ПАТ «Укрнафта» на глибині 2919-2932 м.

Буріння здійснювали роторним способом установкою Уралмаш 3Д-76 при частоті обертання $n=1,08 \text{ с}^{-1}$. Осьове навантаження на долото підтримували на рівні 196 кН, очищення вибою свердловини здійснювалося глинистим розчином густиною 1300-1350 кг/м³ та тиском 7,36-7,85 МПа. У даному інтервалі використовували долото 269,9 СЗГ. Під час поглиблення свердловини системою «Карпати» реєстрували: осьове навантаження на долото, температуру бурового розчину, проходку на долото, час на буріння 1 м породи T , частоту обертання ротора. Результати зміни параметра T в функції глибини свердловини h оброблені із застосуванням методів математичної статистики і побудовано графіки $T = f(h)$ (рис. 3).

Бачимо, що на глибині 2926 м долото пододало межу пластів, а на глибині 2929,5 м – ще одну межу, після якої різко збільшився час на буріння 1 м породи. Наявність цих меж пластів підтверджено даними електричного каротажу, отриманими Івано-Франківською експедицією з геофізичних досліджень свердловин.

Шляхом аналізування інтенсивності зміни показника T визначають стійкість динамічного режиму процесу поглиблення свердловини. Стійкий динамічний режим дозволить реалізувати заданий проектний профіль свердловини і забезпечити її потрапляння в коло допуску шляхом регулювання технологічних параметрів режиму. Підставою для зміни параметрів режиму є стрибкоподібна зміна показника T та його похідних (рис. 3).

Окрім прогнозування стійкості динамічного режиму поглиблення свердловин за зміною показника T можна встановити ступінь складності умов поглиблення свердловини за формулою К.Шеннона [6]:

$$R_z(x) = 1 - \frac{I(x)}{I(x)_{\max}}, \quad (1)$$

де R_z – коефіцієнт складності;

$I(x)$ – інформаційна цінність показника, яка розраховується за формулою

$I(x) = -\sum P_i \log P_i$, де P_i – ймовірність потрапляння показника, що аналізується, до певного інтервалу;

$I(x)_{\max}$ – максимальна інформативність показника за умов рівної вірогідності його розподілу.

Діапазони значень коефіцієнта складності змінюється в межах $0 \leq R_z(x) \leq 1$. Якщо ж $R_z(x) = 1$, то вважається, що динамічний процес за інформаційною насиченістю повністю визначений. Якщо $R_z(x) = 0$, то динамічний процес повністю не визначений і система є складною.

Це зумовлено тим, що процес поглиблення свердловини відбувається під впливом різного типу недосяжних для вимірювань завад за умов дефіциту апріорної та поточної інформації щодо параметрів об'єкта керування та його фрактальної структури. Окрім цього, сам процес поглиблення є невідтворюваним нелінійним стохастичним й таким, що розвивається в часі і супроводжується зношенням породоруйнівного інструменту.

З урахуванням особливостей процесу буріння, викликає інтерес застосування більш загального й універсального критерію оптимізації поглиблення свердловин, що ґрунтується на енергоінформаційному підході щодо моделювання системи «долото – порода». Одним із них є мінімум питомих витрат енергії на метр проходки або на кубічний метр вибуреної породи.

Вперше цей критерій був запропонований у роботі [9], а для його реалізації створено давач питомих витрат електроенергії. Отже, раціональним режимом роботи бурової установки є такий режим, при якому для будь-яких значень керуючих впливів існують мінімальні питомі витрати енергії

$$w(x) \xrightarrow{x \in S} \min; \quad N = N_{\text{доп}}, \quad Q_i = \text{const}, \quad (2)$$

