

9. Davidenko, A.N., Kozhevnykov, A.A., Khomenko, V.L., & Sudakov, A.K. (2008). Planetarnaia konstruktsiia dolot bezudarnoho deistviia [Planetary design of impactless bits]. *Gornoe oborudovanie i elektromehanika – Mining equipment and electromechanics*, 6, 49–53.

УДК 622.143

DOI: 10.33839/2708-731X-25-1-82-96

**А.В. Павличенко**, д-р техн. наук; **Є.А. Коровяка**, **А.О. Ігнатів**, **В.О. Расцветаєв**,  
кандидати технічних наук; **О.О. Дмитрук**<sup>1</sup>, **В.М. Літвінов**<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»,  
пр. Дмитра Яворницького, 19, 49027, м. Дніпро, Україна, e-mail: koroviaka.ye.a@ntu.one

<sup>2</sup>ТОВ Інженерний центр «Геобест»,  
пр. Олександра Поля, 28А, 49101, м. Дніпро, Україна, e-mail: litvinov.vlad.98@gmail.com

## **ВИВЧЕННЯ ОСНОВНИХ ОЗНАК ТЕХНОЛОГІЇ БУРІННЯ НЕГЛИБОКИХ СВЕРДЛОВИН В СКЛАДНИХ ГІРНИЧО-ГЕОЛОГІЧНИХ УМОВАХ**

Базовими аналітичними і експериментальними прийомами досліджено особливості техніко-технологічних регламентів виконання інженерно-геологічного вивчення, бурових та інших супутніх робіт при проведенні вишукувань (інженерної підготовки території), а також проектування економічно ефективної системи розробки нетрадиційних покладів вуглеводневої сировини на основі запровадження сучасних інноваційних свердловинних прийомів і засобів.

Обґрунтовано, на рівні практичної методики, окремі структурні елементи технології проведення комплексних свердловинних інженерно-геологічних досліджень техногенного породного масиву, із складними умовними літологічними властивостями, характерними для промислових ділянок сміттєзвалищ і спеціальних полігонів, функціонування яких пов'язане із необхідністю спорудження та роботи об'єктів видобування і переробки відповідної вуглеводневої сировини. Розроблено засадничі принципи побудови циклу спеціалізованих бурових робіт; розраховано деякі базові параметри технології спорудження неглибоких експлуатаційних свердловин; складено укрупнений регламент проведення заходів з інженерної підготовки території; розглянуто гірничо-геологічні особливості спорудження свердловин в товщах ускладнених фізико-хімічними властивостями техногенних ґрунтів.

Створено окремі складові удосконаленої техніко-технологічної методики виконання робіт при проведенні геологічних вишукувань (інженерної підготовки території), що базуються на сучасних прогресивних промислових принципах і високих економічних показниках; розроблено базові принципи ефективної системи освоєння нетрадиційних родовищ вуглеводневої сировини. Отримані дані є основою для подальших розробок в напрямку підвищення якості і надійності виконання бурових та інших супутніх робіт при проведенні геологічних вишукувань та залучення до промислової розробки техногенних родовищ вуглеводневої сировини.

**Ключові слова:** свердловина, інженерно-геологічні вишукування, техногенні родовища, підготовка території, звалищний біогаз, спеціальні накопичувальні полігони, метан, бурові технології.

### **Вступ**

Здійснення повноцінних інженерно-геологічних вишукувань має за мету вивчення природних і техногенних умов територій (ділянок) об'єктів будівництва, розроблення прогнозів взаємодії об'єктів будівництва з навколишнім середовищем [1], та, окрім зазначеного, є необхідним компонентом і передумовою розроблення комплексних проектів освоєння нетрадиційних покладів вуглеводневої сировини [2].

Без усяляких виключень, гамму прийомів інженерно-геологічних вишукувань виконують відповідно до норм чинного законодавства, інших нормативних актів та керівних документів, що

покликані врегулювати діяльність у відповідних сферах, конкретніше, на визначеній території, з дотриманням вимог цивільного захисту в області техногенної безпеки і охорони праці [3].

Як відомо, майже всі сміттєзвалища і спеціальні накопичувальні полігони працюють в режимі перевантаження, потребують санації та рекультивації і є потужними джерелами забруднення навколишнього середовища. Стійкий вільний виток біологічного газу звалищ (з основним компонентним складом: діоксид вуглецю і метан – є парниковими газами) [4] викликає ряд негативних ефектів місцевого і, без перебільшення, глобального масштабів, обумовлених його специфічними фізико-хімічними властивостями. Крім зазначеного, спонтанні викиди класифікованих газів можуть провокувати потенційні вибухо- та пожежонебезпечні умови як на самих сміттєзвалищах і спеціальних накопичувальних полігонах, так і в різних оточуючих спорудах (необхідно також зазначити таке: вже виниклі пожежі важко загасити, бо вони утворюються і горять не на відкритій поверхні, а в глибині звалища).

Зазначимо тут, що переважна більшість видів інженерно-геологічних досліджень за свою техніко-технологічну основу тримають процеси та результати спорудження відповідних гірських виробок – бурових свердловин [5]. Підкреслимо також, що особливістю вивчення розрізу гірських порід (техногенних ґрунтів) з інженерно-геологічною метою (експлуатаційними потребами) є оцінка їх здатності протидіяти механічному, фізичному, хімічному, екологічному та іншим видам впливу.

Світовий досвід свердловинного отримання звалищного газу беззаперечно свідчить про економічну та екологічну ефективність впровадження такого типу заходів, вельми перспективних для нашої держави. Найвні розрахунки середньої ємності полігонів, вмісту утворюючих компонентів та інших органічних відходів показують, що використання навіть частки паливної сировини дає можливість встановлення, наприклад, біоелектростанцій, що робить подібні проекти економічно привабливими.

Зазначимо, що звалища і полігони чинять суттєвий негативний вплив на всі компоненти довкілля (до прикладу: повітря забруднюється шкідливими газами, що, при відповідних концентраціях, стають вельми токсичними для людини) [2]. Через здатність полігонів до виникнення осередків горіння існує велика небезпека виникнення пожеж в процесі експлуатації (під час пожеж відбувається виділення газів, що містять токсичні та шкідливі включення). Останнім часом у складі відходів, крім звичайних компонентів, зростає кількість відпрацьованих електроприладів, акумуляторів та елементів живлення, люмінесцентних ламп, які містять токсичні метали; через вказані процеси в зоні впливу сміттєзвалищ відзначається забруднення поверхневих водних джерел і ґрунту важкими металами.

