ISSN 2071-1859 (Print), ISSN 2521-6635 (Online)
УДК 622.243.572 https://doi.org/10.33271/crpnmu/86.041

© А.О. Ігнатов[1], В.М. Літвінов[1], І.К. Аскеров[1]
[1]Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

ДЕЯКІ ОСОБЛИВОСТІ ВИКОНАННЯ ТА ЗАСТОСУВАННЯ ІННОВАЦІЙНИХ ВИБІЙНИХ БУРОВИХ ПРИСТРОЇВ

A. Ihnatov[1], https://orcid.org/0000-0002-7653-125X
V. Litvinov[1], https://orcid.org/0009-0006-0847-6339
I. Askerov[1] https://orcid.org/0000-0002-8398-0205
[1]Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

SOME FEATURES OF THE DESIGN AND APPLICATION OF INNOVATIVE DOWNHOLE DRILLING DEVICES

Мета. Обґрунтування особливостей вибійного пробовідбірника та оцінювання можливостей застосування гідроударних пристроїв для підвищення ефективності відбору й транспортування керна.

Методика дослідження. Передбачає конструктивно-функціональний аналіз пробовідбірника ПВП - 2 із використанням розрахункових залежностей і результатів стендових досліджень для оцінювання процесів руйнування породи, формування та гідравлічного транспортування керна. Додатково розглянуто можливість застосування гідроударного пристрою для запобігання заклинюванню пробовідбірника та самозаклинюванню керна.

Результати дослідження. Встановлено, що ефективність пробовідбірника ПВП - 2 визначається взаємодією породоруйнівних, керноприймальних і циркуляційних елементів. На гідравлічне транспортування знімної ґрунтоноски істотно впливають геометрія каналу та щільність керна. Визначено роль вузла-центратора й герметизувальних елементів у стабілізації положення ґрунтоноски та збереженні керна. Застосування гідроударного пристрою сприяє інтенсифікації руйнування породи та зниженню ризику заклинювання пробовідбірника і самозаклинювання керна.

Наукова новизна. Удосконалено методи комплексного аналізу вибійних пробовідбірників з урахуванням геометричних параметрів транспортного каналу та фізичних властивостей кернового матеріалу. Встановлено закономірність зміни швидкості гідравлічного транспортування $v_{гр}$ залежно від геометричного параметра каналу f_{sc} та щільності кернового матеріалу $\rho_к$: зменшення f_{sc} від 0,807 до 0,571 зумовлює зростання $v_{гр}$ приблизно від 0,19 до 0,62 м/с, а збільшення $\rho_к$ у межах 1800–3200 кг/м^3 – подальше зростання $v_{гр}$. Розвинено наукові положення щодо застосування гідроударних пристроїв для інтенсифікації руйнування породи та зниження ризику заклинювання пробовідбірника і керна.

Практичне значення. Отримані результати можуть бути використані для обґрунтування параметрів роботи пробовідбірника ПВП - 2, підвищення надійності відбору та гідравлічного транспортування керна, а також оцінювання доцільності застосування гідроударних пристроїв для зниження ризику заклинювання.

Ключові слова: *пробовідбірник, керн, знімна ґрунтоноска, гідравлічне транспортування, гідроударний пристрій, самозаклинювання керна.*

Вступ. Сучасний розвиток техніки і технологій спорудження свердловин різного промислового призначення супроводжується значним підвищенням

вимог до ефективності, надійності та функціональності спеціальних вибійних бурових пристроїв [1]. В позначених обставинах особливої уваги потребують прогресивні технічні рішення, які забезпечують поєднання безпосереднього руйнування гірських порід із виконанням інших додаткових технологічних операцій у привибійній зоні споруджуваної свердловини. Причому однією з найбільш значущих серед позначених нами операцій є отримання достовірної інформації про геологічну будову розкритого гірського масиву, що безпосередньо пов'язано з відбором кернового матеріалу [2].

