

УДК 622.244

**Я. С. Коцкулич**, д-р техн. наук, проф., **Є. Я. Коцкулич**

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Україна*

### **ЗАСТОСУВАННЯ ПОРОДОРУЙНІВНОГО ІНСТРУМЕНТУ З ПОЛІКРИСТАЛІЧНИМИ АЛМАЗНИМИ РІЗЦЯМИ**

*Наведено характеристику показників роботи породоруйнівного інструменту з полікристалічними алмазними різцями. Показаної переваги застосування породоруйнівного інструменту конструкції ІНМ. Викладено рекомендації і технологію відпрацювання бурових доліт з ПАР, а також звернуто увагу на необхідність ширшого їх застосування при бурінні свердловин на нафтогазових родовищах України.*

**Ключові слова:** породоруйнівний інструмент, свердловина, режимні параметри, проходка, полікристалічні алмази.

Ефективність спорудження нафтових і газових свердловин залежить від багатьох складових, однією з яких є використання нових конструкцій породоруйнівного інструменту і раціональні режими його відпрацювання залежно від гірничо-геологічних умов буріння. Показником оцінювання ефективності буріння передовими зарубіжними компаніями прийнято мінімальну вартість 1 м буріння, в Україні таким критерієм є максимальна рейсова швидкість буріння. Упродовж останніх 15–20 років на світовому ринку з'явилося понад три тисячі моделей різних типорозмірів доліт для 5 типів гірських порід за міжнародною класифікацією.

Незважаючи на те, що механічна швидкість буріння шарошковими долотами дещо перевищує механічну швидкість буріння безопорними долотами типу PDC BAT «Волгабурмаш» та твердосплавними долотами фірм США і Китаю, перевагу надають безопорним долотам, тому що їх проходка у 5–10 разів перевищує проходку шарошкових доліт [1].

За показниками відпрацювання долота і бурові головки типу PDC Інституту надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України (ІНМ) не поступаються долотам фірм "Kingdrelm" (Китай), "Hughes" (США), "Reed Nycalog" (США) та інших.

Незважаючи на те що затрати на бурові долота становлять 1–5% у балансі вартості свердловини, вони належать до чинників успішності її спорудження. Тривалість буріння свердловини залежить від швидкості буріння і тривалості роботи долота до зношування. Це впливає на кількість спуско-підймальних операцій для заміни долота, ймовірність виникнення ускладнень під час буріння (осипання та обвалювання стінок свердловини, прихоплення бурильного інструменту та ін.), формування якісного стовбура свердловини.

Накопичено значний фактичний матеріал щодо відпрацювання бурових доліт, у тому числі і PDC. Відомо, що одержані під час стендового відпрацювання породоруйнівного інструмента залежності навіть в умовах імітації вибійних умов, що пов'язують показники роботи долота з параметрами режиму буріння, не виконуються в умовах свердловини. Часто результати порівняння стендової та промислової емпіричної залежностей засвідчують їх повну невідповідність, що пов'язано з виникненням крутильних коливань, зависанням бурильної колони та іншими причинами. У цьому зв'язку як вихідні дані для статистичного аналізу використовують результати відпрацювання бурових доліт у реальних свердловинах [2].

Результати аналізу даних закінчених бурінням свердловин свідчать про значний резерв підвищення техніко-економічних показників спорудження свердловин за рахунок раціонального підбору доліт і дотримання режимів буріння.

Підвищити ефективність відпрацювання бурових доліт типу PDC можливо шляхом побудови багатofакторної моделі залежності проходки від режимних параметрів буріння, характеристики гірських порід та ін.

Складність побудови таких моделей для відпрацювання доліт полягає в розбіжності вихідних даних і необхідності виконання складної підготовчої роботи для їх збирання, систематизації, опрацювання тощо. Саме через це сучасні моделі прогнозування проходки доліт не описують у періодичній літературі [2].

До основних етапів побудови багатofакторної моделі відпрацювання доліт належать такі:

- статистичні дослідження чинників впливу на величину проходки на долото;
- формування вихідного інформаційного масиву, оцифрування якісних показників;
- відокремлення об'єктів за початковими даними;
- вибір моделі регресії побудови багатofакторної моделі;
- статистичний опис та оцінювання взаємозв'язку змінних чинників для виключення явища автокореляції;
- оцінювання адекватності побудованої моделі.