Переважна більшість сміттєзвалищ характеризується тим, що на них не проведено спеціальних інженерних досліджень [5], геологічних та гідрогеологічних вишукувань [6], екологічних та санітарно-гігієнічних досліджень (відсутність вказаних заходів стримує проведення робіт з проектування, наприклад, рекультивації звалищ).

Аналіз світової практики утилізації біогазу звалищ доводить, що реалізація належних заходів дозволяє не тільки значно поліпшити екологічну ситуацію, а й виробляти електроенергію і тепло – це сприяє появі можливості часткової заміни горючих корисних копалин відповідними техногенними компонентами. Відомі наступні способи та технології утилізації біогазу сміттєзвалищ і спеціальних накопичувальних полігонів: факельне спалювання (забезпечує, насамперед, утилізацію парникових газів, однак енергетичний потенціал газів не використовується в господарських цілях); пряме спалювання газів для виробництва теплової енергії; застосування газів як палива для газопоршневих двигунів та газових турбін з метою отримання електроенергії і тепла; доведення вмісту метану в газах (шляхом застосування певних процесів збагачення) до критичних 97% з подальшим його використанням в газових мережах загального призначення та в якості моторного палива; виробництво товарної вуглекислоти [7].

Практична реалізація основних наведених заходів неможлива без використання свердловинних технологій, які дозволяють отримати надійний експлуатаційний канал постачання біогазу з техногенних товщ із дотриманням певних, складних у своєму виробничому втіленні, вимог.

Загальновідомо, що звалищний біогаз формується під час анаеробного (без доступу повітря) розкладу органічних решток відходів. Промисловий збір біогазу здійснюється за допомогою свердловин, які зазвичай рівномірно розташовані по тілу полігона, та системи збору поверхневих газів (система свердловин для вказаних потреб включає їх вертикальне і горизонтальне розташування) [2]. Кожна свердловина на гирлі приєднана до колекторного трубопроводу (шлейфу), який слугує направляючим каналом постачання викопного компоненту до газозбірної пункту; від нього, за допомогою трубопроводів, біогаз може транспортуватися, наприклад, до електрогенераторної установки, а утворена електроенергія – передаватися в мережу за допомогою комплектної трансформаторної підстанції.

За наведеною укрупненою технологічною схемою, вся комплексна система отримання звалищного біогазу може вдаватися досить нескладною, проте це хибне уявлення. Незважаючи на існування порівняно значного досвіду розробки техногенних нетрадиційних родовищ корисних компонентів, на даний час все ще відсутня стала базова техніко-технологічна система отримання такого типу палива. Окреслимо цю тезу більш детально. Оскільки основою повноцінного втілення циклу видобутку звалищного біогазу є спорудження обґрунтованої кількості спеціалізованого класу свердловин певного просторового розташування, саме ці процеси і будуть виступати головними чинниками заходів раціоналізації розробки нетрадиційних джерел паливної сировини. Однак типових і достатньо вивірених та послідовних методик аналітичного проектування і наступного економічно-доцільного спорудження так званих неглибоких експлуатаційних свердловин не запропоновано і не застосовується. На заваді цьому встає проблематичний прояв, окрім інших, колекторських властивостей техногенних ґрунтів, як під час проводки свердловин, так і під час їх промислової роботи.

Мета статті – ґрунтовний аналіз найвпливовіших чинників процесів виконання інженерно-геологічного вивчення (інженерної підготовки територій) та розробки нетрадиційних покладів вуглеводневої сировини на базі корінної раціоналізації окремих пунктів комплексного техніко-технологічного регламенту бурового свердловинного циклу для умов виробничих об'єктів, які характеризуються різноманітністю властивостей техногенних ґрунтів і складністю геолого-гідрологічного режиму.

#### **Методики**

Аналітико-стендовий аналіз особливостей проведення певного кола робіт, пов'язаних із виконанням операцій інженерно-геологічного вивчення (інженерної підготовки територій) [8] та сталої розробки нетрадиційних покладів вуглеводневої сировини, виконано із застосуванням сучасних методів теоретичних і експериментальних досліджень, зокрема шляхом використання загальних принципів математичного та фізичного моделювання, методичних принципів обробки проміжних і кінцевих результатів у середовищі EXCEL, MATHCAD, контрольно-вимірювальних систем приладів і відповідних матеріалів [9].

Протікання техногенних геолого-гідрологічних і свердловинних бурових процесів моделювалось на спеціально сконструйованих та відповідно обладнаних напівпромислових експериментальних стендах навчального бурового полігону Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» із застосуванням, у тому числі, бурових установок УБП-15М, УКБ-4П та відповідного інструменту і пристосувань.

#### **Результати дослідження**

Основною спрямованістю роботи, що пропонується, є обґрунтування методів і прийомів свердловинних бурових технологій [10], особливістю яких виступає наявність нестійких

поверхневих ґрунтів та відносно невеликі проектні глибини [11]. До названих умов можна із впевненістю віднести свердловини категорії інженерно-геологічні, як такі, що проводяться із необхідністю досконалого вивчення природних і техногенних умов територій (ділянок) об'єктів проектного будівництва, розроблення прогнозів взаємодії об'єктів будівництва з навколишнім середовищем, розроблення усіх видів проектів (у тому числі інженерної підготовки територій, захисту територій і об'єктів від різноманітних небезпечних процесів геологічного і техногенного походження). Зазначимо тут таке: методики спорудження неглибоких свердловин є достатньо апробованими і надійними, проте потребують свого удосконалення і адаптації, особливо при проведенні неглибоких, підкреслимо, експлуатаційних свердловин широкого кола призначення (за класом ідентифікуються типом корисної копалини) [12].

Цілком природно, що інженерно-геологічні дослідження за свій основний інструментарій мають процес та результати спорудження відповідних, нагадаємо, неглибоких свердловин [13], які дозволяють безпосередньо вивчати особливості геологічного розрізу, проводити відбір зразків ґрунту з метою визначення його складу, стану і фізико-механічних властивостей; ставити різного роду дослідні роботи у свердловинах для визначення геологічних, гідрогеологічних тощо характеристик. Необхідно зробити наголос і на такому: перелічені операції є потрібними для виконання операцій циклу видобування низки різновидів промислово важливих корисних копалин [14].

