

Є. Р. Мрозек<sup>1</sup>, канд. техн. наук; І. І. Наритник<sup>2</sup>; А. І. Вдовиченко<sup>3</sup>, акад. АТН

## ДОСВІД БУРІННЯ ПОХИЛО-СПРЯМОВАНИХ ТА ГОРИЗОНТАЛЬНИХ СВЕРДЛОВИН ЕЛЕКТРОБУРОМ

<sup>1</sup>ТОВ "СК "УКРБУРСЕРВІС", м. Київ, Україна, e-mail: [ukrburservis@ukr.net](mailto:ukrburservis@ukr.net)

<sup>2</sup>ПАТ "УКРНАФТА", м. Київ

<sup>3</sup>Академія технологічних наук України, просп. акад. Глушкова, 42, 03680, м. Київ, Україна,  
e-mail: [vdovichenkoai@gmail.com](mailto:vdovichenkoai@gmail.com)

*В роботі розглянуті переваги, недоліки і перспективи використання електробуріння. Буріння з використанням регульованих електробурів (двигуни постійного струму) поєднує переваги роторного буріння, турбінного буріння і буріння гідравлічними забійними двигунами. Воно дає можливість регулювання частоти обертання долота незалежно від параметрів і типу агента для виносу вибуренної породи, значно розширює гаму бурових доліт і дає можливість отримання стійкого забійного сигналу. Українськими нафтовиками і науковцями були зроблені перші кроки - розроблений дослідний зразок електробура постійного струму.*

**Ключові слова :** похило-спрямоване буріння, розгалужені свердловини, горизонтальне буріння, електробур.

Похило-спрямоване буріння давно стало основним видом буріння. Одночасно з розвитком похило-спрямованого буріння ускладнюються вимоги до точності попадання вибою свердловини в продуктивний горизонт. У зв'язку з цим постійно вдосконалюються методи контролю за просторовим положенням стовбура свердловини. Зовсім до недавнього часу (50-ті роки минулого століття) визначення просторового положення стовбура проводилось за результатами комплексу геофізичних досліджень після закінчення добування. В цій ситуації вплинути на траєкторію пробуреної ділянки свердловини вже неможливо. В той же час визначались та вдосконалювались технологічні прийоми, обладнання та інструменти, пов'язані контролем спрямування похилого стовбура свердловини і положенням його осі в просторі. Одним з таких прийомів є спуск бурового інструменту «по мітках». В цьому випадку долото з кривим перехідником і турбобуром орієнтується в необхідному напрямку на поверхні, а мітка переноситься через кожен бурову свічу на ведучу трубу. Буріння проводиться при застопореному роторі. Були розроблені різноманітні пристрої, що вкидалися в бурильну колону на каротажному кабелі і дозволяли контролювати кут нахилу свердловини без підйому долота. Це, наприклад, метод «Шаньгіна-Кулігіна», коли в бурильні труби спускали скляну капсулу, заповнену плавиковою кислотою. Кут нахилу меніска показував кут нахилу свердловини. Було ще багато інших методів, але всі вони були далеко не досконалі, затратні, а часом і небезпечні.

Всі ці задачі можна вирішити за допомогою інклінометрії. Створення телеметричних систем контролю за положенням відхилювача, вибійними параметрами стовбура свердловини в процесі буріння дало значний імпульс науково-технічному прогресу в області буріння свердловин на нафту та газ.

Якщо говорити про основи, то телеметрична система здійснює виміри первинної свердловинної інформації та передачу її по каналу зв'язку «вибій-приймний пристрій на поверхні» з подальшою обробкою інформації. Саме на цьому етапі виникли проблеми. Протягом багатьох років основною перешкодою для практичного використання вимірів в

процесі буріння був канал зв'язку. Він є основним фактором, так як від нього залежить конструкція свердловинного та поверхневого обладнання.

