



УДК 681.513.5:622.24.205.055

STUDY OF THE MULTICOLINEARITY OF THE EFFICIENCY CRITERIA OF THE OIL AND GAS WELL DRILLING PROCESS USING PDC-TYPE BITS

ВИВЧЕННЯ МУЛЬТИКОЛІНЕАРНОСТІ КРИТЕРІЇВ ЕФЕКТИВНОСТІ РОЦЕСУ БУРІННЯ НАФТОВИХ І ГАЗОВИХ СВЕРДЛОВИН ЗА ВИКОРИСТАННЯМ ДОЛІТ ТИПУ PDC

Skripyuk R.B. / Скрип'юк Р.Б.

ORCID: 0009-0003-0888-4218

Kilishtof I. R. / Кіліштоф І.Р.

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. Розглядається вплив функції зносу озброєння доліт типу PDC на проходку долота, механічну швидкість проходки, рейсову швидкість і собівартість метра проходки нафтових і газових свердловин. На базі аналізу необхідних умов існування екстремумів цих критеріїв показано, що для доліт типу PDC всі оптимальні режими збігаються.

Ключові слова: критерії оптимальності, аналіз, мультиколінеарність, процес буріння, долото типу PDC.

Вступ.

Алгоритм оптимального керування процесом буріння, розроблений на основі математичної моделі керованого об'єкта, передбачає визначення критерію оптимальності. У випадку буріння нафтових і газових свердловин з використанням традиційних шарошкових доліт, основними критеріями оптимальності є собівартість метра проходки, максимальна проходка на долото та критерій максимальної рейсової швидкості, які були предметом глибокого дослідження [1,2].

Важливо відзначити, що на сучасний момент співвідношення між обсягами буріння за допомогою традиційних шарошкових доліт і новітніх доліт типу PDC (Polycrystalline Diamond Cutter) приблизно дорівнює 75% і 25% відповідно. Однак прогнозується, що найближчим часом це співвідношення зміниться на 50% на 50% [2, 3]. Це пояснюється тим, що конструкція доліт типу PDC забезпечує тривалий термін служби і високі швидкості буріння за рахунок високої стійкості до зносу ріжучих елементів PDC, відсутності підшипникової опори, що підвищує проходку на долото і значно зменшує кількість опускально-підіймальних операцій. Крім того, мінімальний вплив динаміки роботи долота на вибір свердловини і колону бурильних труб, а також висока стійкість різців колібруючої поверхні усувають необхідність обробки і колібрування стовбура свердловини перед опусканням обсадної колони [3,4].

Вивчення впливу зношування обладнання доліт типу PDC на оптимальні параметри керування є актуальним завданням у науці та практиці, оскільки використання комп'ютерно-інтегрованих технологій в бурінні поширюється, а обсяги пошуково-розвідувального буріння збільшуються. З наявних наукових досліджень [1,2,4,5] відомо, що увага приділяється головним чином критеріям



оптимальності для процесу буріння нафтових і газових свердловин за допомогою традиційних шарошкових доліт. У цьому контексті велике значення має ступінь зношування долота і час, витрачений на опускально-підіймальні операції. У рейсі проводиться від 100 до 300 однотипних з'єднань і розв'язувань бурильного інструменту. Таким чином, розробка оптимальних критеріїв для ефективного контролю роботи доліт нового покоління вимагає детального вивчення і подальшого розвитку відповідних критеріїв оптимальності для основного періоду експлуатації цього типу доліт.

Проте, аналіз літературних джерел [1,2,3,4] свідчить про недостатній об'єм проведених досліджень унапрямку встановлення критеріїв оптимальності для процесу буріння нафтових і газових свердловин долотами нового покоління типу PDC.

Метою даної роботи є аналіз впливу функції зношування оснащення доліт типу PDC на відомі критерії оптимальності процесу буріння нафтових і газових свердловин.

Основний текст.

Враховуючи, що у процесі буріння свердловин різної глибини та призначення традиційними шарошковими долотами керувальні стратегії, які можуть бути оптимальними з точки зору одного чинника, не завжди є оптимальними з іншого погляду, можна стверджувати, що їх екстремуми не співпадають. Наприклад, максимальна механічна швидкість проходження не завжди збігається з максимальною проходкою долота; мінімальна собівартість метра проходження свердловини не відповідає максимуму рейсової швидкості [1,5]. Навпаки, максимум проходження долота збігається з мінімумом електроенергії на одиницю об'єму пройденної свердловини. Дослідження свідчить [1], що вести керування процесом буріння за єдиним критерієм є непрактичним. Таким чином, запропоновано збільшувати глибину свердловини, використовуючи традиційні шарошкові долота, і впроваджувати критерії оптимальності послідовно, дотримуючись визначеного порядку:

$$P: V_p(x) \xrightarrow{x \in S} \max; c(x) \xrightarrow{x \in S} \min; P: h_i(x) \xrightarrow{x \in S} \max, \quad (1)$$