Однозначно можна констатувати, що коло вирішуваних доволі складних задач інженерно-геологічних досліджень надзвичайно велике і укрупнено його можна окреслити наступними базовими завданнями: обґрунтування проектування різних видів будівництва, раціоналізація експлуатації родовищ корисних копалин, екологічна оцінка провадження діяльності, здійснення різноманітних інженерних заходів з підготовки територій [3]. Зважаючи на виняткову вагомість, результати розглядуваних досліджень мають бути достовірними і достатніми для обґрунтування певних конструктивних і технологічних рішень, та, без усіляких виключень, заходів щодо дотримання норм охорони довкілля. Наприклад, розрахункові дані у складі результатів інженерних досліджень полігонів твердих побутових відходів мають бути обґрунтовані і містити прогноз їх зміни в процесі будівництва і експлуатації відповідних споруд для видобування так званого звалищного газу [2].

Матеріали досліджень щодо вивчення приповерхневої будови техногенних ґрунтів на сміттєзвалищах і спеціальних полігонах повинні відображати: умовну літологічну будову і властивості означених ґрунтів, умови залягання останніх; характеристику виділених шарів ґрунтів за генетичними типами; відомості про неотектонічні процеси; характеристику складу, стану, фізичних, фізико-механічних і хімічних властивостей ґрунтів і їх просторової мінливості; характеристику основних водоносних горизонтів (положення рівня підземних вод, поширення, структура залягання, джерела живлення), що впливають на умови будівництва і експлуатацію дренажних газових свердловин.

Найближчим за суттю комплексним технологічним процесом, що має безпосереднє відношення до промислово-експлуатаційного освоєння покладів горючих газів, утворюваних природним розкладанням органічних відходів побутового, комерційного, промислового та сільськогосподарського походження, є спорудження геологорозвідувальних свердловин.

Аналітично зіставляючи технології геологорозвідувального і близького за отримуваними результатами інженерно-геологічного буріння [14], передусім, необхідно зазначити те, що технічна база для них буде загальною. Майже всі установки для спорудження геологорозвідувальних свердловин є придатними для цілей інженерно-геологічного буріння та проводки неглибоких експлуатаційних свердловин широкого кола призначення. В основному аналогічним є і інше бурове устаткування і інструмент, за деякими виключеннями – наприклад, ґрунтоноси, вживані при бурінні інженерно-геологічних свердловин (можуть бути також ефективно використані за специфічних потреб буріння неглибоких експлуатаційних свердловин). Маючи в розпорядженні загальну технічну базу, інженерно-

геологічне, експлуатаційне і геологорозвідувальне буріння переслідують, проте, різні цілі і вирішують різні завдання. Ці відмінності зводяться до наступного. Об'єктом інженерно-геологічного і неглибокого експлуатаційного буріння є верхня частина земної кори, що знаходиться в зоні взаємодії з інженерними спорудами, для проектування яких, власне, і здійснюються зазначені роботи. Середня, характерна глибина інженерно-геологічних і неглибоких експлуатаційних свердловин складає 10 - 15 м, на відміну від геологорозвідувального буріння, для якого середня глибина свердловин, принаймні, на порядок вище [10]. Природно, що основний об'єм інженерно-геологічного і неглибокого експлуатаційного буріння здійснюється в нескільких ґрунтах. При геологорозвідувальному бурінні безпосереднім об'єктом вивчення є поклад корисної копалини, потужність якого, як правило, у багато разів менше усієї протяжності свердловини. Для проходки корисної копалини застосовується спеціальний режим буріння. Буріння поза вказаними межами особливо суворо не регламентується і здійснюється, у багатьох випадках, без відбору керна (безкернове буріння). При інженерно-геологічному і неглибокому експлуатаційному бурінні спеціальний технологічний режим необхідно поширювати на всю свердловину.

Зразки гірської породи (керна), витягнуті в процесі геологорозвідувального буріння, вивчаються, в основному, з точки зору їх складу, на відміну від інженерно-геологічного (а в більшості випадків і неглибокого експлуатаційного) буріння, для якого в рівній мірі важливим є склад піднятих зразків, їх стан і властивості. Ці показники в зразках мають бути аналогічними таким, що мають місце в масиві. При геологорозвідувальному бурінні вплив методу руйнування вибою на зміну властивостей масиву, що примикає до контуру свердловини, практичного значення не має. При інженерно-геологічному бурінні ця обставина має важливе значення, оскільки тут широко використовуються свердловинні методи визначення показників фізико-механічних властивостей ґрунтів.

Зазначимо, що класифіковані і коротко розглянуті особливості спорудження інженерно-геологічних та неглибоких експлуатаційних свердловин (у контекстному порівнянні із геологорозвідувальними роботами) пред'являють до технології буріння додаткові, доволі складні за деякими принципами обмежувальні вимоги. Так, наприклад, буріння «насухо» при геологорозвідувальних роботах є допоміжним прийомом, використовуваним, головним чином, для заклинювання керна. При інженерно-геологічному бурінні вказаний прийом набуває самостійного значення: уся свердловина може бути пробурена «насухо». Необхідність визначення (в результаті інженерно-геологічного буріння) показників складу, стану і властивостей масиву ґрунту визначає широке застосування ґрунтоносів для відбору монолітів, що абсолютно не характерне для геологорозвідувального буріння. Нарешті, порівняно невелика глибина, що вивчається при інженерно-геологічних дослідженнях товщі ґрунтів, робить можливим застосування тут методів зондування, які принципово не відрізняються від буріння. При геологорозвідувальних роботах ці методи практично не застосовуються.