Діапазон існуючих в даний час каналів зв'язку досить широкий і представлений гідравлічним, електромагнітним, акустичним, електропровідним та іншими типами каналів зв'язку. В результаті багаторічних досліджень і практичного використання в реальних умовах знайшли широке застосування декілька: електропровідний, гідравлічний, електромагнітний, акустичний, комбінований (рис. 1).

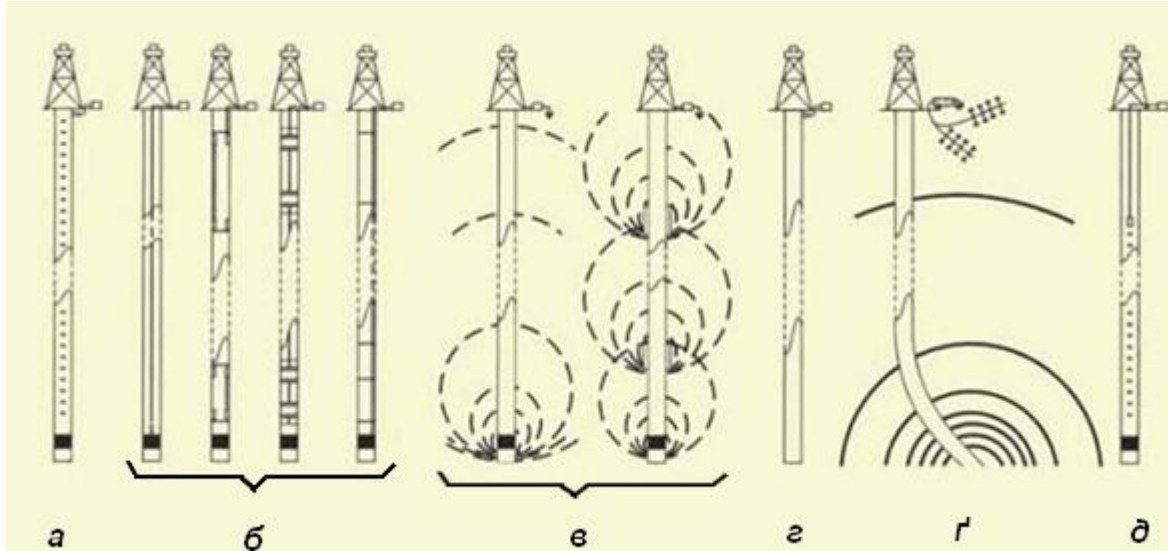


Рис. 1. Типи каналів зв'язку: а – гідравлічний, б – електропровідний, в – електромагнітний, г – акустичний, г – сейсмічний, д – комбінований

У кожного з них є свої переваги та недоліки. Різноманітність умов буріння, а також економічна доцільність визначають по кожному каналу зв'язку свою область застосування, і ми сьогодні маємо можливість обирати. На особливу увагу і повагу заслуговує електропровідний канал зв'язку в комплексі з електробурінням. Цей канал має значні переваги перед всіма відомими каналами зв'язку – це максимальна інформативність, швидкість, багатоканальність, стійкість до перешкод, надійність зв'язку, відсутність вибійного джерела струму, потужність передавача, можливість двостороннього зв'язку. Тут не потрібна гідравлічна енергія, а тому канал може використовуватися при бурінні з продувкою вибою повітрям та з використанням аерованих рідин.

Сьогодні це пройдений етап, але він записаний золотими літерами в історії буріння. Розроблений і випробуваний в 40-50-х роках попереднього століття спосіб буріння електробуром з комплексом вибійного і поверхневого обладнання та передачею геофізичної інформації через електропровідний канал був значним прогресом в бурінні похило-спрямованих свердловин. На той період ще не були розроблені комплекси з гідравлічним та електромагнітним каналами передачі інформації та буріння гідравлічними вибійними двигунами.

#### **Історія розвитку буріння свердловин електробурами**

Без перебільшення можна говорити, що становлення електробуріння в світовій практиці розпочалося з України. Воно знайшло підтримку в Азербайджані, Татарстані та Башкирії. Більше ніде в світовій практиці електробурінням не займалися, як і ніхто, на той період, не займався бурінням горизонтальних та розгалужених свердловин.