де

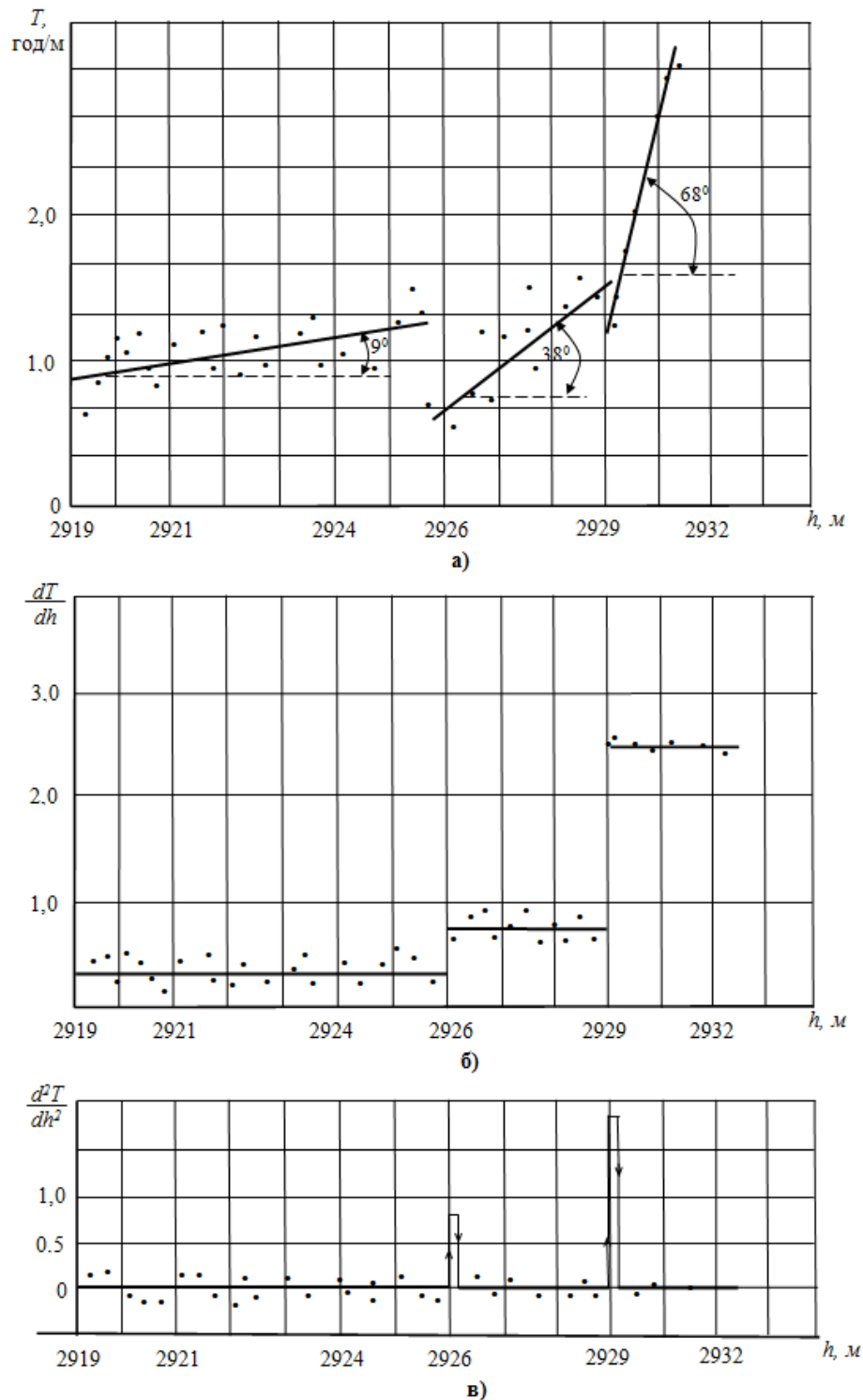


Рисунок 3 – Графіки залежностей показника T і його похідних від глибини свердловини

$$S = \left\{ \left(F_j, n_j \right)_{j=1,2,\dots,N}, F_{\min} \leq F_j \leq F_{\max}; \right. \\ \left. n_{\min} \leq n_j \leq n_{\max}; \sum_{j=1}^L h_j = H; h_j > 0 \right\},$$

L – кількість рейсів;
 H – проектна глибина свердловини;
 h_j – проходка на долото в j -рейсі;
 N – потужність на долоті.

Фізичний зміст цього критерію оцінювання процесу буріння трактується різними авторами [12÷16] по-різному: опірність породи руйнуванню; енергоємність процесу поглиблення свердловини; питома енергоємність руйнування породи; енергоємність процесу руйнування; об'ємна енергоємність процесу руйнування гірської породи.