Для моделювання та аналізу відібрали дані з опублікованих джерел при бурінні нафтових і газових свердловин на родовищах України та Західного Сибіру [2]. Для родовищ України коефіцієнт кореляції побудованої моделі дорівнює 0,3322, коефіцієнт кореляції побудованої моделі для доліт виробництва ІНМ – 0,387, що свідчить про їх низьку достовірність і неможливість використання для прогнозування.

Технологія відпрацювання породоруйнівного інструменту з полікристалічними алмазними різцями (ПАР) дещо подібна до технології відпрацювання алмазних доліт і регламентована нормативними документами.

Перед використанням досліджуваних доліт вибій свердловини необхідно очистити від металевих уламків за допомогою магнітних фрезів, металоуловлювачів та іншого спеціального ловильного інструменту. Під час буріння та виконання допоміжних робіт треба дотримуватись запобіжних заходів щодо потрапляння металу до вибою [3].

При згвинчуванні долота з бурильною колоною необхідно користуватися спеціальним інструментом з контрольованим крутним моментом. Спускають долота у свердловину уникаючи ударів і різких посадок. У разі необхідності пророблення стовбура свердловини бурильну колоду спочатку припіднімають і промивають свердловину з максимальною продуктивністю бурових насосів. Розширюють стовбур свердловини при частоті обертання  $3,0\text{--}3,2\text{ с}^{-1}$  та осьовому навантаженні  $10\text{--}20\text{ кН}$ .

При підході до вибою необхідно плавно досягти контакту долота з вибоєм, підтримуючи мінімально можливе осьове навантаження, припідняти його над вибоєм на висоту  $0,3\text{ м}$  і при максимальній подачі промивальної рідини обертати протягом  $5\text{ хв}$  для очищення вибою від шламу і металу. Після промивання вибою слід створити на долото осьове навантаження  $10\text{--}25\text{ кН}$  і при швидкості обертання  $3,0\text{--}4,5\text{ с}^{-1}$  з максимальною продуктивністю насосів пробурити близько  $0,5\text{ м}$  порід. Потім швидкість обертання підвищити до оптимальної для відповідного типу долота та умов буріння і ступенево підвищувати осьове навантаження на  $10\text{ кН}$ . Якщо механічна швидкість проходки при наступному підвищенні осьового навантаження перестає підвищуватись, треба повернутись до попереднього навантаження.

Оптимальні параметри режиму буріння переважно вибирають за рекомендаціями провідних фірм-виробників доліт з ПАР та результатами випробувань різних комбінацій параметрів за умови максимізації механічної швидкості буріння. Слід зауважити, що крутний момент на долоті характеризує ефективність руйнування породи і може бути критерієм вибору осьового навантаження на долото.

З аналізу результатів відпрацювання доліт з ПАР на родовищах США і Північного моря впливає, що при розбурюванні м'яких порід оптимальні режими буріння, як правило,

відповідають невисокому осьовому навантаженню і високій швидкості обертання. При розбурюванні твердих порід пошук оптимальних співвідношень режимних параметрів слід починати з підвищення швидкості обертання і поступового збільшення осьового навантаження, контролюючи при цьому крутний момент на роторі.

Ефективність роботи доліт з ПАР суттєво залежить від якості очищення вибою і долота, а також охолодження робочої поверхні долота. При розбурюванні м'яких в'язких порід з використанням промивальних рідин на водній основі вибурена порода може налипати на долото. До характерних ознак цього належать зниження механічної швидкості та крутного моменту, а також підвищення тиску в нагнітальній лінії, яка зменшується при відриві долота від вибою. Для усунення налипання породи необхідно припідняти долото над вибоєм, підвищити продуктивність насосів і періодично короткочасно підвищувати швидкість обертання. Якщо застосування доліт з ПАР при цьому економічно недоцільно, потрібно замінити їх долотами іншого типу.