В 1963 році на Харківському електромеханічному заводі розпочато серійне виробництво електробурових комплексів діаметром 190 і 290 мм для буріння нафтових та газових

свердловин. В той же час Прикарпатський регіон був визначений полігоном для випробування та промислового використання електробуріння.

Багаторічний досвід промислового буріння показував, що якщо техніка або технологія пройшли випробування в умовах буріння Карпат, то вони будуть працювати в інших регіонах. В першу чергу це пов'язано з тим, що на площах Прикарпаття присутній ряд специфічних особливостей геологічної будови, що значно ускладнюють буріння.

В першу чергу це: наявність зон тектонічних порушень; часте чергування різних за твердістю порід; великі кути залягання пластів; присутність зон катастрофічного поглинання та обвалів порід; присутність пластів з аномально високими та аномально низькими пластовими тисками в одній свердловині, що створює несумісні умови буріння.

Ще однією проблемою при бурінні є складність попадання вибою свердловини в задане коло допуску, що пов'язано зі значним впливом природного викривлення на процес буріння. Ця проблема актуальна як при бурінні похило-спрямованих, так і при бурінні вертикальних свердловин. При цьому, якщо при бурінні вертикальних свердловин завдання зводиться до попередження викривлення, то при похило-спрямованому бурінні проблема ускладнюється отриманням необхідного горизонтального зміщення в заданому напрямі, що часто не співпадає з напрямом природного викривлення.

Зазначені вище проблеми успішно вирішувались шляхом використання під час буріння комплексів електробуріння.

1963 рік – початок промислового використання електробуріння на родовищах ПАТ «УКРНАФТА» в Долинському нафтопромисловому районі. Було пробурено 6 свердловин обсягом 12,3 тис. м з динамікою постійного зростання. Максимальний обсяг проходки сягав в 1968-1969 рр. 36,5 тис. м, що складало біля 20 % обсягів буріння ПАТ «УКРНАФТА» (див. таблицю № 2 та графік № 1). За період 1963-2010 рр. в Долинському, Надвірнянському та Бориславському нафтопромислових районах пробурено 297 свердловин з проходкою 712 тис. м. Більшість похило-спрямованих свердловин пробурено на глибину 2500-3000 м. Максимальна глибина пробуреної свердловини становить 4562 м (401-Долина), максимальне горизонтальне зміщення вибою – 1140 м (св. № 239-Долина, 1976 р.). Максимальні кути викривлення (до 93\*) були досягнуті на свердловині № 350-Долина (1974 р.) Серед пробурених свердловин є унікальні в світовій практиці буріння на той час. З застосуванням електробуріння пробурено 13 розгалужено-горизонтальних свердловин з числом розгалужень від двох до п'яти.

Серед них унікальні: свердловина №801-Долина, 1976 р. та свердловина № 1-Донбас, 1985 р.

**Свердловина №801-Долина.** Після спуску проміжної колони на 2062 м в продуктивному пласті пробурено і закріплено експлуатаційною колоною п'ять стовбурів (див. рис. 2, табл. 1).

Таблиця 1. Техніко-економічні показники буріння свердловини 801-Долина

Проходка, м	2913
Кількість доліт, шт.	116
Проходка на долото, м	25,1
Механічна швидкість, м/год	2,6
Комерційна швидкість, м/верст.-міс.	324