Найбільш специфічними особливостями інженерно-геологічних та неглибоких експлуатаційних свердловин виступають такі: порівняно невелика глибина (визначається, загалом, геологічними умовами – в той або іншій інтерпретації); незначна відмінність в діаметрах свердловин (діаметр свердловин визначається тільки видом і характером випробування, для видобувних – технологічними параметрами застосовуваного обладнання та прийомами отримання корисного компоненту); безперервний відбір керна (при цьому необхідно забезпечувати 100%-ний вихід керна, що, в кінцевому підсумку, дозволить, саме для експлуатаційних свердловин, якомога правильніше обґрунтувати методичні основи системи видобутку); безперервний або поінтервальний відбір зразків (монолітів) ґрунту із складом, близьким до природного; проведення у свердловинах різного роду дослідних робіт, які за часом бувають триваліші, ніж сам процес буріння; обов'язковий тампонаж свердловин з метою ліквідації штучних каналів і порожнеч для циркуляції ґрунтових вод та газової

складової; надзвичайна різноманітність умов буріння свердловин. Зазначені особливості є необхідними початковими передумовами при розробці спеціалізованих технічних засобів, технологічних прийомів буріння і організації відповідних робіт [14].

З метою розробки адекватного плану освоєння так званого техногенного родовища, при розробці прогресивних конструкцій інженерно-геологічних свердловин, а так само і близьких до них неглибоких експлуатаційних свердловин, необхідно додержуватися відповідних рекомендацій, що представлені в табл. 1; її дані також стосуються конкретних усереднених умовних літологічних характеристик сміттєзвалищ і спеціальних полігонів.

**Таблиця 1. Усереднені рекомендації щодо проектування конструкцій інженерно-геологічних та неглибоких експлуатаційних свердловин**

Характеристика процесів, що відбуваються у стовбурі свердловини	Типові представники порід з трансформацією показників на техногенні ґрунти	Орієнтовна технологія підтримання стінок свердловини в стійкому стані
Стінки свердловини не обрушаються протягом деякого часу (іноді протягом часу буріння свердловини), спостерігається невелика зміна діаметра свердловини	Тріщинуваті скельні і нескельні ґрунти, великоуламкові ґрунти, глини і суглинки пластичної консистенції	Неглибокі свердловини можуть буритися без закріплення стінок. Глибокі свердловини можна бурити з промиванням глинистим розчином. Іноді потрібне закріплення стінок свердловин обсадними трубами
Можуть відбуватися вивали зі стінок свердловини, спостерігається помітна зміна діаметра свердловини протягом короткого часу	Великоуламкові ґрунти (нешільні), пісок щільний і середньої щільності, супесь легка, суглинки і глини текучепластичної консистенції	Потрібне закріплення пробурених інтервалів свердловини обсадними трубами
Свердловина майже відразу цілком обрушується чи «обпливає» після витягання породоруйнівного інструмента	Насичені водою піски, пливуні, глини і суглинки текучої консистенції	Пробурені інтервали вимагають негайного або випереджального закріплення обсадними трубами

Аналізуючи наведені дані (табл. 1) та сумарні умовні літологічні характеристики ґрунтів сміттєзвалищ і спеціальних полігонів, можна констатувати наступне: перебудовані різниці, у випадку використання типових прийомів (насамперед наявність промивання), практично не допускають отримання представницького керну, тут можуть бути рекомендовані такі способи буріння (застосовувані відповідно до поточних свердловинних умов) – колонковий, із затиранням порід «насухо», гідротранспортом кернового матеріалу, шнековий та гідро (пнеumo) ударний.

Спорудження свердловин за схемою затирання порід (ґрунту) «насухо» полягає у бурінні їх стовбура за відсутності промивання, причому для забезпечення реалізації зазначеного прийому необхідне застосування укорочених рейсів, визначуваних, в даному випадку, мінімально можливою довжиною колонкової труби. Відповідно до зазначеного та згідно з ДСТ 6238, раціонально прийняти довжину колонкової труби (мінімально необхідного діаметру) у межах 1500 мм. Технічна характеристика труби, зовнішній діаметр яких відповідає типовим

конструкціям інженерно-геологічних свердловин та підпадає під вимоги до оформлення проектів спорудження неглибоких експлуатаційних свердловин, наведена в табл. 2.

Таблиця 2. Основні розміри стандартизованих колонкових труб ніпельного з'єднання і ніпелів до них

Характеристичний параметр	Показники	
	Зовнішній діаметр труби і ніпеля, мм	108
Товщина стінки труби, мм	5,0	5,0
Внутрішній діаметр ніпеля, мм	95,5	114,5
Зовнішній діаметр зовнішньої різьби, мм	103,0	122,0
Зовнішній діаметр внутрішньої різьби, мм	103,05	122,06
Довжина різьби, мм	60	60
Внутрішній діаметр різьби, мм	101,5	120,5
Стандартизована довжина труби, мм	1500, 3000, 4500, 6000	
Вага 1 м труб, кг	13,0	16,0

Вивчення даних типового геологічного розрізу, складеного за матеріалами проведених раніше бурових робіт, доводить ефективність застосування в якості породоруйнівного інструменту твердосплавних коронок типу М, причому параметрами режиму буріння, за застосування прийому затирання порід «насухо», є наступні складові:

- осьове навантаження на коронку

$$C = tq, \text{ даН,}$$

де  $t$  – кількість основних (об'ємних) різців чи вставок, шт.;  $q$  – рекомендоване осьове навантаження на 1 різець, даН.

- частота обертання

$$c = \frac{60V_0}{\pi D_c},$$

де  $V_0$  – рекомендована окружна швидкість коронки, м/с;  $D_c$  – середній діаметр коронки, м.

$$D_c = \frac{D_3 + D_B}{2},$$

де  $D_3$  і  $D_B$  – відповідно зовнішній та внутрішній діаметри коронки, м.

Значення параметрів режиму буріння, за застосування прийому затирання порід «насухо», необхідно ув'язати із технічними можливостями наявного уніфікованого бурового обладнання (в основному це самохідні бурові агрегати).

Гідравлічне транспортування керношламового матеріалу при спорудженні свердловин являє собою різновид колонкового буріння із зворотною схемою циркуляції очисного агенту [10], що реалізується при використанні спеціалізованих бурових установок, подвійної концентричної колони бурильних труб, спеціальних забійних приладів і конструкцій породоруйнівного інструменту.

Найголовнішою особливістю способу буріння із застосуванням подвійної бурильної колони є можливість точного геологічного прив'язування зразків порід до конкретного інтервалу глибини свердловини; зазначене обумовлене відсутністю, за вміло організованого режиму зворотної циркуляції очисного агенту, переривчатості отримання геологічних проб.