Тому існує множина інформаційних моделей питомих витрат енергії [11,12,13,16], приклади яких наведені у табл. 2.

Таблиця 2 – Інформаційні моделі питомих витрат енергії

Модель	Розмірність	Значення параметрів моделей
$w(t) = \frac{N_{\text{дол}} \eta \cdot (1 - \mu)}{\frac{\pi D^2}{4} \cdot V_M}$, [16]	$\frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{м}^3}$	$N_{\text{дол}}$ – механічна потужність, яка підведена до долота; η – к.к.д. долота, $\eta = (0,1 \div 0,15)$ для шарошкових доліт, $\eta \approx (0,01 \div 0,02)$ для алмазних доліт; μ – степінь зношення долота, $0 \leq \mu \leq 1$; V_M – механічна швидкість буріння; D – діаметр долота
$w(t) = \frac{\eta N_1 + F V_M}{c V_M D^2 (1 + k V_M D^2 Q - 1)}$, [12]	$\frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{м}^3}$	N_1 – потужність, яка витрачається на обертання долота; $c = 0,1$ – безрозмірна константа, яка залежить від властивостей бурового розчину; F – осьове навантаження на долото; Q – витрата бурового розчину; k – безрозмірний коефіцієнт, який залежить від фізико-механічних властивостей гірської породи, властивостей бурового розчину і особливостей його подачі на вибій свердловини
$w(t) = \left(\eta \frac{M_0 n_0}{V_0 \cdot 0,75} + F_0 \right) (1 + bt)$, [13]	$\frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{м}^3}$	$V_0 = V_t / t=0$, $V_t = V_0 (1 + bt)^{-1}$, $b = k_1 V_0$; k_1 – коефіцієнт пропорційності; M_0 – початкове значення моменту на долоті; F_0 , n_0 – початкові значення осьового навантаження на долото і швидкості обертання
$w = \frac{N \cdot 4 \left[1 - (1 - \eta) \exp\left(\frac{\eta A}{E}\right) \right]}{V_M \pi D^2}$, [16]	$\frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{м}^3}$	A – робота, що витрачається на зношення долота, Дж; E – енергоресурс долота, Дж

За результатами проведеного аналізу запропоновано використовувати математичну модель питомих витрат енергії на поглиблення свердловин у такому вигляді [10]:

$$w = \frac{\eta \frac{Mn}{975} + F V_M}{c V_M D^2 (1 + k V_M D^2 Q^{-1})}, \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{м}^3}, (3)$$

де η – коефіцієнт корисної дії на долото;
 M – момент на долоті;
 n – частота обертання долота;
 F – осьове навантаження на долото;
 V_M – механічна швидкість буріння;
 D – діаметр долота;
 Q – витрата бурового розчину;
 k – безрозмірний коефіцієнт, який залежить від фізико-механічних властивостей породи, властивостей бурового розчину та особливостей його подавання на вибій свердловини;
 $c = 0,1$ – безрозмірна константа, яка залежить від властивостей бурового розчину.

З виразу (3) видно, що w є інтегральним чинником, який враховує властивості породи, параметри режиму буріння F , n , Q , діаметр долота D , механічну швидкість буріння V_M , момент на долоті M , а також властивості бурового розчину і особливості його подавання на вибій свердловини.

Для того, щоб визначити питомі витрати енергії w , необхідно знати коефіцієнт k , який залежить від властивостей бурового розчину, а також коефіцієнт корисної дії породоруйнівного інструменту η , який залежить від умов бу-

ріння, зношення опор і оснащення долота і змінюється в часі.

Оцінимо також числове значення виразу $1 + k (V_M D^2) / Q$, який є безрозмірним.

Враховуючи фактичні витрати електроенергії на буріння свердловини, встановлено [10], що числове значення виразу $1 + k (V_M D^2) / Q = 7,89$.

Тоді безрозмірний вираз $c(1 + k (V_M D^2) / Q)$ в знаменнику рівняння (3) дорівнює 0,789. Зі збільшенням потужності N значення цього виразу наближається до одиниці.

