

Д.Л. Коростишевський<sup>1</sup>, інж.; М.О. Бондаренко<sup>1</sup>, В.А. Мечнік<sup>1</sup>, І.І. Джанзаков<sup>2</sup>, доктори технічних наук; С.К. Буктибаєва<sup>2</sup>, канд. техн. наук

<sup>1</sup>Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, вул. Автозаводська, 2, 04074 Київ, e-mail: dmytrorost@gmail.com, bond@ism.kiev.ua, vlad.mechnik2019@gmail.com

<sup>2</sup>Атирауський Університет Нафти і Газу ім. С. Утебаєва, 060027, мкр. Привокзальний, вул. Баймуханова, 454, м. Атирау, Республіка Казахстан, e-mail: dzhanzakov-aing@mail.ru, saulek1@mail.ru

## РОЗРОБКА І ВПРОВАДЖЕННЯ СУЦІЛЬНОФРЕЗЕРОВАНИХ ДОЛІТ PDC

Розглянуто недоліки існуючої зварної конструкції та технології виготовлення доліт PDC. Проведено конструкторську та технологічну підготовку для випуску нових суцільнофрезерованих доліт з використанням обладнання з програмним управлінням. Доведено, що процес виготовлення є менш трудомістким, з меншою собівартістю, а долота більш якісними.

**Ключові слова:** лопатеве долото, пластини PDC, конструкція, технологія, управляюча програма.

### Вступ. Постановка задачі

В кінці 80-х років минулого століття в Інституті надтвердих матеріалів розпочинається промисловий випуск сталевих лопатевих доліт, оснащених алмазно-твердосплавними пластинами (PDC).

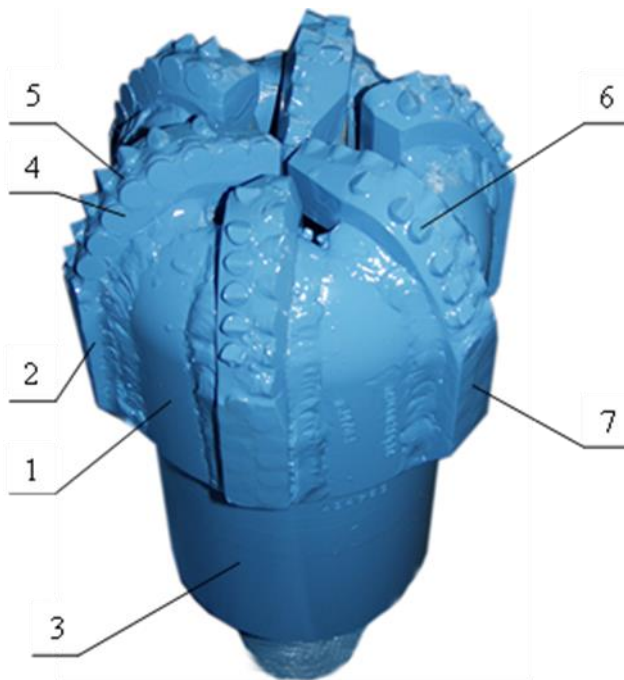


Рис.1. Конструкція лопатевого зварного долота ІНМ АП 215,9 С

Розроблені долота (рис. 1) мали зварну конструкцію та склалися з головки 1, в пази якої встановлювались лопаті 2 та різьбового загартованого перевідника 3 з ніпельною різьбовою частиною. Ріжучими елементами виступали PDC пластини 4 діаметром 13,5 мм, що

припаювалися до алмазно-твердосплавної державки 5, яка в свою чергу впаювалась в отвори, виконані в лопатях, та підрізні вставки славутича 6 сферичної, або клинної форми. Калібруюча частина долота оснащувалась вставками славутича 7 сферичної форми. Промивка долота від шламу та охолодження ріжучих елементів виконувались через центральний отвір [1].