Рекомендації зарубіжних фірм-розробників бурових доліт з ПАР щодо режимів їх відпрацювання базуються на реальних матеріалах буріння свердловин і контролі їх дотримання. Рекомендації фірми "Hycalog" щодо вибору параметрів режиму буріння деякими полікристалічними алмазними долотами наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Рекомендації фірми "Hycalog" щодо вибору параметрів режиму буріння долотами з ПАР

№ пор.	Тип долота	Діаметр долота, мм	Висота калібруючої частини, мм	Параметри режиму буріння		
				Осьове навантаження $G$ , кН	Витрати промивальної рідини $Q \cdot 10^3$ , м <sup>3</sup> /с	Крутний момент $M \cdot 10^{-1}$ , Н·м
1	DS16	215,9	65	20–90	25,0–33,0	–
2	DS19	215,9	75	14–45	25,0–33,0	2212
3	DS19	215,9	432	113	–	–
4	DS23	215,9	75	23–90	17,3–31,6	2212
5	DS24	215,9	75	9–45	22,0–33,1	2212
6	DS25	215,9	65	14–68	17,3–31,5	2212
7	DS26	215,9	65	23–91	17,3–31,5	2212
8	DS26H	215,9	65	23–91	17,3–31,5	2212
9	HM101	215,9	75	23–91	17,3–31,5	2212
10	DS17	311,1	75	45–136	37,8–50,4	–
11	DS18	311,1	75	23–82	37,8–50,4	4432–4975
12	DS18	311,1	432	138	–	–
13	DS23	311,1	75	23–114	44,1–75,6	4424–4975
14	DS24	311,1	75	23–59	37,8–50,4	4424–4975
15	DS25	311,1	65	14–91	44,1–75,6	4424–4975
16	DS26	311,1	100	23–114	34,7–47,3	4424–4975
17	DS28H	311,1	65	23–114	34,7–47,3	4424–4975

Результати аналізу рекомендацій фірми "Hycalog" (табл. 1) засвідчують, що з параметрів режиму буріння найбільший діапазон зміни характерний для осьового навантаження на долото, що значною мірою залежить від категорії міцності порід. Витрата промивальної рідини змінюється в межах 30–80%. Крутний момент незмінний для певного діаметра долота. Частота обертання долота не регламентується.

Полікристалічні алмазні долота чутливо реагують на зміну порід за твердістю і абразивністю. При входженні долота в породи більшої твердості для підвищення механічної

швидкості проходки необхідно зменшити швидкість обертання долота і збільшити навантаження на нього. Якщо механічна швидкість підвищується, долото починає працювати ривками, тому її слід підтримувати постійною або підвищити зменшенням осьового навантаження на долото і збільшенням частоти його обертання.

Показники роботи бурових доліт з ПАР конструкції ІНМ при бурінні свердловин 111- і 112-Струтинська Прикарпатського управління бурових робіт (УБР) протягом 2011–2012 рр. наведено в табл. 2. Усі долота відпрацьовано із застосуванням електробурів при однаковій частоті обертання 680 об/хв.

**Таблиця 2. Показники роботи доліт ІНМ при бурінні свердловин у Прикарпатському УБР за 2011–2012 рр**

№ пор.	Типорозмір долота	Заводський номер	Інтервал буріння, м	Сумарна проходка, м	Середня швидкість проходки, м/год	Параметри режиму буріння		
						$G_d$ , кН	$Q \cdot 10^3$ , м <sup>3</sup> /с	Тиск на стояку, МПа
<b>111-Струтин</b>								
1	ІНМ-292,9С	34651	825–1736	911	1,36	80–100	30,0	5,0–6,0
2	ІНМ-188,9МС	32849	1782–1942	160	1,35	60–80	20,0	6,0–7,0
3	ІНМ-188,9МС	32847	1958–2041	83	1,25	80	20,0	7,0
4	ІНМ-188,9М	32856	2163–2187	24	0,77	80	18,0	7,0
<b>Загальна кількість</b>		<b>4</b>	<b>825–2187</b>	<b>1178</b>	<b>1,18</b>	<b>80</b>	<b>20,0</b>	<b>6,2</b>
<b>112-Струтин</b>								
5	ІНМ-292,9С	64192	505–1662	1157	1,72	80	32,0	3,0–3,5
6	ІНМ-188,9С	36991	1607–2030	363	1,05	80	20,0	7,0–8,0
7	ІНМ-188,9Т	36990	2032–2270	224	1,13	80	20,0	7,0–8,0
<b>Загальна кількість</b>		<b>3</b>	<b>505–2270</b>	<b>1764</b>	<b>1,3</b>	<b>80</b>	<b>20,0</b>	<b>6,5</b>