де $S = \left\{ (F_i n_i)_{i=1,2,\dots,N}; F_{\min} \leq F_i \leq F_{\max}; n_{\min} \leq n_i \leq n_{\max}; \sum_{i=1}^N h_i = H; h_i > 0 \right\}$, V_p – рейсова швидкість буріння, c – собівартість метра проходки, F_i , n_i – осьова сила на долото і швидкість його обертання у i -му рейсі, N – кількість рейсів долота, h_i – проходка на долото в i -му рейсі, H – проектна глибина свердловини.

У процесі буріння долотом типу PDC, що не затуплюється, оцінка математичного сподівання механічної швидкості проходки не змінюється в часі, тобто

$$V = V(\bar{U}), \quad (2)$$

а функція зношування є часом $T_{\text{вд}}$ відпрацювання долота

$$\phi(\bar{U}, t) = T_{\text{вд}}(\bar{U}). \quad (3)$$

Оскільки можна підібрати деяке значення часу T , протягом якого відбувається процес буріння в однорідних за міцністю породах, а саме $|0 < T < \infty|$,



і для якого виконується умова

$$\int_{t_2 - \frac{T}{2}}^{t_2 + \frac{T}{2}} V(\tau) d\tau = \text{const} \quad (4)$$

то такий режим буріння є усталеним (рис.1).

Отже в усталеному режимі буріння постійним є математичне сподівання механічної швидкості проходки на інтервалі часу тривалістю T , який відповідає бурінню з постійними керувальними діями в породах однакової міцності.

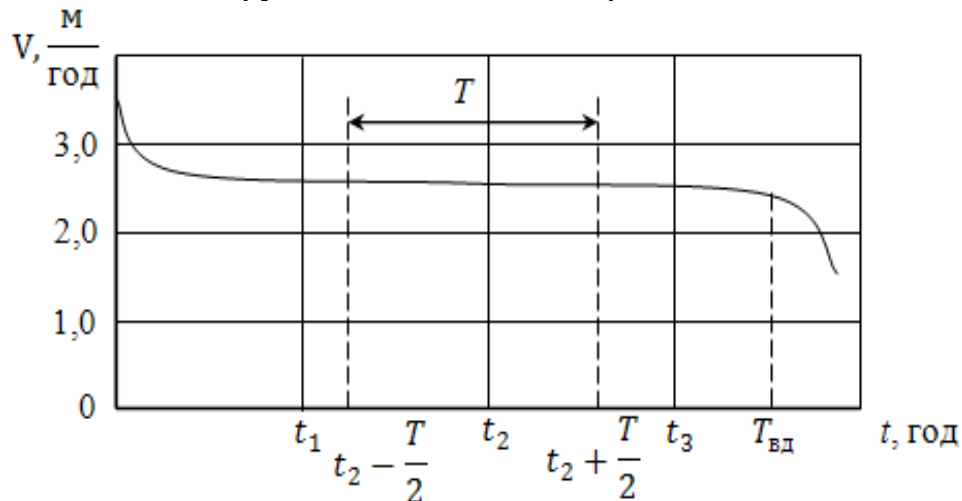


Рисунок 1 – Графік зміни оцінки математичного сподівання механічної швидкості проходки в часі

Джерело: [3]

Зважаючи на (3), проходка на долото типу PDC дорівнюватиме

$$h_d = V(\bar{U}) \cdot T_{вд}(\bar{U}) \quad (5)$$

Для ілюстрації того, що екстремуми функцій (1) і (2) збігаються під час буріння долотами типу PDC, визначимо необхідні умови максимуму механічної швидкості проходки.

$$\frac{\partial V(\bar{U})}{\partial F} = 0, \quad \frac{\partial V(\bar{U})}{\partial n} = 0 \quad (6)$$

і максимуму проходки на долото

$$\frac{\partial h_d}{\partial F} = 0, \quad \frac{\partial h_d}{\partial n} = 0 \quad (7)$$

Після підстановки в систему рівнянь (7) виразу (6), отримаємо:

$$\frac{\partial(V(\bar{U}) \cdot T_{вд}(\bar{U}))}{\partial F} = \frac{\partial V(\bar{U})}{\partial F} T_{вд}(\bar{U}) + V(\bar{U}) \frac{\partial T_{вд}(\bar{U})}{\partial F} = 0,$$

$$\frac{\partial(V(\bar{U}) \cdot T_{вд}(\bar{U}))}{\partial n} = \frac{\partial V(\bar{U})}{\partial n} T_{вд}(\bar{U}) + V(\bar{U}) \frac{\partial T_{вд}(\bar{U})}{\partial n} = 0. \quad (8)$$

