

УДК 681.515.5:622.24

ANALYSIS OF RELATIONSHIPS OF DRILLING PROCESS EFFICIENCY INDICATORS ON THE BASIS OF A SYSTEMATIC APPROACH АНАЛІЗ ЗВ'ЯЗКІВ ПОКАЗНИКІВ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ БУРІННЯ НА ЗАСАДАХ СИСТЕМНОГО ПІДХОДУ

Shavranskyi M. / Шавранський М.В.

ORCID: 0000-0001-6636-1069

Lahoida L. / Лагойда Л.І.

ORCID: 0000-0002-2328-8276

Zvarych H. / Зварич Г.Г.

ORCID: 0000-0002-7866-542X

Mateik H. / Матеїк Г.Д.

0000-0003-0286-389X

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,

Ivano-Frankivsk, Karpatskaya, 15,76019

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,

Івано-Франківськ, вул.Карпатська,15,76019

Анотація: У роботі розглядаються взаємозв'язки основних показників ефективності процесу буріння з переміщенням долота на вибої свердловини, яке контролюється шляхом вимірювання переміщення верхнього кінця колони бурильних труб. Показано зв'язки проходки долота із завданнями виявлення, контролю та оптимізації процесу буріння.

Ключові слова: процес буріння, системний підхід, знос озброєння долота, оптимізація, рейсова швидкість, проходка долота.

Вступ.

Удосконалення математичних моделей і методів оптимізації технологічного процесу буріння нафтових і газових свердловин є актуальною науково-прикладною задачею у зв'язку з інтенсивним впровадженням в галузі доліт нового покоління, які забезпечують проходку на долото декілька тисяч метрів, і комп'ютерно-інтегрованих технологій [1,2,5]. З точки зору загальної теорії систем [3] досліджувані процеси мають ряд спільних характерних властивостей для різних способів буріння, серед яких для керування найважливішим є наступні:

- наявність взаємозв'язаних технологічних підсистем (поглиблення, промивання, закінчення свердловини) із складними зв'язками між ними;
- можливість управління підсистемами з використанням різних критеріїв;
- обмеженість автономності підсистеми, що викликає необхідність узгодження та координації їх сумісної роботи;
- існування задач оптимізації під час керування підсистемами;
- наявність ієрархічної структури, що обумовлено існуванням глобальної мети системи (мінімум вартості будівництва свердловини, мінімум часу будівництва свердловини) та частинних цілей окремих підсистем (мінімум собівартості метра проходки, максимум рейсової швидкості, мінімум питомих витрат енергії та ін.);
- наявність на буровій установці агрегатів великої одиничної потужності (наприклад, двигун типу АКБ-114-6 для бурової лебідки має потужність



320кВт ($U = 0,5кВ$), а типу АКБ-15-44-6 – 630 кВт ($U = 6кВ$));

- можливість постановки задачі статичної оптимізації технологічного процесу буріння на базі припущення щодо малої тривалості перехідних процесів в системі керування в порівнянні з періодом зміни збурень, зокрема міцності або буримості гірських порід;
- необхідність керування в on-line для вирішення задач оперативної оптимізації процесу буріння.

Проте, аналіз літературних джерел [1, 2, 4] показує недостатній об'єм проведених досліджень в контексті удосконалення математичних моделей процесу буріння долотами нового покоління на базі аналізу зв'язків показників процесу буріння.

Тому метою даної роботи є аналіз взаємозв'язків показників ефективності процесу буріння нафтових і газових свердловин з одним із найбільш важливих параметрів – проходкою долота. Вибір проходки (переміщення долота на вибої свердловини) для аналізу взаємозв'язків обумовлений тим, що максимум проходки на долото є одним із головних критеріїв оптимізації процесу буріння, а інші критеріє оптимізації тим чи іншим способом зв'язані з цим показником.

Основний текст.

Для аналізу цих взаємозв'язків розглянемо структурну схему процесу буріння нафтових і газових свердловин з декількома показниками ефективності (рис.1).