Важливою складовою цілеспрямованого геологічного вивчення розрізу свердловини є відбір кернових зразків гірських порід. Отримані бурінням зразки використовуються для уточнення літологічного розчленування геологічного розрізу, оцінювання стану та властивостей гірських порід, а також для проведення подальших лабораторних досліджень. Кернові проби забезпечують можливість безпосереднього дослідження наявного речовинного складу, будови, текстурно-структурних особливостей, тріщинуватості та фізико-механічних властивостей гірських порід тощо. При цьому першочергового значення набуває неодмінне збереження природної структури та стану кернового матеріалу під час його формування на вибої, відриву, утримання і транспортування на поверхню [3].

Саме через вказані нами обставини доцільним напрямом ефективного удосконалення вибійних бурових пристроїв є створення таких конструкцій, які дозволяють поєднувати процес буріння з відбором, збереженням і транспортуванням кернового матеріалу [4]. Застосування технічних рішень позначеного спрямування дозволяє комплексно організувати процес буріння та кернового випробування свердловини, зменшити кількість допоміжних спуско-підіймальних операцій і забезпечити збереження відібраних зразків.

Враховуючи зазначене, вивчення конструктивних і технологічних особливостей виконання та принципів застосування інноваційних вибійних бурових пристроїв, здатних поряд із ефективним руйнуванням гірських порід забезпечувати якісний відбір і збереження кернових зразків [5], є актуальним науково-технічним та прикладним завданням.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Проведений аналіз сучасних технічних рішень у галузі розвідувального буріння з відбором керна свідчить, що розвиток відповідного обладнання відбувається переважно у напрямі підвищення повноти відбору керна, збереження його природного стану, скорочення допоміжних операцій та забезпечення стабільної роботи пристроїв у складних геолого-технічних умовах [6].

Необхідно підкреслити, що однією з головних проблем залишається забезпечення репрезентативності відібраного кернового матеріалу. Результати подальших лабораторних досліджень значною мірою залежать від того, наскільки стан зразка після вилучення відповідає його природному стану в масиві. Для глибоких свердловин проблема набуває ще більшого значення: при вилученні керна на поверхню зміна тиску та напруженого стану може призводити до втрати пластових флюїдів і помітної зміни фізико-механічних та фізико-хімічних властивостей зразка [7]. Разом із цим застосування спеціалізованих керноприймальних

пристроїв, які дозволяють максимально повно зберегти природний стан породних зразків, не усуває всіх можливих технічних суперечностей. Такі пристрої можуть мати значні габарити, складну будову внутрішніх механізмів та підвищені вимоги до надійності взаємодії окремих елементів. У дослідженнях присвячених керноприймальним пристроям прямо відзначається, що традиційні конструкції для збереження кернів можуть бути занадто складними й габаритними [8].

Невирішеною складовою порушеної тематики є також забезпечення більш високого рівня повноти відбору керна в нестійких, тріщинуватих, пухких та зруйнованих породах. При застосуванні традиційних керноприймальних пристроїв у таких умовах можливе руйнування кернового стовпчика та його розмивання промивальною рідиною [9]. Для вирішення цієї проблеми пропонуються, зокрема, спеціальні конструкції пристроїв, однак поява подібних рішень підтверджує, що питання захисту керна від гідродинамічного впливу потоку промивальної рідини залишається актуальним.

Не повністю вирішеною залишається і проблема стабільної роботи знімних керноприймальних пристроїв при збільшенні глибини свердловини, що закономірно супроводжується ускладненням умов роботи механізмів для відбору керна [10]. В означеному випадку стає важливим надійно утримувати знімний керноприймальний вузол вибійного пристрою, безпечно піднімати його на поверхню та забезпечувати стійку роботу всіх рухомих елементів.

Також окреме місце посідає складова скорочення часу непродуктивних спуско-підіймальних операцій. Перевага канатних уловлювачів полягає саме у можливості вилучення за їх допомогою керноприймального вузлу без підйому всієї бурильної колони. Разом із тим надійність такої схеми безпосередньо залежить від стану внутрішнього каналу бурильної колони, працездатності спеціального замкового механізму та можливості вільного переміщення керноприймальної частини вибійного пристрою.