Такій конструкції долота та існуючій технології її виготовлення притаманні наступні недоліки:

- долото технологічно виготовляти прямолопатевим, що не забезпечує плавності калібрування стінок свердловини і є причиною додаткової вібрації та ударних навантажень;
- за прямої центральної промивки, в долоті відмічається наявність зон рециркуляції з слабою очисткою, схильних до накопичення шламу та утворення сальників;
- окреме виготовлення головки та лопатей;
- лопаті з головкою поєднуються зварюванням. Сталь 40Х, з якої виконано головку, відноситься до класу металів, що складно зварюються. Тому процес технологічно складний та трудомісткий;
- за існуючою технологією лопаті поступають на зварювання після пайки в них пластин PDC. Під час процесу зварювання та подальшого процесу пайки калібрувальних вставок пластини повторно нагріваються, що негативно впливає на їх стійкість;
- більшість операцій технологічного процесу виконується на універсальному обладнанні з великою кількістю переустановлень та операцій розмітки, що негативно впливає на точність обробки та збільшує її тривалість;
- при обробці зокрема лопатей є потреба в спеціальній оснастці та спеціальному ріжучому інструменті.

Таким чином, постало завдання розробити конструкцію та впровадити в виробництво лінійку суцільнофрезерованих доліт, що не матимуть вище перерахованих недоліків.

### Розробка конструкції доліт

Для вирішення поставленої задачі в CAD Solid Works було спроектовано два конструктивних варіанти доліт для різних умов буріння.

Долото ІНМ АП 218М 616 РГ (рис. 2) призначене для буріння м'яких та малоабразивних гірських порід як роторним, так і турбінним способом.

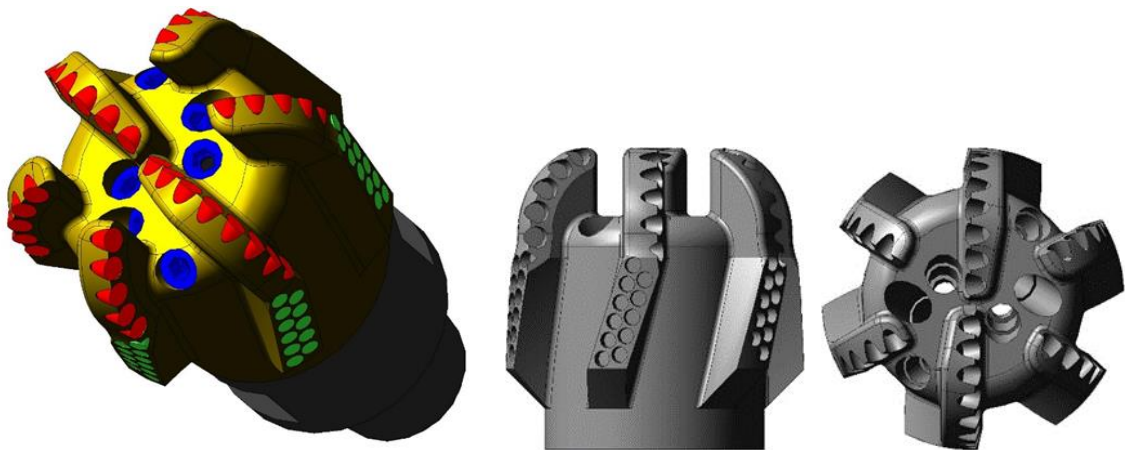


Рис. 2. Трьохвимірні моделі лопатевого суцільнофрезерованого долота ІНМ АП 218 М 616 РГ та його корпус (вид спереду і зверху)

Долото має сталевий, суцільно фрезерований 6-лопатевий корпус, оснащений 36 пластинами PDC діаметром 16 мм і висотою 13 мм, з рельєфною поверхнею розділу між алмазним шаром та державкою [2, 3]. Пластини розташовані під переднім кутом різання  $20^\circ$  і мають підвищену «агресивність» за рахунок більшого вильоту над поверхнею лопатей. Промивка долота здійснюється шістьма змінними твердосплавними гідромоніторними насадками з діаметром вихідного отвору 9 мм, розташованими за симетричною схемою та попарно направленими під різними кутами. Гідравлічні розрахунки та результати моделювання потоку рідини (рис. 3, а), свідчать про гарну очистку долота. Лопаті долота розташовані за гвинтовою лінією для вільного виходу бурового шламу і плавності калібрування стінок свердловини.