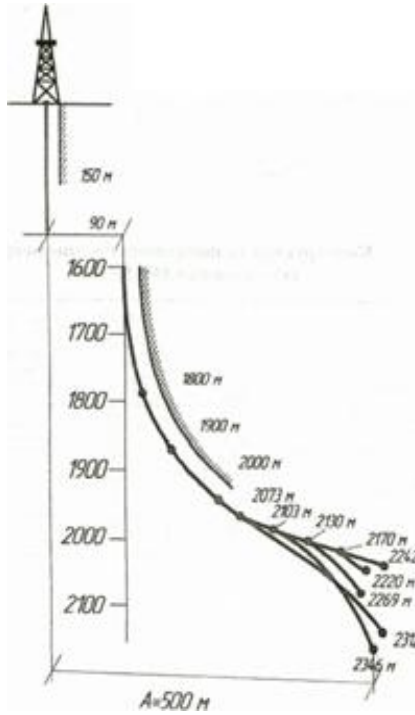


Рис. 2. Вертикальний профіль розгалужено-горизонтальної свердловини 801-Долина

**Свердловина № 1-Донбас.** Свердловина пробурена у підшві вугільного пласта на полі шахти ім. Сковинського з метою дегазації продуктивного пласта. Незважаючи на відносно невелику глибину (1870 м), через складність геолого-технічних умов у свердловину спущено сім обсадних колон (див. мал. № 3, табл. № 2).

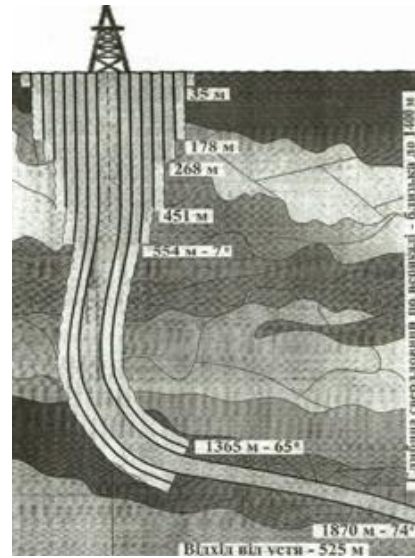


Рис. 3. Вертикальний профіль горизонтальної свердловини 1-Донбас

Таблиця 2. Конструкція свердловини 1-Донбас

Назва колони	Глибина спуску колони, м	Діаметр долота / розширювача, мм	Діаметр колони, мм	Кут нахилу осі свердловини до вертикалі, град.
Кондуктор	35	490/780	720	–
I проміжна колона	178	490/690	630	–
II пром. колона	268	490/590	530	–
III пром. колона	451	490	426	–
IV пром. колона	554	394	324	7
V пром. колона	1365	295,3	245	65
Експлуатаційна колона	1870	215,9	196	74

Обсяги буріння свердловин електробуром показані в табл. 3.

Таблиця 3. Обсяги буріння та кількість пробурених свердловин

Рік	К-сть свердловин	Обсяг буріння, тис. м	Рік	К-сть свердловин	Обсяг буріння, тис. м	Рік	К-сть свердловин	Обсяг буріння, тис. м
1963	6	12,3	1979	5	9,1	1995	3	8,8
1964	9	21,1	1980	4	13,6	1996	2	5,2
1965	10	26,9	1981	7	15,3	1997	2	5,9
1966	13	27,3	1982	6	14,6	1998	2	5,3
1967	18	31,3	1983	6	13,2	1999	2	5,9
1968	16	36,5	1984	7	15,6	2000	3	9,7
1969	14	36,4	1985	5	13,3	2001	2	7,1
1970	18	32,4	1986	5	11,7	2002	3	9,2
1971	11	29,7	1987	5	17,0	2003	4	11,1
1972	13	25,7	1988	8	19,8	2004	4	11,0
1973	9	24,8	1989	6	16,8	2005	6	10,1
1974	2	12,1	1990	4	13,4	2006	5	10,2
1975	6	18,5	1991	4	11,0	2007	7	7,0
1976	6	16,3	1992	4	10,6	2008	2	6,0
1977	6	12,1	1993	3	9,0	2009	4	5,5
1978	3	10,6	1994	4	10,8	2010	3	4,9
Всього							297	712

Так, за період 1963-2010 рр. пробурено 272 свердловини загальною проходкою 712 тис. м. Це приблизно 28-30 % щорічного обсягу буріння ПАТ «Укрнафта». Серед пробурених свердловин 25 розгалужено-горизонтальні, 30 – під кутом більше 45°.

Видобуток з горизонтальних та похило-спрямованих свердловин в 3-5 разів більший, ніж із вертикальних свердловин. Багато з них є діючими до сьогодні (див. табл. 4).