Таким чином, проведений аналіз літературних джерел дозволяє виділити декілька взаємопов’язаних невирішених складових загальної проблеми: забезпечення максимально можливого збереження природного стану керна; зниження механічного та гідродинамічного впливу на нього; створення умов достатнього виходу кернового матеріалу в геологічно ускладнених гірських породах та надійної роботи керноприймального пристрою зі збільшенням глибини свердловини; скорочення часу спуско-підіймальних операцій; безперешкодне транспортування знімного керноприймального вузла; раціональне суміщення процесів руйнування породи, очищення вибою, формування, герметизації та вилучення кернових зразків [11]. Саме комплексне вирішення піднятих питань визначає необхідність подальшого детального вивчення особливостей виконання та застосування спеціальних вибійних бурових пристроїв нового конструктивного типу.

Мета статті: обґрунтування конструктивних і функціональних особливостей спеціального вибійного пробовідбірника, оцінювання умов формування, збереження та гідравлічного транспортування кернового матеріалу, а також визначення можливостей застосування гідроударних пристроїв для

інтенсифікації руйнування гірської породи, запобігання заклинюванню пробовідбірника та самозаклинюванню керна.

Обґрунтування вживання і опис вибраної авторами методики. Методика досліджень ґрунтується на конструктивно-функціональному аналізі пробовідбірника ПВП - 2 та оцінюванні основних процесів формування, збереження і гідравлічного транспортування керна. Для цього використано розрахункові залежності та результати стендових досліджень, що характеризують умови руйнування породи, рух очисного агента, навантаження на керн і переміщення знімної ґрунтоноски. Окремо розглянуто можливість застосування гідроударного пристрою для інтенсифікації руйнування породи та зниження ризику заклинювання пробовідбірника і самозаклинювання керна.

Виклад основного матеріалу дослідження. Враховуючи окреслену проблематику, подальший розгляд зосереджено на вивчені принципів функціонування спеціального вибійного пробовідбірника, конструкція якого орієнтована на комплексне поєднання операцій руйнування гірської породи, формування та збереження кернового матеріалу, що безпосереднім чином пов’язано з вирішенням частини технологічних питань, виділених раніше.

Розроблений безпосередньо за участю авторів пропонованої наукової статті пробовідбірний пристрій ПВП - 2 (Патент України № 163500), загальну конструктивну схему якого наведено на рис. 1, значно відрізняється своєю комплексністю.