Таблиця 3. Характеристичні конструктивні параметри і режими буріння тврдосплавними коронками типу М

Тип коронки	Характеристика порід	Типові представники порід	Категорія порід з буримості	Діаметр, мм		Кількість різців		Рекомендовані параметри режиму буріння	
				зовнішній	внутрішній	основних	підрізних	Осьове навантаження на 1 основний різець, даН	Окружна швидкість, м/с
М2	М'які з твердими прошарками	Глини щільні, мергелі	II–IV	151	113	14	–	60–80	1,0–1,5
				132	93	14	–		
М5	М'які однорідні	Піски, глини, глинисті сланці	II–IV	151	112	24	6	60–80	1,0–1,8
				132	91	24	6		

Спосіб буріння свердловин шнековим інструментом є різновидом безкернового методу буріння, устаткування для якого включає спеціальну шнекову колону (гвинтовий транспортер) і породоруйнівний інструмент (як правило, лопатеве долото). Залежно від типу ґрунту, колона може включати декілька обважнених шнеків і комплектуватися колонковим долотом.

Шнековий транспортер є трубою з різьбовими або безрізьбовими з'єднаннями на кінцях. До зовнішньої стінки труби приварена спіралеподібна стрічка із сталі завтовшки 4 - 6 мм. Крок спіралі залежить від типу породи, що транспортується, і варіюється від 0,5 до одного діаметру шнека. Як тільки порода сколюється породоруйнівним інструментом, вона одразу потрапляє на шнек, що обертається з технологічно обґрунтованою швидкістю. За рахунок відцентрової сили, яка виникає в процесі обертання, зруйнована порода відкидається до стінок свердловини і швидко доставляється шнеком на поверхню. Частина породи, що залишилася, вминається в стінки ребордою шнека, звільняючи забій і знімаючи навантаження з силового агрегату бурової установки.

Шнекове колонкове буріння використовують у випадку необхідності витягання на поверхню керна з непорушеною його структурою. У спеціальному колонковому шнеці є великий прохідний отвір, а сам шнек порожнистий. При бурінні kern поступав в спеціальну гільзу, яка витягається після відгвинчення відповідної бурової коронки.

У табл. 4 представлено усереднений техніко-технологічний регламент спорудження типових інженерно-геологічних свердловин шнековим способом, який може бути застосований також для проходки неглибоких експлуатаційних свердловин.

Таблиця 4. Усереднені параметри техніко-технологічного регламенту спорудження інженерно-геологічних свердловин шнековим способом

Породи (відповідно до властивостей – техногенні ґрунти)	Тип шнекових труб	Тип породоруйнівного інструменту	Режимні параметри буріння	
			Частота обертання шнеку, хв <sup>-1</sup>	Навантаження на забій, даН
Глини і суглинки	БТШ - 180	ДБШ - 160	140	600
Піски, супіски			140	600
Щільні глини			60	800

Пневмоударне інженерно-геологічне буріння здійснюється за допомогою занурюваних розвідувальних пневмоударників або занурюваних пневмопробійників (у останньому випадку тільки в м'яких породах – за властивостями відповідних техногенним ґрунтам). При інженерно-геологічних дослідженнях використовуються в основному занурювані пневмопробійники. Суть способу полягає в тому, що породоруйнівний інструмент занурюється у свердловину за допомогою розміщеного над ним пневмопробійника. Стиснене повітря до пневмопробійника подається по бурильних трубах (через сальник) або по шлангу. Зазначений спосіб дозволяє отримувати зразки ґрунту з майже непорушеною структурою, проте його ефективність значно знижується в умовах водопроявів, а в окремих випадках (значних водопритоках) його застосування унеможлиблюється.

Режимні параметри та інструментальне забезпечення пневмоударного інженерно-геологічного буріння представлено в табл. 5.

Таблиця 5. Основні параметри та інструментальне забезпечення пневмоударного способу буріння

Породи (відповідно до властивостей – техногенні ґрунти)	Тип бурильних труб	Тип пневмоударної машини	Тип породоруйнівного інструменту	Режимні параметри буріння		
				Частота обертання коронки, хв <sup>-1</sup>	Навантаження на забій, даН	Витрата повітря, м <sup>3</sup> /хв
Глини і суглинки	СБТ - 73	РП - 138А	СТ2 - 132	60	800	8
Піски, супіски				60	800	8
Щільні глини				60	1000	8

Регулюванням витрати стисненого повітря та налаштуванням клапанної системи пневмоударної машини можна бурити свердловини в режимі ударнообертальному або вібраційно-обертальному.

Буріння і розбурювання (розширення) свердловин із застосуванням води замість глинистого розчину допускається в зв'язних ґрунтах (наприклад, суглинках і глинах) тільки у тому випадку, якщо забезпечена достатня стійкість стінок свердловини і технологічність його виконання.

Склад глинистого розчину, для випадків наявності нестійких ґрунтів, задається проектом і підбирається в лабораторних умовах, залежно від характеристики ґрунтів і вживаної глини. Глинистий розчин готують з бентоніту або місцевих глин. Рівень глинистого розчину у свердловині незалежно від способу буріння повинен перевищувати рівень ґрунтових вод не менше чим на 1 м за наявності обсадної труби, за відсутності обсадження – має бути не нижче за гирло свердловини.

В табл. 6 представлено композиції глинистих розчинів, розроблених для умов проведення розглядуваних робіт, що забезпечують стійкість стінок свердловини в товщах ускладнених порід.