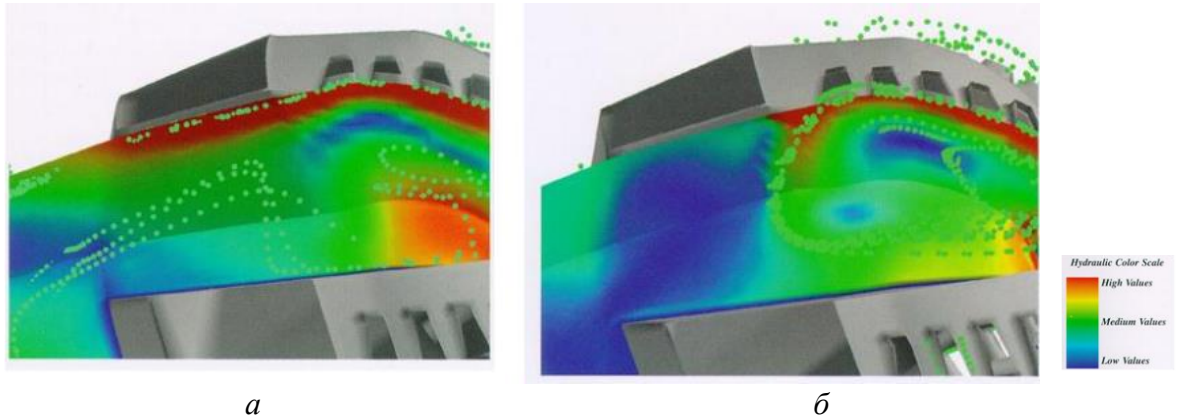


Рис. 3. Моделювання виносу шламу в долоті: а – ІНМ АП 218М 616 РГ;  
б – ІНМ АП 215,9С 613

Всі перехідні поверхні від корпусу до лопатей згладжені радіусними переходами. Профіль долота – середньопараболічний, в центрі долота сходяться дві лопаті, що утворюють внутрішній конус  $20^\circ$ , для надійності його центрування на вибої. Калібрувальні вставки діаметром 12 мм розміщені в два ряди врівень з лопаттю. Для захисту корпусу від гідравлічного розмивання, після виготовлення торцева частина та лопаті наплавляються твердосплавними електродами марки Т-590. Твердість наплавленого металу – 57–63 HRC.

Долото ІНМ АП 215,9 С 613 (рис. 4) призначене для буріння порід середньої твердості і абразивності роторним або турбінним способом.

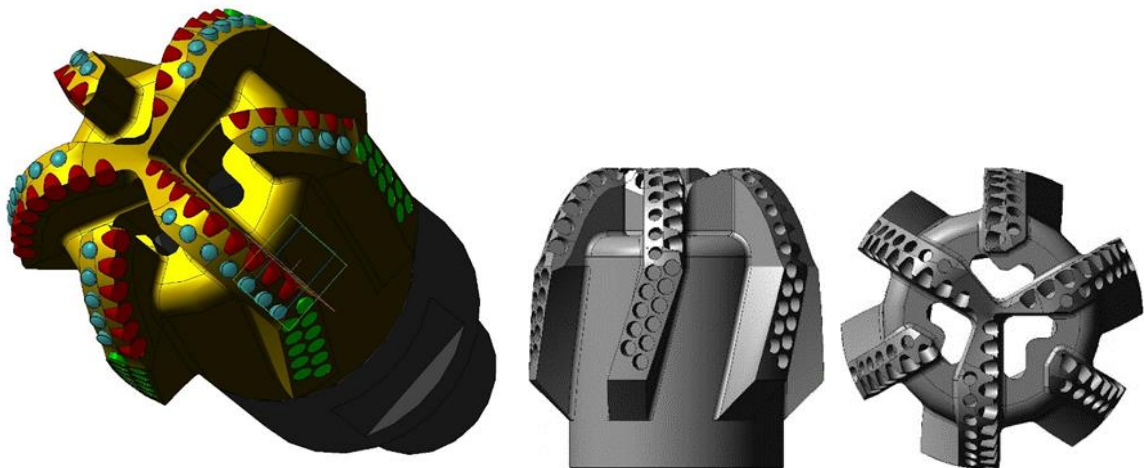


Рис. 4. Трехвмірна модель лопатевого суцільнофрезерованого долота ІНМ АП 215,9 С 613 та його корпус (вид спереду і зверху)