Таблиця 4. Видобуток продукції з розгалужено-горизонтальних та похило-спрямованих свердловин Долинського родовища (станом на 01.02.2011 р.)

Номер свердловини	Початковий дебіт, т/добу	Поточний дебіт, т/добу (нафти/рідини)	Загальний відбір нафти, т	Термін роботи свердловини, діб	Стан свердловини
Розгалужено-горизонтальні					
350	64,2	0,03/28,77	360530	12520	видобувна
351	145,5	-	120460	6252	ліквідована
353	14,4	6,35/21,29	118470	12048	видобувна
356	37,4	1,01/101,31	53480	11900	видобувна
825	5,0	15,13/22,34	565318	11723	видобувна
Похило-спрямовані					
822	3,0	-	128482	4235	ліквідована
311	42,5	6,59/26,01	72866	12748	видобувна
509	135,0	-	392346	16975	контрольна
345	6,7	0,006/0,26	80649	13319	видобувна

Виникає питання – чому при таких досягненнях в технології буріння, що призвели до прогресу в видобутку, на сьогоднішній день спосіб буріння за допомогою електробуріння поступово став історією?

Є декілька причин з яких електробуріння втратило свою актуальність. Одна з них пов'язана з його конструктивними особливостями.

Коротко розглянемо принципи електробуріння.

Електробур складається з асинхронного, наповненого мастилом, двигуна з короткозамкнутим ротором і наповненого мастилом шпинделя з осьовим та радіальним підшипниками. Корпуси двигуна і шпинделя з'єднують за допомогою конічних пазів. Обертовий момент двигуна передається на вал шпинделя з допомогою зубчастих муфт. Основною частиною електробура є двигун. Шпиндель електробура служить для передавання на долото осьового навантаження і обертового моменту від двигуна. Планетарний редуктор-вставка призначений для зменшення частоти обертання і підвищення обертового моменту породоруйнівного інструмента. Редуктор-вставка під'єднується до електродвигуна і шпинделя за допомогою корпусних конічних пазів. Для зменшення швидкості обертання долота і підвищення крутильного моменту можна використовувати два послідовно з'єднаних редуктори-вставки. Для забезпечення викривлення стовбура та його буріння за певною траєкторією в комплект електробура включають пристрій, який забезпечує перекид осей шпинделя і двигуна (механізм викривлення). Для орієнтування відхиляючих пристроїв і КНБК та контролю за траєкторією свердловини в компоновку бурильного інструменту включають спеціальні пристрої (датчики телеметричних систем та геофізичні прилади). Подачу енергії для живлення електробура здійснюють за допомогою струмоприймача (призначеного для введення кабелю всередину бурильної колони) та кабельних секцій, що розміщені всередині бурильної колони і являють собою відрізки двожильного шлангового кабелю з припаяними на кінцях контактними муфтою і стержнем (див. рис. 4).