**Таблиця 6. Компонентний склад спеціальних бурових глинистих розчинів, що відповідають геологічним умовам товщ незв'язних порід**

Назва розчину	Компонентний склад
Нормальний	До 24% бентоніту + вода; до 30% глини інших категорій + вода
Покращений	Нормальний глинистий розчин + 10 - 20% рідкого ВЛР
Інгібований	Нормальний глинистий розчин + 1 - 2% інгібітору ( $\text{CaCl}_2$ ) + 0,1 - 0,2% регулятора лужності ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) + 5 - 10% стабілізатора КССБ
Малоглинисті розчини	До 8% бентоніту + 1) 0,5 - 1% ПАА; 2) 0,5 - 1% гідролізованого ПАА; 3) 0,5 - 1% М - 14; 4) 0,1 - 0,5 біополімеру БП-1
Обважені глинисті розчини	Нормальний глинистий розчин + 1) 25 - 70% баритового концентрату; 2) 30 - 50% крейди, вапняку + 5 - 8% ВЛР + 2 - 4% окзилу + 2 - 3% ФХЛС
Розчини на основі вибурених порід	Вода + 2 - 5% твердої фази, представленої вибуреними породами + 0,5 - 2% ПАР, що сприяють диспергуванню твердої фази + стабілізатори: 1 - 2% бентоніту, 0,5 - 2% рідкого скла

*Примітки.* ВЛР – вугледужний реагент; КССБ – конденсована сульфід-спиртова барда; ПАА - поліакриламід; ФХЛС – ферохромлігносульфонат; М – спеціальний полімерний реагент; ПАР – поверхнево-активна речовина

Роботи з інженерно-геологічних вишукувань виконують з метою вивчення та оцінки інженерно-геологічних умов території; прогнозування змін інженерно-геологічних умов під дією природних і техногенних факторів; визначення допустимих впливів на елементи геологічного середовища та способів досягнення потрібного стану цього середовища; оцінювання ризику життєдіяльності людини на конкретних територіях; розроблення проектів захисту територій та окремих об'єктів від несприятливих і небезпечних процесів.

Підставою для складання програми виконання робіт з інженерно-геологічних вишукувань є технічне завдання, що додається до замовлення на інженерно-геологічні вишукування.

Програму виконання інженерно-геологічних вишукувань складають на основі відповідного технічного завдання, оцінки категорії складності інженерно-геологічних умов (табл. 7), ступеня вивченості ділянки (території) і порядку розроблення проектної документації.

Таблиця 7. Загальні класифікаційні категорії складності інженерно-геологічних умов (з можливістю трансформації на властивості техногенних ґрунтів)

Категорія складності	Класифікаційні ознаки категорії складності
умов Прості	Наявність у межах зони взаємодії споруди і підземної гідросфери одного водоносного горизонту (комплексу), витриманого за проляганням. Фільтраційні параметри стійкі. Ознак можливого зв'язку з іншими водоносними горизонтами немає. Додаткові техногенні впливи відсутні. Виробництва з застосуванням шкідливих речовин відсутні. Небезпечне підвищення рівнів підземних вод не фіксується спостереженнями. Активні фізичні процеси в підземній гідросфері відсутні.
Середньої складності	Наявність у межах зони взаємодії споруди і підземної гідросфери одного водоносного горизонту, не витриманого за проляганням, або двох водоносних горизонтів із простими морфометричними показниками, або одного водоносного горизонту, приуроченого до колектора масивного типу. Граничні умови прості, меж для кожного горизонту не більше однієї, що ідентифікується за геологічними ознаками. Територія освоєна змішаною промисловою і селітебною забудовою. Сучасні фізичні процеси у верхній частині літосфери пов'язані із проявами водоносності, повсюдні, але незначні за масштабами. Небезпечні впливи на організм людини, пов'язані з техногенними змінами хімізму підземних вод, не відзначаються.
Складні	Наявність у розрізі двох і більше водоносних горизонтів (комплексів), різним ступенем зв'язаних, що характеризуються нестійким літологічним складом водомістких ґрунтів, переходами один в одного. Граничні умови складні, кількість меж різного роду більше 2-3, або їх наявність можна припускати, виходячи з особливостей структурно-геологічної та геоморфологічної будови. Взаємний вплив граничних умов складно і важко ідентифікується. Техногенні впливи на рівневий і гідрохімічний режим великі. Освоєння території різнопланове. За спостереженнями в окремих пунктах відбувається інтенсивний підйом рівнів підземних вод.

Діаметр буріння свердловин повинен забезпечувати можливість опису ґрунтів, відбору проб порушеної структури, а також відбір проб води і обладнання свердловин для спостереження за рівнем підземних вод.

Початковий та кінцевий діаметри свердловин у нескількох ґрунтах призначають залежно від призначення та глибини свердловини, складу і стану ґрунтів, що проходяться, відповідно до даних табл. 8.

Виходячи з умови отримання максимально достовірної геологічної інформації про літологічну будову ділянки робіт, необхідно приймати кінцеву глибину свердловин не менше ніж 30 м; з метою скорочення витрат на бурові та супутні роботи, в якості характерної конструкції свердловини можливе застосування її двохступеневого оформлення (виправдане геолого-технічними умовами розрізу порід), що включає верхній обсаджений інтервал (з посадкою башмаку колони у відносно стійкі породи) і відкритий стовбур.

Таким чином, проведення науково обґрунтованих високотехнологічних робіт із спорудження неглибоких експлуатаційних свердловин (з основою виробничого циклу на базі використання досвіду будівництва свердловин інженерно-геологічного призначення) з метою

видобутку метану дозволяє отримувати значні об'єми паливної сировини, а також частково, або повністю, виключити викиди метану та інших супутніх летючих органічних сполук (забруднювачів повітря).

Таблиця 8. **Вимоги щодо конструкції розвідувальних і технічних свердловин інженерно-геологічного призначення**

Тип свердловин	Початковий діаметр свердловини, мм, за глибини свердловини, м		Кінцевий діаметр свердловини, мм
	до 10	10 - 30	
Розвідувальні	до 127	до 168	до 89
Технічні	до 168	до 219	127

***Примітка 1.** Початковий діаметр розвідувальних та технічних свердловин глибиною більше 30 м, а також початковий та кінцевий діаметри спеціальних свердловин встановлюють у програмі виконання робіт.*

***Примітка 2.** Під час буріння свердловин у великоуламкових, піщаних, пилуватих і глинистих ґрунтах із включеннями валунів і крупної гальки, а також для обґрунтування відповідно до завдання замовника проведення земляних робіт способом гідромеханізації допускається збільшувати їх початковий діаметр.*

### **Висновки**

1. У деталях проаналізовано найвпливовіші особливості і умови проведення бурових робіт, що спрямовані на здійснення інженерно-геологічного вивчення (інженерної підготовки територій) та розробки нетрадиційних покладів вуглеводневої сировини.

2. Пропонована робота доводить, що існуючі, попередньо адаптовані методики буріння неглибоких експлуатаційних свердловин є вивіреними, проте потребують пристосування до техногенних умов сміттєзвалищ і спеціальних полігонів.