Має сталевий суцільно фрезерований 6-лопатевий корпус, оснащений 42 пластинами PDC діаметром 13,44 мм та висотою 10 мм, з рельєфною поверхнею розділу між алмазним шаром та державкою. Передній кут установки пластин  $20^\circ$ . В проміжках між PDC по ходу різання встановлено підрізні вставки славутича діаметром 10 мм сферичної форми. Ці вставки додатково забезпечують захист долота від ударних навантажень. Вони обмежують вібрації, контролюють глибину різання і забезпечують плавне заглиблення долота в породу. Промивка долота здійснюється через фігурні пази в центральній частині долота. Гідравлічні розрахунки виконувались для бурового розчину густиною  $1,2 \text{ г/см}^3$  при витраті 40 л/с, результати моделювання потоку рідини представлені на (рис. 3, б). Профіль долота середньопараболічний. Внутрішній конус  $20^\circ$  утворюють три лопаті, що сходяться в центрі. Калібрувальна частина лопатей виконана гвинтовою та оснащена двома рядами вставок славутича діаметром 12 мм, розміщених врівень. На переході від плеча долота до калібрувальної поверхні встановлені вставки славутича з підвищеною до 5 мм товщиною алмазного шару.

### Розробка технології обробки суцільнофрезерованого долота

Технологічний етап виготовлення долота розпочинається з виготовлення корпусу. Циліндрична сталева заготовка із сталі марки 40X свердлиться і в ній нарізається технологічна замкова різьба та проточується прилеглий торець, які будуть слугувати базою для усіх наступних операцій. Профіль долота та протилежний циліндричний поясок формується з однієї установки на токарному верстаті з ЧПУ моделі 16М30Ф3. Обробка виконується на різьбовій оправці з затисканням заготовки в прилеглий торець. Така схема базування забезпечує високу жорсткість в процесі обробки, в зв'язку з чим вдається досягти високої точності розмірів з відхиленнями не більше  $\pm 0,05 \text{ мм}$ .

Далі корпус з сформованим профілем встановлюється на різьбову оправку-супутник та фіксується на ній упором в прилеглий до різьби торець. Така схема базування (рис. 5) дозволяє



Рис. 5. Корпус долота після операції фрезерування, встановлений на спеціальній оправці-супутнику

фрезерувати, свердлити та нарізати різьби в корпусі долота з одного технологічного установка з усіх сторін. Комплексна обробка корпусу виконувалась на багатоцільовому 5-координатному верстаті MC-032 з системою ЧПУ Fanuc. Оскільки ця операція пов'язана з великою кількістю знімаемого матеріалу та є досить тривалою по часу, було використано стратегію високошвидкісного фрезерування на високих режимах. Так, для програмного чорнового фрезерування було використано корпусну кінцеву фрезу  $\varnothing 25 \text{ мм}$  із змінними твердосплавними пластинами фірми Sandvik Coromant. Фреза пошарово знімала припуск з глибиною різання 0,5 мм, числом обертів 1900 об/хв, подачею 2500 мм/хв, під чистову обробку залишаючи припуск 0,2 мм. Чистове програмне фрезерування виконувалось кінцевою корпусною фрезою  $\varnothing 16 \text{ мм}$  із змінними пластинами з кутом  $90^\circ$  по трьом координатам одночасно. Фреза працювала на наступних режимах: глибина різання 0,2 мм, число обертів 2500 об/хв, подача 1600 мм/хв. Отвори під пластины PDC, підрізні та калібруючі вставки виконувались

цільнотвердосплавною фрезою діаметром 10 мм за стратегією спірального врізання. Дюймові різьби з кроком 14 ниток/дюйм та кутом профілю  $55^\circ$  під гідромоніторні насадки нарізалися програмним різьбофрезеруванням, фрезою із змінною пластиною.

В результаті було отримано корпуси високої точності та якості, час обробки двох представлених корпусів доліт сягав 12 годин для кожного.