Отже, модель (3) можна переписати у такому вигляді

$$w = (10^{-3} \eta M n + F V_M) (V_M D^2)^{-1}, (\text{кВт} \cdot \text{год}) / \text{м}^3. (4)$$

Тепер перевіримо асимптотичні властивості залежності (3). За відсутності осьової сили на долото $F = 0$ і частоти обертання $n = 0$, незалежно від витрати бурового розчину Q , питома витрата енергії повинна дорівнювати нулю. Те ж саме впливає із моделі (4).

Якщо ж не подавати буровий розчин у свердловину ($Q = 0$), то, виходячи з аналізу процесу буріння, параметр w повинен також дорівнювати нулю, незалежно від частоти обертання долота і осьової сили. Такий же результат отримуємо з моделі (4). Все це підтверджує відповідність моделі (4) досліджуваному процесу.

Перевагою моделі (4) є те, що всі її параметри досяжні для вимірювань. Саме це дозволяє визначити питому витрату енергії w безпосередньо в процесі буріння свердловини.

Всі складові рівнянь (3), (4) контролюються доступними технічними засобами, за допомогою яких можна виготовити пристрій для визначення поточного значення показника $w(t)$. Цю задачу розв'язують у двох напрямках:

- для бурових установок з електричним приводом (потужність встановлених двигунів до 1000 кВт і більше);
- для бурових установок з дизельним приводом.

Що стосується першого напрямку, то для контролю питомих витрат електроенергії можуть бути використані прилади загальнопромислового призначення. Прикладом можуть бути вимірювальні прилади типу POWERLOGIC Power Meter, Class 3020 з мікропроцесорними пристроями для вимірювання таких електричних параметрів, як струм, напруга, потужність, енергія. Прилад забезпечує вимірювання близько 40 параметрів з максимальною похибкою $0,25 \pm 0,5\%$. Другим прикладом може бути прилад типу POWERLOGIC Circuit Monitor, Class 3020, який вимірює потужність і енергію з максимальною похибкою 0,2 - для струму і напруги і 0,4 - для потужності і енергії [17].

Коли йдеться про контроль питомих витрат енергії на буріння свердловини установками з дизельним приводом, то, перш за все, виникає питання щодо створення інформаційної моделі контролю.

Отже, проведений аналіз методів оцінювання поточних значень питомих витрат енергії довів, що найбільш ефективним є метод, який ґрунтується на визначенні питомих витрат енергії за допомогою параметрів і показників процесу буріння, які контролюються на поверхні (осьові навантаження на долото, швидкість обертання долота, механічна швидкість буріння). Метод є універсальним, оскільки може бути застосований для визначення питомих витрат енергії при буріння роторним способом (в тому числі з дизельним приводом), електробурами і турбобурами (додатково потрібен турботахометр).

Висновки

1. Аналіз факторного поля технологічного процесу буріння нафтових і газових свердловин показав, що існує більше 60 факторів, які впливають на процес буріння, та дозволив виділити вектори регульованих, збудуючи впливів і цільових параметрів процесу для задач оптимізації управління бурінням.

2. Розроблено функціональну модель процесу буріння свердловин як об'єкта управління в умовах апріорної та поточної невизначеності щодо параметрів і структури об'єкта, що дозволило провести аналіз взаємозв'язків показників ефективності процесу буріння свердловин з проходкою на долото.

3. Удосконалено математичну модель питомих витрат енергії як інтегральної контрольованої оцінки ефективності процесу поглиблення свердловини, яка може бути використана для автоматичного контролю цього параметра

та впровадження прогресивних методів автоматизованого управління у реальному масштабі часу на засадах інтелектуальних технологій управління й енергоінформаційного підходу.