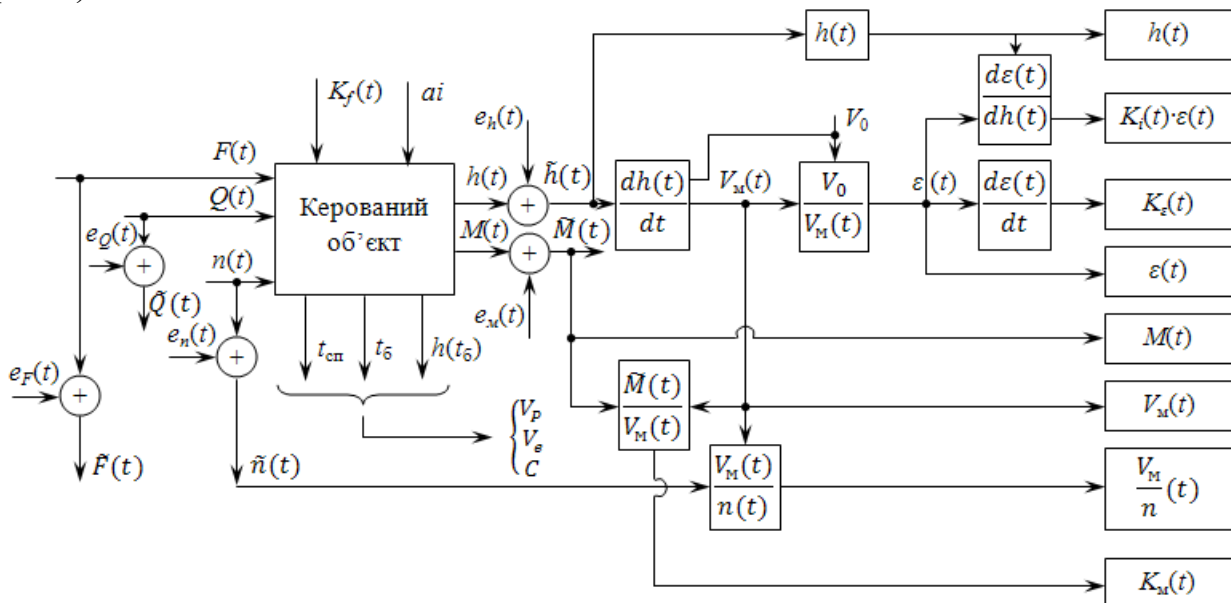
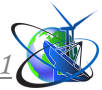


Рисунок 1 - Структурна схема процесу буріння нафтових і газових свердловин з показниками ефективності

Джерело: [2]

Відносний знос $\epsilon(t)$ озброєння долота визначається [2,4,5] як відношення механічної швидкості V_0 під час буріння незатупленим долотом до поточного значення механічної швидкості $V_m(t)$,

$$\epsilon(t) = \frac{V_0}{V(t)}, \tag{1}$$



де $V(t) = \Delta h / \Delta t$ – відношення переміщення Δh до часу Δt .

В процесі поглиблення свердловини відносний знос озброєння долота зростає з швидкістю, яка дорівнює

$$K_{\varepsilon}(t) = \frac{d\varepsilon(t)}{dt} = V_0 \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{V(t)} \right), \quad (2)$$

Отже показник $K_{\varepsilon}(t)$ формується на базі аналізу зміни проходки долота.

З метою оцінювання буримості і абразивності гірської породи можна використати похідну від $\varepsilon(t)$ по проходці долота $h(t)$:

$$\frac{d\varepsilon(t)}{dh(t)} = \frac{\frac{d\varepsilon(t)}{dt}}{\frac{dh(t)}{dt}} = \frac{K_{\varepsilon}(t)}{V(t)}, \quad (3)$$

де $K_i(t) = \frac{K_{\varepsilon}(t)}{V_0}$.

Як бачимо із (3), значення похідної $\frac{d\varepsilon(t)}{dh(t)}$ пропорційне швидкості зміни відносного зносу долота $K_{\varepsilon}(t)$ і обернено пропорційне механічній швидкості буріння $V(t)$. Збільшення відносного зносу озброєння долота веде до зростання похідної $\frac{d\varepsilon(t)}{dh(t)}$. На початку рейсу долота, коли воно ще не затуплене, співмножник $\varepsilon(t)$ в формулі (4) дорівнює одиниці:

$$\left. \frac{d\varepsilon(t)}{dh(t)} \right|_{t=0} = \frac{K_{\varepsilon}(t)}{V_0} = K_i(t). \quad (4)$$

Похідна $\frac{d\varepsilon(t)}{dh(t)}$ при $t = 0$ тим менше, чим менша інтенсивність відносного зношення долота $K_i(t)$. Остання залежність від параметрів режиму буріння, типорозміру долота, буримості і абразивності гірської породи. Тому за умови підтримки постійних параметрів режиму буріння цей показник може бути використаний для оцінювання буримості і абразивності гірських порід в реальному часі.