Зміни технології відбулися і в існуючому процесі пайки долота [4, 5]. Пайка виконувалась на високочастотній установці ЛЗ-107 потужністю 100 кВт. Спочатку на припій ПрМЦФЖ 24-6-0,75 з використанням флюсу ПВ-209 (температура пайки  $850^\circ\text{C}$ ) паялися калібрувальні вставки. Отвори під пластини PDC для унеможливлення потрапляння залишків флюсу та припою гужоняться графітовими пробками, отвори під гідромоніторні вставки захищаються листовим азбестом. Другим етапом, збираються та паяються на припій Пср 40 з використанням флюсу марки Ф284 (температура пайки  $620^\circ\text{C}$ ) пластини PDC та підрізні вставки славутича. В такій послідовності пайки пластини PDC не перегріваються та зберігають свою стійкість та різучі властивості. Після операції пайки долото очищається



а

б

Рис. 6. Долота PDC з цільнофрезерованим корпусом а – ІНМ АП 218М 616 РГ, б – ІНМ АП 215,9С 613

радіального биття не більше 0,1 мм по пояску на корпусі долота.

Готове долото зачищається, маркується, фарбується, ніпель покривається консервувальним мастилом (рис. 6).

## Висновки

1. Спроековано два конструктивних варіанти суцільнофрезерованих доліт, оснащених пластинами PDC. Нова конструкція дозволяє виготовляти долото без окремого виготовлення лопатей та використання операції зварювання з її негативними наслідками.

2. Фрезерна обробка корпусу долота виконується з одного технологічного установа, що дозволяє отримувати виріб максимальної точності з необхідними допусками.

3. Розроблена та випробувана нова послідовність пайки різців PDC та вставок славутича, згідно якої спочатку запаюються калібрувальні вставки, а потім пластини PDC та підрізні вставки, що виключає повторний нагрів пластин та деградацію алмазного шару.

4. Встановлено, що вдосконалена технологія виготовлення доліт дозволяє отримувати готовий виріб в 3,5-5 разів швидше, ніж за стандартною технологією, що в свою чергу збільшить річний випуск та знизить собівартість виготовлення доліт.

**D. Korostyshevskii, M. Bondarenko, V. Mechnik<sup>1</sup>, I. Dzhanzakov, S. Buktybaeva<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*V. Bakul Institute for Superhard Materials of the National Academy of Sciences of Ukraine*

<sup>2</sup>*S. Utebayev Atyrau Oil and Gas University*

#### **DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF SOLID MILLED PDC BITS**

*The paper deals with the shortcomings of the existing welded structure and manufacturing technology of PDC bits. The design and technological preparation for the production of new solid milled bits using program-controlled equipment was carried out. It is proved that the manufacturing process is less labor-intensive and the bits are of higher quality.*

**Key words:** *blade bit, PDC inserts, design, technology, control program.*

#### **Література**

1. Бондаренко Н.А., Жуковский А.Н., Мечник В.А. Основы создания алмазосодержащих композиционных материалов для породоразрушающих инструментов / ред. Н.В. Новиков. Киев: Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2008. 456 с.
2. Бондаренко Н.А., Коростишевский Д.Л., Осипов А.С., Мечник В.А. Экспериментальное исследование и анализ эксплуатационных характеристик алмазно-твердосплавных пластин. *Наукові праці Донецького національного технічного університету. Сер. «Гірничо-геологічна»*. 2010. Вип. 11(161). С. 9–17.
3. Бондаренко М. О., Коростишевський Д. Л., Осипов О. С. Методика оцінювання роботоздатності алмазно-твердосплавних пластин за дотичним напруженням на зріз. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 2008. № 3 – С. 55–58.
4. Бочковский А. М., Петрига П. В. Совершенствование технологии пайки бурового инструмента, оснащенного алмазно-твердосплавными пластинами. *Совершенствование техники и технологии бурения скважин*. Сб. науч. тр. К: АН Украины, 1993. С. 58–60.
5. Стефанив Б.В. Особенности индукционной пайки алмазно-твердосплавных резцов с лопастью корпуса составного бурового долота. *Автоматическая сварка*. 2013. № 8. С. 50–54.