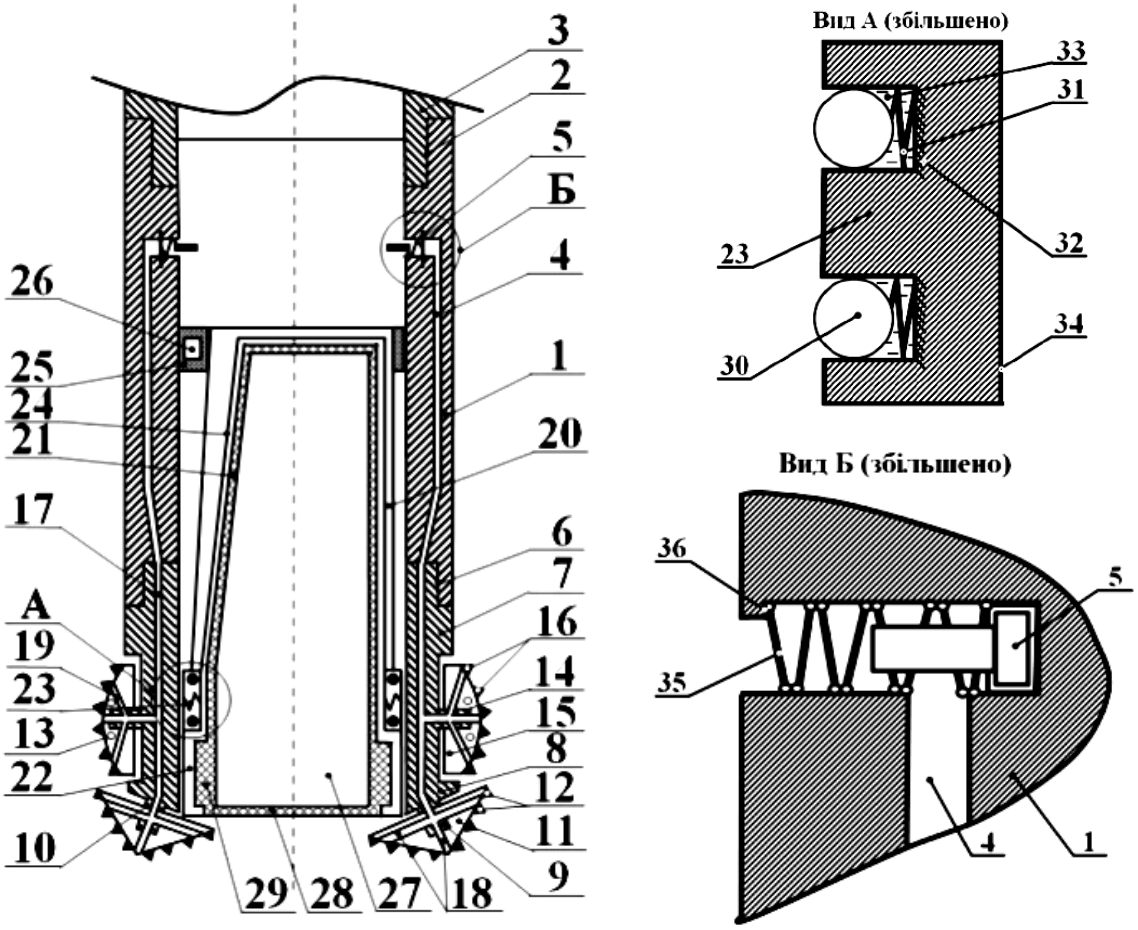


Рис. 1. Конструктивна схема пробовідбірника ПВП - 2

Головну основу пробовідбірника ПВП - 2 становить корпус 1, у нижній частині якого встановлено робочий ніпель 7 із породоруйнівним оснащенням. Усередині корпусу розміщено сталеву знімну ґрунтоноску 20, призначену для приймання та утримання кернового матеріалу. До її основних функціональних елементів належать пластиковий апарат-герметизатор 21 та підшипниковий вузол-центратор 23. Представлене компонування створює конструктивну основу для послідовного виконання операцій формування, відбору, збереження та подальшого транспортування кернового зразка.

Слід зауважити: загальна функціональна ідея пробовідбірника ПВП - 2 полягає у створенні єдиного механізму, в якому породоруйнівна та керноприймальна частини працюють взаємопов'язано. Додатковою особливістю є передбачена можливість гідравлічного транспортування знімної ґрунтоноски на поверхню всередині бурильної колони, що розширює функціональні можливості пробовідбірника та створює передумови для скорочення допоміжних операцій під час кернового випробування свердловини.

Подальший розгляд конструкції пробовідбірника ПВП - 2 доцільно здійснювати з урахуванням певного функціонального призначення його основних елементів та їх участі у технологічному процесі відбору кернового матеріалу. Основні структурні елементи пробовідбірника ПВП - 2 та їх функціональне призначення систематизовано в табл. 1.