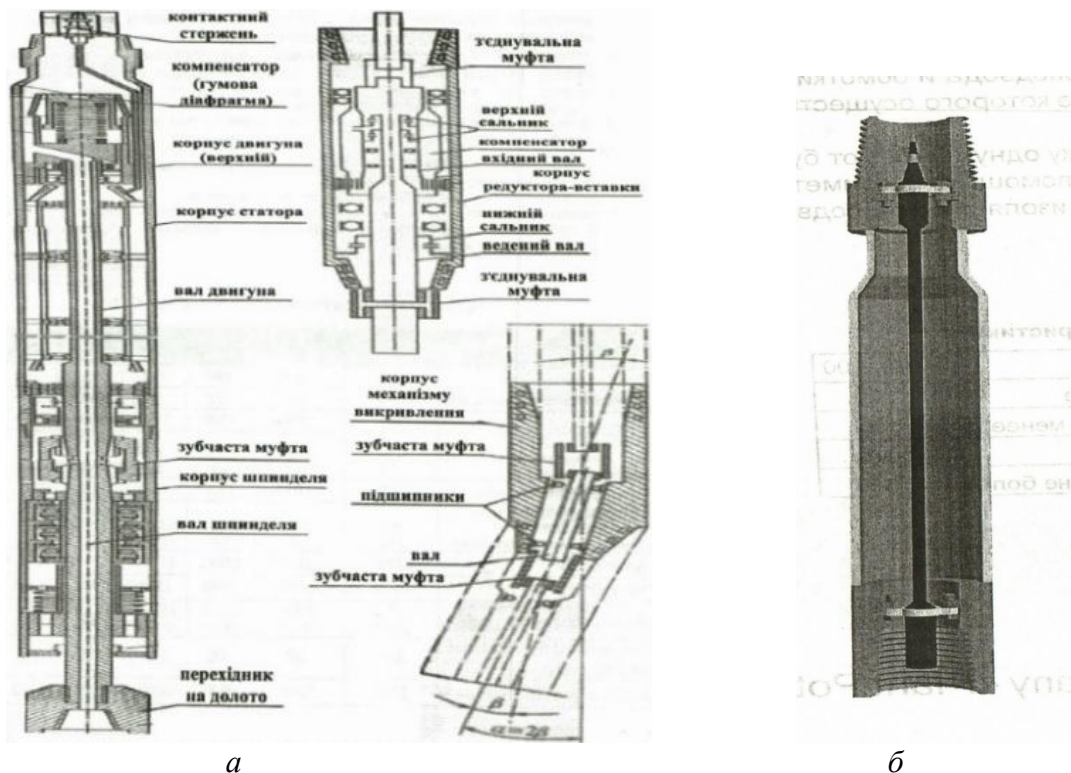


Рис. 4. Конструкция: а – электробура, б – кабельной секции

Технічні характеристики електробурів приведені в табл. 5.

Таблиця 5. Технічні характеристики електробурів

Тип електробура	Діаметр, мм	Довжина, мм	Потужність номінальна, кВт	Напруга номінальна, В	Струм номінальний, А	Частота обертання номінальна, об/хв	ККД, %	cos φ	Маса, кг
E164-8-B5	164	11570±15	65	1100	89	675	60,0	0,64	1485±10
E164-8M-B5	164	11950±15	65	1100	89	675	60,0	0,64	1506±10
E190-8-B5	190	12882±15	125	1300	125	675	67,5	0,66	2190±15
E190-8M-B5	190	12840±15	125	1300	125	675	67,5	0,66	2175±15
E215-8-B5	215	13794±15	175	1550	131	680	72,0	0,69	3020±25
E215-8M-B5	215	13466±15	175	1550	131	680	72,0	0,69	2980±25
E240-8-B5	240	13689±15	210	1700	144	690	75,0	0,66	3630±30
E240-8M-B5	240	13546±15	210	1700	144	690	75,0	0,66	3583±30
E290-12-B5	290	12766±15	180	1750	123	455	71,0	0,68	4650±40

Аналізуючи конструкцію електробура, а також результати промислового використання, визначаємо ряд недоліків:

- наявність кабелю всередині бурильної колони, недостатня якість кабельних секцій приводить до втрати контактів і додаткових спуско-підйомних операцій;
- обмежений вміст активних змащувальних добавок (нафти), які приводять до пошкодження ізоляційних матеріалів кабельних секцій;
- відсутність можливості регулювання обертів двигуна, що не дозволяє використовувати низькообертові шарошкові долота;
- обмежені можливості боротьби з ускладненнями (під час поглинання-введення наповнювачів, під час прихоплення-встановлення нафтових ванн);
- додаткові гідравлічні втрати за рахунок наявності кабельних секцій всередині бурильних труб;
- і основна причина – розвиток телесистем з гідравлічним та електромагнітним каналом зв'язку. При своїх недоліках вони є кроком вперед в технології буріння похило-спрямованих та горизонтальних свердловин.