Аналіз систем рівнянь (6) і (8) свідчить, що їх розв'язки ніколи не збігаються, оскільки, в системі рівнянь (8) наявна похідна від функції



зношування, яка в процесі буріння традиційними шарошковими долотами весь час змінюється. Проте, оскільки для доліт нового покоління, що не затуплюються зокрема типу PDC, функція зношування постійна, то складові рівнянь системи

(8) дорівнюють $V(\bar{U}) \frac{\partial T_{\text{вд}}(\bar{U})}{\partial F} = 0$ і $V(\bar{U}) \frac{\partial T_{\text{вд}}(\bar{U})}{\partial n} = 0$. Тоді система рівнянь (8) набуде такого вигляду

$$\frac{\partial V(\bar{U})}{\partial F} T_{\text{вд}}(\bar{U}) = 0,$$

$$\frac{\partial V(\bar{U})}{\partial n} T_{\text{вд}}(\bar{U}) = 0. \quad (9)$$

Отже, порівнявши системи рівнянь (9) і (8), бачимо, що екстремуми механічної швидкості проходки і проходки на долото типу PDC збігаються. Це означає, що керування процесом буріння можна здійснювати на базі критеріїв

$$h_i(x) \xrightarrow{x \in S} \max \vee V_i(x) \xrightarrow{x \in S} \max. \quad (10)$$

Тепер розглянемо показник рейсової швидкості проходки долотами типу PDC

$$V_p = \frac{h}{t_{\text{б}} + t_{\text{спо}}}, \quad (11)$$

де $t_{\text{б}}$ – час чистого буріння, $t_{\text{спо}}$ – час, що витрачається на спуско-підймальні операції.

Враховуючи, що $h = V \cdot T_{\text{вд}}$ і $t_{\text{б}} = T_{\text{вд}}$, отримаємо

$$V_p = \frac{V \cdot T_{\text{вд}}}{T_{\text{вд}} + t_{\text{спо}}}, \quad (12)$$

тобто рейсова швидкість проходки долотами типу PDC залежить від механічної швидкості проходки $V(\bar{U})$ і функції зношування долота $T_{\text{вд}}(\bar{U})$.

Необхідні умови існування екстремуму рейсової швидкості проходки

$$\frac{\partial V_p(\bar{U})}{\partial F} = 0, \quad \frac{\partial V_p(\bar{U})}{\partial n} = 0 \quad (13)$$

у цьому випадку дають таку систему рівнянь [4]:

$$(T_{\text{вд}}^2 + T_{\text{вд}} \cdot t_{\text{спо}}) \frac{\partial V}{\partial F} + V \cdot t_{\text{спо}} \frac{\partial T_{\text{вд}}}{\partial F} = 0,$$

$$(T_{\text{вд}}^2 + T_{\text{вд}} \cdot t_{\text{спо}}) \frac{\partial V}{\partial n} + V \cdot t_{\text{спо}} \frac{\partial T_{\text{вд}}}{\partial n} = 0. \quad (14)$$

Для незатупленого долота типу PDC відсутність зношування оснащення означає, що $T_{\text{вд}} = \text{const}$. Тоді

$$V t_{\text{спо}} \frac{\partial T_{\text{вд}}}{\partial F} = 0 \quad \text{і} \quad V t_{\text{спо}} \frac{\partial T_{\text{вд}}}{\partial n} = 0$$

і розв'язок системи рівнянь (14) збігається з розв'язками систем (8) і (9).



Отже максимум рейсової швидкості проходки у процесі буріння долотами типу PDC збігається з максимумами механічної швидкості проходки і проходки на долото.

Окрім того, розглянемо критерій собівартості метра проходки

$$C = \frac{B_{\Gamma}(T_{\text{вд}} + t_{\text{сно}}) + B_{\text{д}}}{h}, \quad (15)$$

де B_{Γ} – вартість однієї години роботи бурової установки без урахування вартості долота, $B_{\text{д}}$ – вартість долота.