Література

- 1 Jacobs T. Automated Drilling Technologies Showing Promise / T.Jacobs // IPT - June 2015 – P. 50-55.
- 2 Alread W. Drilling Automation / W.Alread, I.Bourque, M.Mannering, C.Chapman, B.Castel // Oilfield Review – 2012: 24, no 2. - P. 18-27.
- 3 Larsen H.F. The Automated Drilling Pilot on Statfjord C / H.F.Larsen, T.E.Alsfen, R.Kvalsund, F.P.Iversen, M.Welnor, S.Ekrene // IADC / SPE 128234 Drilling Conference and Exhibition, New Orleans, Louisiana, USA, 2-4. February, 2010. – P.1-11.
- 4 Thorogood I. Drilling Automation: Technologies, Terminology and Parallels With Other Industries / I.Thorogood, W.Aldread, F.Florence, F.Ivoisen // Paper SPE / IADC // 9884, presented at the / IADC Drilling Conference and Exhibition Amsterdam, The Netherlands, 17-19 March 2009. – P.1-9.
- 5 Fernander M. Significant Results on Field Trials (Argentina) at on Electronically Controlled Automatic Drilling System / M.Fernander, D.Ibanez, G.Storey // SPE 94889 Latin American and Caribbean Petroleum Engineering Conference, Rio de Janeiro, Brasil, 20-23 June 2005. – 4 p.
- 6 Белоконь С.В. Оперативное управление процессом бурения скважин по данным комплекса «Геосервис» / С.В.Белоконь // Нефтяное хозяйство. – 2001. – № 3. – С. 39-41.
- 7 Горбійчук М.І. Оптимізація процесу буріння глибоких свердловин: [монографія] / М.І.Горбійчук, Г.Н.Семенцов. – Івано-Франківськ: Факел, 2003. – 493 с.
- 8 Сабат Н.В. Метод контролю буримості гірських порід у процесі поглиблення свердловин / Н.В.Сабат // Академический вестник. – 2007. – № 19. – С. 52-53.
- 9 Семенцов Г.Н. Датчик удельного расхода электроэнергии и результаты его показателей / Г.Н.Семенцов, И.П.Петров, Н.Б.Ситников // Горный журнал: Изв. Вузов. – 1965. – № 9. – С. 60-65.
- 10 Семенцов Г.Н. Моделирование та ідентифікація процесу буріння для задач оптимізації управління / Г.Н.Семенцов, О.В.Гутак. – Одеса: Куприенко С.В., – 2014. – 295 с.
- 11 Фадєєва О.В. Методичні оцінки значень питомих витрат енергії / О.В.Фадєєва // Современные направления теоретических и прикладных исследований: сб.науч.тр. междунар.науч.-практ.конф. 15-25 марта 2007 г. – Одесса: Черноморье, 2007. – Том 2. – С.61-65.
- 12 Семенцов Г.Н. Інформаційна модель контролю питомих енерговитрат на поглиблення свердловин / Г.Н.Семенцов, Т.Я.Кузь // Науковий вісник ІФНТУНГ. – 2001. – № 1. – С.76-80.

13 Ситников Н.Б. Зависимость эффективности шарошечного бурения глубоких скважин от мощности на долоте / Н.Б.Ситников, А.А.Семенцова, В.Т.Трапезников // Горный журнал: Изв. Вузов. – 1987. – № 1. – С.53-55.

14 Ситников Н.Б. Моделирования и оптимизация процесса бурения геологоразведочных скважин: автореф. дис. д-ра техн. наук: спец. 05.13.07 – «Автоматизация процессов управления»; Уральский гос.горно-геологическая академия / Н.Б.Ситников. – Екатеринбург, 2000. – 41 с.

15 Семенцова А.А. Энергетические показатели и повышение эффективности использования погружного электропривода при бурении скважин: дис. канд. техн. наук: спец. 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы»; горный институт / А.А.Семенцова. – Свердловск, 1983. – 277 с.

16 Стетюха Е.И. Моделирование и оптимизация процесса обработки долота / Е.И.Стетюха, А.А.Голев // Нефтяная промышленность. – Сер. Автоматизация и телемеханизация в нефтяной промышленности. – 1984. – Вып. 2. – С.14-19.

17 Юрчак А. Шнейдер Электрик: предложения для систем SCADA и энергосбережения / А.Юрчак // Schneider Automation Club. – 1999. – № 6. – С.2-7.

*Стаття надійшла до редакційної колегії
05.06.17*

*Рекомендована до друку
професором **Семенцовим Г.Н.**
(ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ)
д-ром техн. наук **Лопатіним В.В.**
(Інститут геотехнічної механіки
ім. М.С.Полякова НАН України, м. Дніпро)*