В той же час електробуріння ще могло мати перспективу. Сьогодні спеціалісти відзначають, що буріння з використанням регульованих електробурів (двигуни постійного струму) поєднує переваги роторного буріння, турбінного буріння та буріння гідравлічними вибійними двигунами. Воно дає можливість регулювання частоти обертання долота незалежно від параметрів та типу агенту для виносу вибуреної породи, значно розширює гамму бурових доліт і дає можливість отримання стійкого вибійного сигналу. Українськими нафтовиками та науковцями були зроблені перші кроки – розроблено дослідний зразок електробура постійного струму. Але через відсутність фінансування проект був закритий.

Надійшла 29.08.18

**Ye. R. Mrozek<sup>1</sup>, I. I. Narytnyk<sup>2</sup>, A. I. Vdovychenko<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>S.K. "Ukrburservis", Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup>PC Ukrnafta, Kyiv, Ukraine

<sup>3</sup>Academy of Technological Sciences of Ukraine, Kyiv

### **EXPERIENCE OF DRILLING OF HIDDEN-DIRECTED AND HORIZONTAL BOREHOLES**

*The paper discusses the advantages, disadvantages and prospects of using electric drilling. Drilling using adjustable electric drills (DC motors) combines the benefits of rotary drilling, turbine drilling, and drilling with hydraulic downhole motors. It provides the ability to control the frequency of rotation of the bit, regardless of the parameters and type of agent for the removal of cuttings, significantly expands the range of drill bits and makes it possible to obtain a stable downhole signal. The first steps were taken by Ukrainian oil workers and scientists - a prototype of a DC electric drill was developed.*

**Key words:** *slant drilling, branched wells, horizontal drilling, electric drill.*

*В работе рассмотрены преимущества, недостатки и перспективы использования электробурения. Бурение с использованием регулируемых электробуров (двигатели постоянного тока) сочетает преимущества роторного бурения, турбинного бурения и бурения гидравлическими забойными двигателями. Оно дает возможность регулирования частоты вращения долота независимо от параметров и типа агента для выноса выбуренной породы, значительно расширяет гамму буровых долот и дает возможность получения устойчивого забойного сигнала. Украинскими нефтяниками и учеными были сделаны первые шаги – разработан опытный образец электробура постоянного тока.*

**Ключевые слова:** *наклонно-направленное бурение, разветвленные скважины, горизонтальное бурение, электробур.*

УДК 622.24.051

DOI: 10.33839/2223-3938-2019-22-1-85-92

**А. М. Исонкин**, канд. техн. наук, **В. Н. Ткач**, д-р физ.-мат. наук.

*Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, ул. Автозаводская 2,  
04074, г. Киев, e-mail: almis28@ism.kiev.ua*

### **ВЛИЯНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ЦИКЛИЧЕСКИХ НАГРУЖЕНИЙ НА МЕХАНИЗМ ИЗНОСА ВЫСОКОПРОЧНЫХ АЛМАЗОВ ПРИ РАЗРУШЕНИИ ГОРНОЙ ПОРОДЫ**

*В работе отражены результаты исследований механизма износа высокопрочных синтетических алмазов при разрушении ими горной породы. Контактное взаимодействие алмазов с выступами разрушаемой горной породы приводит к образованию сети микротрещин, характерных для механизма усталостного разрушения, и может быть результатом циклического возникновения локальных областей термодинамических напряжений, что приводит к микроскалыванию граней их вершин и отделению с их поверхности фрагментов чешуйчатого вида.*

**Ключевые слова:** *синтетические алмазы, буровые коронки, механизм износа, микротрещина.*

#### **Введение**

Алмазное бурение на настоящее время остается одним из основных технологических методов геологической разведки месторождений полезных ископаемых. Достижение высоких механических скоростей бурения возможно только при экстремальных условиях работы породоразрушающего инструмента, характеризующихся высокими окружными скоростями и контактными нагрузками [1].

Виды и интенсивность износа алмазного инструмента при бурении определяются уровнем и соотношением динамических и тепловых нагрузок, воспринимаемых алмазами и матричной композицией, их теплофизическими и физико-механическими свойствами, а