Із зменшенням показника $K_i(t)$ величина, обернена похідної $\frac{d\varepsilon(t)}{dh(t)}$, збільшується і при $K_i(t) = (K_i(t))_{\min}$ досягає свого максимального значення. Це говорить про те, що максимум проходки на долото може бути отриманий за умови, що в процесі буріння параметри режиму буріння F і n підтримуються на рівнях, які забезпечують

$$K_i(x) \xrightarrow{x \in S} \min, \quad (5)$$

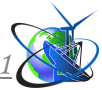
де

$$S = \{(F_i, n_i, Q_i)_{i=1, \dots, N}, F_{\min} \leq F_i \leq F_{\max}; n_{\min} \leq n_i \leq n_{\max}, h_i > 0; Q = \text{const}; M \leq M_{\max}\}.$$

Дійсно, якщо проінтегрувати рівняння (4) при $K_i = \text{const}$, то отримаємо

$$h = \int_{\varepsilon_1}^{\varepsilon_2} \frac{1}{K_i \varepsilon} d\varepsilon = \frac{1}{K_i} \ln \varepsilon, \quad (6)$$

де $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ – відносний знос озброєння долота на початку і в кінці відпрацювання



долота відповідно.

Із збільшенням відносного зносу озброєння долота $\varepsilon(t)$ механічна швидкість буріння зменшується

$$V_i(t) = \frac{V_0}{\varepsilon(t)}. \quad (7)$$

Отже $\varepsilon(t)$ є узагальненою оцінкою стану озброєння долота. Все сказане дозволяє вважати інтенсивність зміни відносного зносу озброєння долота одним із основних показників процесу буріння. Він може контролюватися за допомогою спеціальних обчислювальних пристроїв, побудованих на обробці інформації про поточне значення проходки долота, яка контролюється за переміщенням верхнього кінця колони бурильних труб. Це дає змогу використати показник K_i для вибору оптимальних параметрів режиму буріння.

Як показали дослідження [2] найбільш інформативним критерієм відробки долота є співвідношення

$$K_i = \frac{M \cdot n}{F \cdot V_i}, \quad (8)$$

де $F = \text{const}$, $n = \text{const}$.

Встановлені закономірності зміни крутного моменту на роторі внаслідок зносу опор шарошок, які мають стійку лінійну залежність в основний період роботи долота і експоненціальну – в завершальний період роботи долота. Ці обставини покладені в основу розробленого алгоритму. Момент підйому долота визначається, виходячи із співвідношення.

$$K_i > \dot{a}(K_i)_c, \quad (9)$$

де $(K_M)_z$ – задане порогове значення.

Оскільки для обчислень використовується інформація про механічну швидкість буріння, то дійсне значення показника K_M спостерігається на фоні завад. Тому для надійного визначення моменту підйому шарошкового долота для заміни застосовано рекурентний G – алгоритм кумулятивних сум [4].

Ще одним важливим показником буріння є проходка на один оборот V_M/n . Якщо побудувати графік залежності $\frac{V_i}{n} = f\left(\frac{F}{D}\right)$, то така крива дає змогу визначити параметр, який характеризує буримість порід.

Отже бачимо, що майже усі показники ефективності процесу буріння базуються на інформації про переміщення $h(t)$ долота на вибої свердловини. Окрім того, проходка на долото $h(t_0)$ входить і до складу таких критеріїв оптимізації як рейсова швидкість

$$V_\delta = \frac{h(t_a)}{t_a + t_{\text{нн}}}, \quad (10)$$

економічна швидкість

$$V_e = \frac{h(t_0)}{t_0 + t_{\text{сп}} + \frac{c}{B_r}}, \quad (11)$$



і собівартість метра проходки

$$\tilde{n} = \frac{\hat{A}_{\tilde{a}}(t_{\tilde{a}} + t_{\tilde{n}\tilde{i}}) + \hat{A}_{\tilde{a}}}{h(t_{\tilde{a}})}, \quad (12)$$

де B_r – вартість 1 години роботи бурової установки; B_d – вартість долота.

Отже проходка долота $h(t)$ є інформативним параметром, який є важливим для вирішення багатьох задач автоматичного контролю і керування. Проте, вимірювання цього параметру здійснюється за переміщенням верхнього кінця колони бурильних труб (КБТ) з похибками, які залежать від багатьох факторів [5]: осьової сили розтягу колони під дією власної ваги, осьової сили стиску нижньої частини КБТ при створенні осьової сили на долото, підйимальної сили промивальної рідини, температури в свердловині, навантаження від дії відцентрових сил при обертанні КБТ, розтягуючого навантаження під час прокачування промивальної рідини, сили від дії тертя КБТ в свердловині, сили згину в похилих свердловинах, динамічних сил, що зумовлені інерційністю КБТ.