Таблиця 1

Конструктивні елементи пробовідбірника ПВП - 2 та їх призначення

Номер позиції на схемі ПВП - 2	Назва конструктивного елементу	Основне функціональне призначення
1	Корпус пробовідбірника	Базовий несучий елемент для розміщення основних вузлів пристрою та організації циркуляції очисного агента
7	Робочий ніпель	Нижня робоча частина пристрою, у якій розміщено породоруйнівне оснащення
11	Конічні породоруйнівні шарошки	Руйнування гірської породи в торцевій привибійній зоні та формування умов для утворення кернового стовпчика
15	Опуклі породоруйнівні шарошки	Обробка бічної частини вибою та стінок формованої свердловини
20	Сталева знімна ґрунтоноска	Приймання, утримання та подальше транспортування кернового матеріалу
21	Пластиковий апарат-герметизатор	Забезпечення герметизації відібраного кернового зразка
23	Підшипниковий вузол-центратор	Центрування знімної ґрунтоноски, зменшення її небажаного обертання та забезпечення умов вільного переміщення
24	Клиноподібна бічна керноломна стінка	Створення умов для відриву сформованого кернового стовпчика

Наведене узагальнення (див. табл. 1) показує, що функціональна ефективність пробовідбірника ПВП - 2 визначається не окремими деталями, а їх узгодженою взаємодією в межах єдиного робочого процесу. Саме така побудова забезпечує послідовність операцій від руйнування гірської породи до приймання, збереження та подальшого вилучення кернового матеріалу.

Процес формування керна пробовідбірником ПВП - 2 починається після постановки останнього на вибій та входження породоруйнівних елементів у контакт із гірським масивом. Руйнування породи здійснюється конічними шарошками 11 торцевого розташування та опуклими шарошками 15, встановленими на бічній поверхні робочого ніпеля 7. Особливістю цієї стадії є робота породоруйнівних елементів без циркуляції очисного агента. При заглибленні конічних шарошок 11 у породу торцевий легкоплавкий диск 28 вакуумної ємності 27 поступово наближається до поверхні вибою. Водночас тертя породоруйнівних елементів об гірську породу спричиняє їх нагрівання, що використовується для забезпечення щільного контакту елементів апарата-герметизатора 21 з формованим керном. Після завершення початкової стадії вмикається режим прямої циркуляції очисного агента, потік якого через систему каналів спрямовується до торцевих і бічних шарошок, забезпечуючи очищення привибійної зони від шламу та охолодження породоруйнівного оснащення. Подальше поглиблення пробовідбірника супроводжується поступовим надходженням стовпчика керна до знімної ґрунтоноски 20.

Геометрично процес формування керну супроводжується руйнуванням кільцевого об’єму гірської породи навколо нього [12]. При поглибленні пробовідбірника відповідний об’єм зруйнованої породи визначається як добуток площі кільцевої зони руйнування на величину поглиблення

$$V_p = A_p h = \frac{\pi}{4}(D^2 - d_к^2)h\,, \qquad (1)$$

де V_p – об’єм гірської породи, що руйнується під час формування кернового стовпчика, м^3; A_p – площа кільцевої зони руйнування породи, м^2; h – величина поглиблення пробовідбірника у гірський масив, м; D – зовнішній діаметр зони руйнування, фактично діаметр формованої свердловини, м; $d_к$ – діаметр кернового стовпчика, м.

Подальший перебіг процесу буріння пов’язаний із роботою циркуляційної системи пробовідбірника ПВП - 2. Після надходження очисного агента з бурильної колони до корпусу пристрою 1 його рух спрямовується через внутрішні зворотні клапани 5 до фасонних проточних циркуляційних каналів 4, які сполучені з промивальними каналами робочого ніпеля 7. В робочому ніпелі 7 потік розподіляється між окремими напрямами. Через проточні канали 18, що проходять крізь похилі цапфи 10, очисний агент надходить до конічних шарошок 11 і далі спрямовується у привибійну зону свердловини. Одночасно через канали 19, які проходять крізь горизонтальні цапфи 14, потік подається до опуклих шарошок 15 та спрямовується у бік стінок свердловини. Така схема забезпечує очищення вибою і породоруйнівних зубців від продуктів руйнування, а також охолодження робочих елементів пробовідбірника.