Долота ІНМ-292,9С (№ 34651 і 64192) забезпечили високу проходку на долото при середній механічній швидкості буріння відповідно 1,36 та 1,72 м/год, що дещо перевищує показники роботи доліт фірм США, Китаю та Росії при бурінні свердловин на площах БУ «Укрбургаз» [1]. Слід зазначити, що відпрацювання доліт ІНМ одного діаметра здійснювали при однакових осьовому навантаженні (80 кН), витраті промивальної рідини ( $20 \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup>/с) та частоті обертання долота (680 об/хв) незалежно від категорії міцності порід. Параметри промивальної рідини відповідали геологічним умовам розбурюваних порід.

Знос долота ІНМ-292,9С № 34651 у свердловині Струтинська-1 за діаметром становив 1,9 мм, загальне спрацювання озброєння – 95%. Знос доліт ІНМ-188,9МС, ІНМ-188,9С та ІНМ-188,9Т за діаметром становив 6,9–9,9 мм, що характерно більшою мірою при розбурюванні абразивних порід.

Порівняльні дані про показники роботи доліт ІНМ наведено в табл. 2, а шарошкових в аналогічних умовах (глибини буріння, міцність гірських порід тощо) наведено в табл. 3.

Тришарошкові долота 295,3СЗ-ГВД73 відпрацьовано при суміщеному способі буріння із застосуванням редукторних електробурів Е-240/8 при частоті обертання вала 230 об/хв і одночасному обертанні бурильної колони при частоті 60 об/хв за допомогою ротора. Середня механічна швидкість становила 1,12 м/год, що дещо нижче, ніж при застосуванні доліт ІНМ (1,18 м/год), середня проходка долота – близько 30 м, що майже у 34 рази менше, ніж доліт ІНМ (близько 1030 м).

Усі долота 190,5 СГ-ГВ відпрацьовано із застосуванням електробурів Е-164/8 з редукторними вставками при частоті обертання долота 230 об/хв. Середня механічна швидкість становить 1,48 м/год, що дещо вище, ніж при застосуванні доліт ІНМ (1,3 м/год), середня проходка долота – близько 13 м, що значно нижче, ніж доліт ІНМ (близько 171 м).

Таблиця 3. Показники роботи тришарошкових доліт при бурінні свердловин у Прикарпатському УБР

№ п/п	Типорозмір долота	Заводський номер	Інтервал буріння, м	Сумарна проходка, м	Середня швидкість проходки, м/год	Параметри режиму буріння		
						$G_d$ , кН	$Q \cdot 10^3$ , м <sup>3</sup> /с	Тиск на стояку, МПа
1	295,3СЗ-ГВД73	0720608	838–876	38,0	1,75	80	28	5,5
2	295,3СЗ-ГВД73	0320608	876–915	39,0	1,33	80	28	6,0
3	295,3СЗ-ГВД73	0570608	1175–1211	36,0	1,44	80	28	7,5
4	295,3СЗ-ГВД73	0580608	1292–1321	29,0	0,93	80	28	7,5
5	295,3СЗ-ГВД73	0590608	1348–1375	27,0	0,89	80	28	8,0
6	295,3СЗ-ГВД73	0630608	1430–1451	21,0	0,79	80	28	8,5
<b>Загальна кількість</b>		<b>29 шт.</b>	<b>838–1560</b>	<b>722</b>	<b>1,12</b>	<b>80</b>	<b>28</b>	<b>7,5</b>
1	190,5BSZ1-CGHL	0125	1561–1579	18,0	0,96	70	20	8,0
2	190,5BSZ1-CGHL	0140	1641–1660	19,0	0,67	80	20	8,5
3	190,5BSZ1-CGHL	0144	1690–1720	21,0	1,0	80	20	8,0
4	190,5BSZ1-CGHL	0152	1734–1745	11,0	0,88	80	20	8,0
5	190,5BSZ1-CGHL	0138	1932–1944	12,0	1,6	80	20	9,0
6	190,5BSZ1-CGHL	0148	1975–1989	14,0	1,37	80	20	9,0
7	190,5BSZ1-CGHL	0153	2074–2083	9,0	2,12	80	20	9,0
8	190,5BSZ1-CGHL	0164	2096–2102	6,0	1,14	80	20	9,0
9	190,5V-54X0065	038	2238–2246	8,0	2,0	80	20	9,0
10	190,5V-54X0065	040	2290–2302	12,0	2,4	80	20	9,0
11	190,5V-54X0065	039	2302–2314	12,0	2,18	80	20	9,0
<b>Загальна кількість</b>		<b>62</b>	<b>1561–1579</b>	<b>853</b>	<b>1,48</b>	<b>80</b>	<b>20</b>	<b>8,7</b>