У кінцевому результаті це призводить до того, що дійсне переміщення долота $h(t)$ на вибої свердловини вимірюють з певною похибкою $e_h(t)$, яку можна трактувати [3] як адитивний шум.

$$\tilde{h}(t) = h(t) + e_h(t). \quad (13)$$

Тому доцільним є формування певних вимог до промислових засобів вимірювання проходки. Створення і впровадження нових засобів вимірювання проходки як і інших технологічних параметрів процесу буріння, що задовільняють вимогам технологічного контролю, зв'язане з рішенням комплексу інформаційних технічних, екологічних і економічних проблем. Інформаційними проблемами є забезпечення вірогідності вимірювань за умов апіорної та поточної невизначеності за наявності різного типу завад і забезпечення оперативного технологічного контролю з вимірюваннями проходки з потрібним кроком дискретизації.

До технічних проблем можна віднести: забезпечення надійної роботи засобів вимірювання в певних кліматичних умовах і складних умовах експлуатації; забезпечення тривалої експлуатації без обслуговування; дотримання вимог вибухобезпеки.

Економічними проблемами є забезпечення ефективного буріння свердловини за рахунок зниження собівартості метра проходки, мінімізація витрат на впровадження засобів вимірювальної техніки, створення надійних, простих і дешевих пристроїв.

До екологічних проблем можна віднести необхідність виключення аварій з долотом і викидів вуглеводнів, запобігання аварійних ситуацій і ускладнень, зв'язаних з поглибленням свердловини і спуско-підйимальними операціями.

Для вимірювання проходки використали давач подачі бурильного інструменту, що входить до складу вдосконаленої газокаротажної станції АГКС-4АЦ (рис.2).

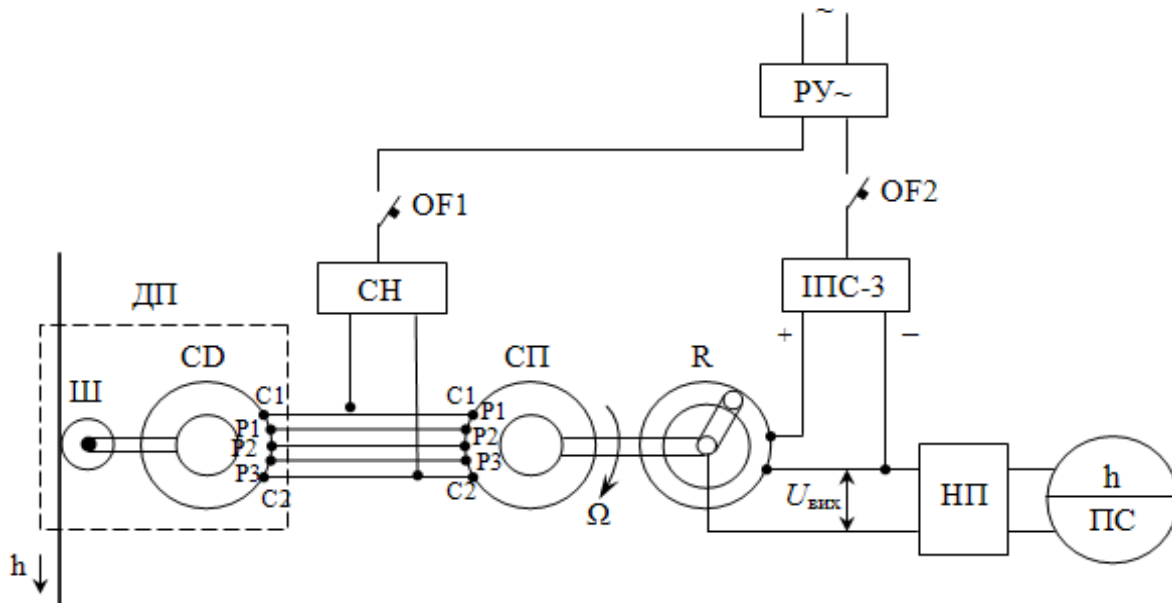
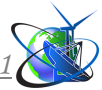


Рисунок 2 – Принципіальна схема пристрою для вимірювання переміщення верхнього кінця колони бурильних труб:

ДП – давач переміщення; OF1, OF2 – автоматичні вимикачі;

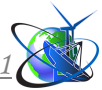
ПУ – розподільна установка змінного струму

Джерело: [2]