*Надійшла 22.09.23*

#### **References**

1. Bondarenko, N.A., Zhukovskii, A.N., & Mechnik, V.A. (2008). *Osnovy sozdaniia almasosoderzhashchikh kompozitsionnykh materialov dlia porodorazrushaiushchikh instrumentov [Fundamentals of creation of diamond-containing composite materials for rock-destroying tools]*. (N.V. Novikov, Ed.). Instytut sverkhтверdykh materialov im. V.N. Bakulia NAN Ukrainy [in Russian].
2. Bondarenko, N.A., Korostyshevskii, D.L., Osipov, A.S., & Mechnik V.A. (2010). *Ekspierimentalnoe issledovanie i analiz ekspluatatsionnykh kharakteristik almasno-тверdosplavnykh plastin [Experimental study and analysis of performance characteristics of*

- diamond-hard-alloy inserts]. *Naukovi praci Doneckogo nacionalnogo tehnicnogo universytetu. Ser. «Hirnycho-geolohichna» – Scientific papers of Donetsk National Technical University. Series "Mining and geological"*, 11(161), 9–17 [in Russian].
3. Bondarenko, N.A., Korostyshevskii D.L., Osipov, A.S., & Mechnik, V.A. (2008). Metodika otsiniuvannia robozdatnosti almazno-tverdosplavnikh plastyn za dotychnym napruzhenniam na zriz [Methods for assessing the performance of diamond-carbide plates by tangential shear stress]. *Rozvidka ta rozrobka naftovykh i gazovykh rodovyshch – Exploration and development of oil and gas fields*, 3, 55–58 [in Ukrainian].
  4. Bochkovskii, A. M., & Petriha, P. V. (1993). Sovershenstvovanie tehnologii paiki burovoho instrumenta, osnaschennoho almazno-tverdosplavnymi plastinami. [Improvement of soldering technology of drilling tools equipped with diamond-hard-alloyed inserts]. *Sovershenstvovanie tekhniki i tehnologii bureniia skvazhin – Improvement of well drilling techniques and technology*. (p. 58–60). AN Ukrainy [in Russian].
  5. Stefaniv, B.V. (2013). Osobennosti indukcionnoi paiki almazno-tverdosplavnnykh reztsov s lopastiu korpusa sostavnogo burovoho dolota [Peculiarities of induction brazing of diamond-hard-alloy cutters with the blade of a compound drill bit housing]. *Avtomaticheskaia svarka – Automatic welding*, 8, 50–54 [in Russian].

УДК 622.23.05

DOI: 10.33839/2708-731X-25-1-33-39

**М.Є. Чернова**, член кор. УНГА, д-р техн. наук<sup>1</sup>; **Я.В. Кунцяк**, д-р техн. наук<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Івано-Франківський державний технічний університет нафти і газу, кафедра загальної та прикладної фізики, Карпатська 15, 76000 Івано-Франківськ, Україна,  
e-mail: miracherri1@gmail.com

<sup>2</sup>НДІКБ бурового інструменту, пр. Палладіна 44, 03680 Київ, Україна,  
e-mail: 3312833@ukr.net

## КОНСТРУКТИВНІ ОСОБЛИВОСТІ РІЗЬБОВИХ З'ЄДНАНЬ ОБСАДНИХ КОЛОН

Пошкодження обсадних колон є одним з найбільш серйозних випадків аварій за умов будівництва та експлуатації нафтогазових свердловин. На ліквідацію таких аварій затрачаються значні кошти, що складають майже 35% від вартості будівництва свердловини. До основних видів пошкоджень належить порушення герметичності цих колон. На сьогодні це є 25% від усіх можливих аварій, що стаються з обсадними колонами. Застосування малоефективних герметизуючих мастил, а також відсутність за контролем крутного моменту звинчування обсадних труб є основними причинами порушення герметичності різьбових з'єднань згаданих конструкцій. Наведено аналіз впливу конструктивних параметрів на витривалість і герметичність різьбових з'єднань бурових, обсадних та насосно-компресорних труб. Науково обґрунтовано пружно-деформований стан з'єднання труб зі вставним витком. Розглядається один зі шляхів розроблення конструкції надгерметичних з'єднань тонкостінних труб зі вставним витком. Наведено суть аналітичних досліджень стосовно герметичності конструкції для високих значень тиску й температури. Визначено ймовірність оптимальних параметрів таких конструкцій.

**Ключові слова:** витривалість, з'єднання, герметичність, обсадна колона.

Задля забезпечення України енергоносіями, які так необхідні нашій державі у часи відбудови та відновлення економічного потенціалу, особливо у повоєнний час, є важливо-необхідним підвищення рівня видобування вуглеводневої сировини, що, у свою чергу, вимагає