3. Запропоновано, в деяких аспектах, сучасний техніко-технологічний регламент виконання окремих робіт при проведенні геологічних вишукувань (інженерної підготовки території) та бурінні неглибоких експлуатаційних свердловин, що базується на прогресивних промислових принципах і високих економічних показниках.

4. Ґрунтовні теоретичні та експериментальні дослідження особливостей проведення бурових робіт в циклах інженерно-геологічного вивчення (інженерної підготовки територій) та отримання каналів видобутку нетрадиційної вуглеводневої сировини необхідно продовжувати в напрямках створення алгоритмів ефективною розробки окремих складових технологічних заходів з освоєння техногенних родовищ, що якнайповніше відповідають раціоналізації енерговитрат та адекватності кінцевих результатів основним структурним показникам видобувного процесу.

A.V. Pavlychenko, Ye.A. Koroviaka, A.O. Ihnatov, V.O. Rastsvietaiev, O.O. Dmytruk

*National technical university «Dnipro Polytechnic», Ukraine*

## STUDY OF THE MAIN FEATURES OF THE TECHNOLOGY OF DRILLING SHALLOW WELLS IN DIFFICULT MINING AND GEOLOGICAL CONDITIONS

*The features of technical and technological regulations for performing engineering and geological studies, drilling and other related work during surveys (engineering preparation of the territory), as well as the design of a cost-effective system for the development of unconventional hydrocarbon deposits based on the introduction of modern innovative methods and funds.*

*There were substantiated, at the level of practical methodology, individual structural elements of the technology for conducting complex borehole engineering and geological studies of a man-made rock mass with complex conditional lithological properties characteristic of industrial sites of landfills and special landfills, the functioning of which is associated with the need to construct sites for the production and processing of the corresponding hydrocarbon raw materials. The fundamental principles of building a cycle of specialized drilling operations have been developed; some basic parameters of the technology for constructing shallow production wells have been calculated; an enlarged regulation was drawn up for carrying out measures for the engineering preparation of the territory; mining and geological features of well construction in strata complicated by physical and chemical properties of technogenic soils were considered.*

*Separate components of an improved technical and technological methodology for performing work during geological surveys (engineering preparation of the territory) based on modern progressive industrial principles and high economic indicators have been created; the basic principles of an effective system for the development of unconventional hydrocarbon deposits have been developed. The data obtained are the basis for further developments to improve the quality and reliability of drilling and other related work in the course of geological surveys and involvement in industrial development of man-made hydrocarbon deposits.*

**Key words:** *well, engineering-geological surveys, technogenic deposits, territory preparation, landfill biogas, special storage polygons, methane, drilling technologies.*

### Література

1. Основи та фундаменти будинків і споруд. Державні будівельні норми України: ДБН В.2.1-10-2009. – [Введено в дію від 2009-07-01]. К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 82 с.
2. Куровець І.М., Михайлов В.А., Зейкан О.Ю. Нетрадиційні джерела вуглеводнів: огляд проблеми // Нетрадиційні джерела вуглеводнів України: монографія. [у 8 кн.] Кн. 1. / О.Ю. Зейкан, В.А. Михайлов, І.М. Куровець, П.М. Чепіль (ред. кол.); Нац. акціонерна компанія «Нафтогаз України» та ін. – К.: Ніка-Центр, 2014. – 208 с.
3. Настанова щодо інженерної підготовки ґрунтової основи будівель і споруд. Державний стандарт України: ДСТУ-Н Б В.1.1-39:2016. – [Уведено в дію від 2017-04-01]. К.: ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» (НДІБК), 2017. – 189 с.
4. Robertson J.O., Chilingar G.V. Environmental aspects of oil and gas production. Scrivener publishing. – Wiley-Scrivener, 2017. – 416 p.
5. Інженерні вишукування для будівництва. Державні будівельні норми України: ДБН А.2.1-1-2014. – [Уведено в дію від 2014-03-24]. Київ: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житловокомунального господарства України, 2014. – 128 с.
6. Інженерна геологія (з основами геотехніки) / за заг. ред. В. Г. Суярка. – Харків: Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, 2019. – 278 с.
7. Dareing D.W. Oilwell Drilling Engineering. – ASME Press, 2019. – 512 p.
8. Інженерні вишукування для водогосподарського та природоохоронного будівництва / за заг. ред. А.М. Рокочинського, В.Д. Дупляка. – Рівне: НУВГП, 2010. – 173 с.
9. Curry G.L., Feldman R.M. Manufacturing systems. Modeling and analysis. – Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2011. – 338 p.

10. Войтенко В., Вітрик В. Технологія і техніка буріння. – К.: Центр Європи, 2012. – 708 с.
11. Коровяка Є.А., Ігнатов А.О., Расцветаев В.О. Особливості бурових робіт при інженерних вишукуваннях і підготовці територій // Інструментальне матеріалознавство: Зб. наук. пр. – Випуск 24. –К.: ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України, 2021. – С. 102–113.
12. Azar J.J., Robello S.G. (2007). *Drilling Engineering*. – PennWell Corporation, 2007 – 486 p.
13. Hossain, M.E. *Fundamentals of Drilling Engineering: MCQs and Workout Examples for Beginners and Engineers*. – Wiley – Scrivener Publishing, 2016. – 854 p.
14. Вирвінський П.П., Кузін Ю.Л., Хоменко В.Л. Геологорозвідувальна справа і техніка безпеки. – Дніпропетровськ: Держ. вищ. навч. закл. «Нац. гірн. ун-т», 2010. – 368 с.  
*Надійшла 30.08.22*