Умови існування мінімуму собівартості метра проходки свердловини долотом типу PDC дають таку систему рівнянь [4]:

$$T_{\text{вд}}(T_{\text{вд}}B_{\Gamma} + t_{\text{сно}}B_{\Gamma} + B_{\text{д}})\frac{\partial V}{\partial F} = -(B_{\Gamma}t_{\text{сно}} + B_{\text{д}})\frac{\partial T_{\text{вд}}}{\partial F},$$

$$T_{\text{вд}}(T_{\text{вд}}B_{\Gamma} + t_{\text{сно}}B_{\Gamma} + B_{\text{д}})\frac{\partial V}{\partial n} = -(B_{\Gamma}t_{\text{сно}} + B_{\text{д}})\frac{\partial T_{\text{вд}}}{\partial n}. \quad (16)$$

Очевидно, що для незатупленого долота типу PDC відсутність зношування оснащення означає, що функція зношування не змінюється, і праві частини системи рівнянь (16) дорівнюють нулеві. Тоді система рівнянь (16) набуває такого вигляду:

$$T_{\text{вд}}(T_{\text{вд}}B_{\Gamma} + t_{\text{сно}}B_{\Gamma} + B_{\text{д}})\frac{\partial V}{\partial F} = 0,$$

$$T_{\text{вд}}(T_{\text{вд}}B_{\Gamma} + t_{\text{сно}}B_{\Gamma} + B_{\text{д}})\frac{\partial V}{\partial n} = 0. \quad (17)$$

Отже за відсутності зношування долота усі оптимальні режими буріння збігаються. Це означає, що статична оптимізація процесу буріння свердловини долотами типу PDC може бути реалізована на базі одного із критеріїв [5]

$$h_i(x) \xrightarrow{x \in S} \max \vee V_i(x) \xrightarrow{x \in S} \max \vee V_p(x) \xrightarrow{x \in S} \max \vee C(x) \xrightarrow{x \in S} \min, x \in S, \quad (18)$$

які є мультиколінеарними.

Якщо ж функція зношування долота не є постійною величиною, тобто спостерігається зношування долота (що відбувається під час використання шарошкових доліт), то тоді значення екстремумів проходки, механічної швидкості проходки, рейсової швидкості і собівартості метра проходки не співпадають.

Проте, якщо поділити перше рівняння системи (16) на друге і, таку ж процедуру виконати для систем рівнянь (8), (10) і (16), то отримуємо рівняння [4] оптимальності

$$\frac{\partial V}{\partial F} \frac{\partial T_{\text{вд}}}{\partial n} - \frac{\partial T_{\text{вд}}}{\partial F} \frac{\partial V}{\partial n} = 0, \quad (19)$$

яке рівняння в площині параметрів F і n зображає деяку лінію, на якій розташовані усі оптимальні режими буріння.

Висновок Аналіз критеріїв оптимальності у процесі буріння нафтових і газових свердловин за допомогою доліт типу PDC вказує на те, що при



відсутності зношування обладнання усі оптимальні режими буріння збігаються. Це свідчить про те, що статична оптимізація процесу буріння з використанням доліт PDC може бути реалізована на основі будь-якого критерію оптимальності, такого як максимум проходки на долото, максимум механічної швидкості проходження, максимум рейсової швидкості проходження або мінімум собівартості метра проходження, оскільки всі вони взаємно пов'язані (мультиколінеарні). У цьому контексті рекомендується віддавати перевагу максимуму механічної швидкості проходження.

Література:

1. Горбійчук М.І. Оптимізація процесу буріння глибоких свердловин / М.І. Горбійчук, Г.Н. Семенцов. - Івано-Франківськ: Факел, 2003 – 493 с.
2. Мислюк М.А. Моделювання явищ і процесів у нафтогазопромисловій справі: [навчальний посібник] / М.А. Мислюк, Ю.О. Зарубін. – Івано-Франківськ: Факел. – 1999. – 496с.
3. Семенцов Г.Н. Автоматизація технологічних процесів у нафтовій та газовій промисловості: [навч. посібник] / Г.Н. Семенцов, Я.Р. Когуч, Я.В.Куровець, М.М.Дранчук. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2009. – 300 с.
4. 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.
5. Горбійчук М.І. Моделювання об'єктів і систем керування в нафтовій і газовій промисловості. Ч.ІІ / М.І.Горбійчук. – Івано-Франківськ: Факел. – 1999. – 226с.

Abstract. Influence of function wear of armament of chisels is examined as PDC on driving of chisel, mechanical speed of driving, trip speed and prime price of meter of driving of oil and gas mining holes. It is rotined on the base of analysis of necessary terms of existence of extremums of these criteria, that for chisels as PDC all optimum modes coincide.

Key words: optimality criteria, analysis, multicollinearity, drilling process, PDC-type bit

Стаття відправлена: 06.03.2024 р.

© Скрип'юк Р.Б., Кіліштоф І.Р.