Дачч ДП приводиться в рух за допомогою шківa Ш, через який перекинутий сталевий трос діаметром 10мм, прикріплений одним кінцем до вертлюга, а другим – до протизаги, яка переміщується по направляючій. Трос натягнутий у напрямку переміщення протизаги до конструкції бурової вишки. Обертання шківa Ш передається сельсину-давачу СД, до якого за індикаторною схемою під'єднаний приймальний сельсин СП. Застосовані безконтактні сельсини типу БД404А (КЛ1). На валі приймального сельсину СП встановлений реохорд R з коловим переміщенням повзунка для перетворення переміщення троса в аналоговий сигнал. Живлення до нього підводиться від стабілізованого джерела постійного струму типу ПС-3. За допомогою нормуючого перетворювача НП здійснюється установка верхньої межі вимірювання переміщення h колони бурильних труб. Вихідна напруга $U_{\text{вих}}$ його подається на вхід автоматичного потенціометра КСП-2. З блоком живлення, приймальним сельсином і вимірювальним приладом давач ДП з'єднується п'ятижильним кабелем. Під час спуско-підіймальних операцій і нарощування бурильного інструменту давач не від'єднується.

Для вимірювання переміщень верхнього кінця колони бурильних труб найбільш ефективним є застосування давачів компанії ASM з вимірювальним сталевим тросом, барабан намотки якого суміщений з прецизійним енкодером (потенціометром), що перетворює довжину (до 60 м) розмотаного тросу в аналоговий (DCV.ACVC, DCmA) або цифровий (TTL, RC232 або CFN) сигнал.

Вбудована в корпус давача переміщень електроніка забезпечує налаштування аналогових сигналів в стандартному діапазоні $1 \div 10\text{В}$, $4 \div 20\text{мА}$, або перетворення цифрових сигналів в форматах інтерфейсів SSI, CFNopen, Device Net, Profibus. Напруга живлення від 5 до 30 В постійного струму.



Перевагою цих давачів переміщень є стійкість до вібрацій, ударів, несприятливих умов середовища застосування і висока швидкість вимірювання позиції об'єкту (до 20 м/с), що дозволяє використовувати його і для вимірювання спуско-підіймальних операцій. Крім того, ресурс давача перевищує 100 млн. операцій.

Таблиця 1 – Характеристики давачів переміщень компанії ASM

Тип давача	Діапазон, мм	Робочий діапазон температур, °С	Ступінь захисту
WS 19 KT	0-15000	-10 ÷ +70	IP64
WS 60	0-60000	-10 ÷ +70	IP52

Авторська розробка

Висновок. Був проведений аналіз зв'язків показників ефективності процесу буріння нафтових і газових свердловин на засадах системного підходу, який дозволив встановити, що головним інформативним показником процесу поглиблення є переміщення долота на вибої свердловини, яке контролюється за переміщення верхнього кінця колони бурльних труб і може бути використано в системах контролю, а також оптимального керування процесом буріння для визначення оптимальних керувальних дій, виявлення меж пластів, що відрізняються за міцністю, і виявлення початку завершального періоду роботи долота і моменту логічного завершення рейсу долота.

Література:

1. Драганчук О.Т. Аналіз відпрацювання доліт PDC на родовищах України і світу / О.Т. Драганчук, Т.О. Пригоровська // Нафтогазова енергетика. – 2008. - №4. – С.11-15.
2. Семенцов Г.Н. Автоматизація технологічних процесів в нафтовій і газовій промисловості; [навчальний посібник], ч.IV. Автоматизований контроль меж пластів гірських порід в процесі буріння свердловин на нафту і газ / Г.Н. Семенцов, Я.Р. Когуч // Київ, НАЦ ДК «Укртрансгаз». – 1998. – 204 с.
3. Ладанюк А.П. Основи системного аналізу / А.П. Ладанюк // Вінниця: Нова книга – 2004. – 173с.
4. Горбійчук М.І. Оптимізація процесу буріння глибоких свердловин / М.І. Горбійчук, Г.Н. Семенцов // Івано-Франківськ: Факел, 2003 – 493 с.

Abstract. The analysis of viscosity indicators of the effectiveness of the process of drilling naphtha and gas drills on ambushes of a systematic approach allows us to establish what is the main informative indicator of the process of sinking and moving the bit on any drill. Please, how to control the movements of the upper end of the drill pipe column and can be used in control systems, as well as the optimal drilling process to determine the optimal drilling operations, identifying between layers that are divided into minerals, and identifying the beginning of the final period of bit operation and the moment of logical completion of the bit run.

Key words: drilling process, system approach, worn bit, optimization, trip fluidity, bit penetration.

Стаття відправлена: 05.02.2024 р.

© Шавранський М.В., Лагойда Л.І., Зварич Г.Г., Матеїк Г.Д.