### References

1. *Osnovy ta fundamenty budynkiv i sporud. Derzhavni budivelni normy Ukrainy*. [Foundations of buildings and structures. State building norms of Ukraine]. *DBN B.2.1-10-2009*. (2009). Kyiv: Minrehionbud Ukrayiny – Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine [in Ukrainian].
2. Kurovets, I.M., Mikhailov, V.A., Zeikan, O.Yu. (2014). *Netradytsiini dzherela vuhlevodniv: ohliad problem* [Unconventional hydrocarbon sources: an overview of the problem]. *Netradytsiini dzherela vuhlevodniv Ukrainy* [Unconventional hydrocarbon sources of Ukraine]. O.Yu. Zeikan, V.A. Mikhailov, I.M. Kurovets, P.M. Chepel (Ed.); *Natsionalna aktsionerna kompaniia «Naftohaz Ukrainy» ta in.* (Vols. 1–8; Vol. 1). Kyiv: Nika-Tsentr [in Ukrainian].
3. *Nastanova shchodo inzhenernoi pidhotovky hruntovoi osnovy budivel i sporud. Derzhavnyi standart Ukrainy*. [Guidelines for engineering preparation of the soil base of buildings and structures. State Standard of
4. *Ukraine*]. *DSTU-NBV.1.1-39:2016*. (2017). Kyiv: DP «Derzhavnyi naukovodoslidnyi instytut budivelnykh konstrukttsii» – Kyiv: State Enterprise «State Research Institute of Building Structures» [in Ukrainian].
5. Robertson, J.O. & Chilingar, G.V. (2017). *Environmental aspects of oil and gas production*. Wiley-Scrivener.
6. *Inzhenerni vyshukuvannia dlia budivnytstva. Derzhavni budivelni normy Ukrainy*. [Engineering surveys for construction. State building norms of Ukraine]. *DBN A.2.1-1-2014*. (2014). Kyiv: Ministerstvo rehionalnoho rozvytku, budivnytstva ta zhytlovo-komunalnoho hospodarstva Ukrainy – Kyiv: Ministry of Regional Development, Construction and Housing of Ukraine [in Ukrainian].
7. Suiarko, V.G. (Eds.). (2019). *Inzhenerna heolohiia (z osnovamy heotekhniky [Engineering geology (with the basics of geotechnics)]*. Kharkiv: V.N. Karazin Kharkiv National University [in Ukrainian].
8. Don W. Dareing. (2019). *Oilwell Drilling Engineering Publisher: ASME Press* [in English].
9. Rokochynsky, A.M., & Duplyak, V.D. (Eds.). (2010). *Inzhenerni vyshukuvannia dlia vodohospodarskoho ta pryrodookhoronnoho budivnytstva [Engineering surveys for water management and environmental construction]*. Rivne: NUVGP [in Ukrainian].
10. Curry, G.L. & Feldman, R.M. (2011). *Manufacturing systems. Modeling and analysis*. Heidelberg: Springer-Verlag.
11. Voitenko, V., & Vitryk, V. (2012). *Tekhnolohiya i tekhnika burinnya [Technology and technique of drilling]*. Kyiv: Center of Europe [in Ukrainian].
12. Koroviaka, Ye.A., Ihnatov, A.O., & Rastsvietaiev, V.O. (2021). *Osoblyvosti burovykh robit pry inzhenernykh vyshukuvanniakh i pidhotovtsi terytorii* [Features of drilling operations

- during engineering surveys and preparation of territories]. *Instrumentalne materialoznavstvo - Tooling materials science*, 24, 102–113 [in Ukrainian].
13. Azar, J.J., & Robello, S.G. (2007). *Drilling Engineering*. PennWell Books [in English].
  14. Hossain, M.E. (2016). *Fundamentals of Drilling Engineering: MCQs and Workout Examples for Beginners and Engineers*. Wiley-Scrivener Publishing.
  15. Vyrvinskii, P.P., Kuzin, Y.L., Khomenko, V.L. (2010). *Heolohorozvidivalna sprava i tekhnika bezpeky [Exploration and safety]*. Dnepropetrovsk: National Mining University [in Ukrainian].

УДК 622.243.92

DOI: 10.33839/2708-731X-25-1-96-106

**А.О. Ігнатів**, канд. техн. наук, **І.К. Аскеров**

*Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»,  
пр. Дмитра Яворницького, 19, 49027, м. Дніпро, Україна, e-mail: A\_3000@i.ua*

## **РОЗРОБКА ОКРЕМИХ ТЕХНІЧНИХ І ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ГІДРОУДАРНОГО БУРІННЯ СВЕРДЛОВИН**

*Послідовно цілісними та комплексними лабораторними, а також аналітичними прийомами досліджено основні фактори техніко-технологічного супроводу процесів гідроударного спорудження свердловин різного призначення, відповідних обставинам, що є характерними для гірських порід середньої твердості та твердих; розглянуто і оцінено вплив параметрів закінченого циклу роботи існуючих та пропонуваніх інноваційних ударних бурових машин на хід і результати формування вибійних умов руйнування гірського масиву.*

*Охарактеризовано основні етапи технологічного процесу гідроударного буріння свердловин та його переваги перед іншими методами руйнування гірського масиву. Показано існування суттєвих недоліків в значній кількості запропонованих і використовуваних конструкцій гідроударних машин, які не дозволяють в повній мірі забезпечити прояв потенційних можливостей ударно-обертального способу буріння свердловин. Розглянуто конструктивні ознаки інноваційних гідравлічних ударних машин для спорудження свердловин в їх робочому циклі формування динамічних імпульсів. Запропоновано і проаналізовано послідовну методику визначення енергетичних параметрів ударних бурових машин та впливу вказаних факторів на техніко-економічні показники поглиблення вибою споруджуваніх в різних гірничо-геологічних умовах свердловин.*

*Представлені результати ґрунтовних лабораторних і аналітико-конструктивних досліджень, а також деякі узагальнення промислово-стендових даних є базовими для проектування технічного супроводу і режимних параметрів процесу гідроударного спорудження свердловин з гарантованим забезпеченням високих техніко-економічних показників. Дані з вивчення процесів внутрішньо-приладної циркуляції в гідравлічних ударних машинах є вихідними факторами для обґрунтування конструктивних і технологічних параметрів інноваційних пристроїв для створення динамічних імпульсів з метою інтенсифікації процесів поглиблення вибою свердловини.*

**Ключові слова:** *свердловина, промивальна рідина, гірська порода, бурова машина, механічна швидкість, вибій, робочий цикл, тиск, енергія удару, конструктивна схема.*

### **Вступ**

Використання вибійних бурових машин (незалежно від принципу дії, що покладений в основу їх функціонування) дозволяє отримати певні суттєві переваги щодо реалізації режимно-технологічних параметрів на місці безпосереднього руйнування гірського масиву [1]. У разі експлуатації вибійних машин обертальної дії (турбобури, гвинтові двигуни, електробури)