### Висновки

1. У зв'язку з використанням малої кількості бурових доліт типу ІНМ статистичний аналіз результатів їх відпрацювання не може слугувати основою для рекомендацій з оптимізації їх відпрацювання.

2. Результати порівняння показників роботи доліт ІНМ і тришарошкових підтверджують доцільність використання перших. Долота ІНМ при однаковій механічній швидкості забезпечують проходку долота у 13–30 разів вищу, ніж тришарошкові, що забезпечує загальне скорочення тривалості спорудження свердловин.

Приведена характеристика показателей работы породоразрушающего инструмента с поликристаллическими алмазными резцами. Показаны преимущества применения породоразрушающего инструмента конструкции ИСМ. Изложены рекомендации и технология обработки буровых долот с ПАР, а также обращено внимание на необходимость более широкого их применения при бурении скважин на нефтегазовых месторождениях Украины.

**Ключевые слова:** породоразрушающий инструмент, скважина, режимные параметры, проходка, поликристаллические алмазы.

*The characteristics of working parameters of rock-cutting tool with polycrystalline diamond cutters have been introduced. The advantages of use of rock-cutting tool, designed by Institute for Superhard Materials have been shown. Recommendations and technology of PDC drill bits processing and need for their broader use in the course of wells drilling on Ukrainian oil and gas fields have been outlined.*

**Key words:** rock-cutting tool, well, operating parameters, footage, polycrystalline diamonds.

### Література

1. Коцкулич Я. С., Мрозек Є. Р., Яремійчук Я. С. Аналіз результатів відпрацювання породоруйнівного інструменту при бурінні свердловин на нафтогазових родовищах України // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника, технология его изготовления и применения. Сб. научн. тр. – К.: 2011. – Вып. 14. – С. 22–28.
2. Пригоровська Т. О., Драганчук О. Т. Аналіз відпрацювання доліт PDC на родовищах України і світу // Нафтогазова енергетика. – 2008. – № 4(9). – С. 33–39.
3. Мислюк М. А., Рибчич І. Й., Яремійчук Р. С. Буріння свердловин: довідник: у 5 т., Т. 2: Промивання свердловин. Відробка доліт. – К.: Інтерпрес ЛТД, 2002. – 303 с.

Надійшла 04.06.13

УДК 622.24 (085), (477.62)

**В. И. Спирин**, д-р техн. наук, **И. А. Ососов**, **В. И. Власюк**, д-р техн. наук,  
**Ю. Е. Будюков**, д-р. техн. наук<sup>1</sup>; **В. В. Кубасов**<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ОАО «Тульское научно-исследовательское геологическое предприятие», Россия

<sup>2</sup>«Российский государственный геологоразведочный университет  
имени Серго Орджоникидзе», г. Москва

## КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НИЗКОСОРТНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО АЛМАЗНОГО СЫРЬЯ

Предложен и внедрён новый метод повышения качества низкосортных технических алмазов и показаны результаты комплексного их использования.

**Ключевые слова:** алмаз, обработка, качество, магнитное поле.

Ранее в буровом породоразрушающем инструменте использовались природные технические алмазы в соответствии с ТУ 42-2-73. В качестве объёмных алмазов использовали целые кристаллы с незначительными дефектами XV группы, дроблёные алмазы XXXV группы и полированные алмазы XXXVI группы. В подрезном слое и для армирования расширителей использовали овализованные алмазы XXXIV группы. Затем