Причому, з точки зору збереження кернового матеріалу важливим є те, що циркуляційна система функціонально пов'язана передусім із забезпеченням роботи породоруйнівних елементів та очищенням привибійної зони. В загальній схемі компонування пристрою це поєднується із завданням мінімізації механічного і гідравлічного впливу на відібраний керн.

Для кількісної характеристики умов руху очисного агента в окремих елементах циркуляційної системи доцільно розглядати середню швидкість потоку в окремих промивальних каналах (табл. 2) [13].

Таблиця 2

Схема руху очисного агента в циркуляційній системі пробовідбірника ПВП - 2 та функціональне призначення її основних ділянок

Ділянка циркуляційної системи	Напрям руху очисного агента	Функція
Зворотні клапани 5	Із внутрішньої порожнини корпусу до каналів 4	Перехід потоку до циркуляційної системи
Канали 4 і 17	Уздовж корпусу та робочого ніпеля	Підведення і розподіл потоку
Канали 18	До конічних шарошок 11	Очищення та охолодження торцевої зони
Канали 19	До опуклих шарошок 15	Очищення та охолодження бічної зони

Наведена схема (табл. 2) показує послідовний розподіл очисного агента між основними ділянками циркуляційної системи пробовідбірника ПВП - 2. Функціональне розмежування каналів забезпечує підведення потоку до торцевих і бічних породоруйнівних елементів та підтримання необхідних умов очищення і охолодження робочої зони.

Кількісно умови руху очисного агента в окремих промивальних каналах можуть бути охарактеризовані через середню швидкість потоку, яка визначається співвідношенням витрати рідини та площі поперечного перерізу відповідного каналу [14]

$$v_i = \frac{Q_i}{A_i} = \frac{4Q_i}{\pi d_i^2}, \tag{2}$$

де v_i – середня швидкість руху очисного агента в i-му каналі, м/с; Q_i – витрата очисного агента через відповідний канал, м^3/с; A_i – площа поперечного перерізу i-го каналу, м^2; d_i – внутрішній діаметр i-го каналу, м.

Для оцінювання безпосередньо гідродинамічного впливу потоку очисного агенту доцільно використати динамічний тиск:

$$p_{дин,i} = \frac{\rho v_i^2}{2} = \frac{8\rho Q_i^2}{\pi^2 d_i^4}, \tag{3}$$

де $p_{дин,i}$ – динамічний тиск потоку, Па; ρ – густина очисного агента, кг/м^3.

Наведені залежності дозволяють перейти від якісного опису циркуляційної системи до оцінювання режимних параметрів руху очисного агента [15]. Вони можуть бути використані для аналізу впливу геометрії промивальних каналів і витрати потоку на умови роботи пробовідбірника ПВП - 2.

Під час формування та подальшого транспортування кернового матеріалу важливим є збереження стійкого положення знімної ґрунтоноски 20 відносно корпусу 1 пробовідбірника. В конструкції ПВП - 2 це забезпечується підшипниковим вузлом-центратором 23, до складу якого входять кулеподібні центрувальні елементи 30, пружини стиснення 31, їх жорсткі кріплення 32 та консистентне мастило 33. Контакт вузла зі сталевою знімною ґрунтоноскою здійснюється через відповідну контактну поверхню 34. Функціональне призначення вузла-центратора 23 полягає не лише у внутрішньому центруванні ґрунтоноси; його застосування забезпечує виключення реактивного обертального руху ґрунтоноски, який може спричиняти руйнування кернового стовпчика, а також створює умови для її безперешкодного переміщення всередині бурильної колони під час гідравлічного підйому.

Таким чином, підшипниковий вузол-центратор 23 виконує відразу кілька взаємопов'язаних функцій: стабілізує положення знімної ґрунтоноски 20, обмежує її небажане обертання та забезпечує рухливість, необхідну для подальшого вилучення кернового матеріалу зі свердловини.

В міру заповнення знімної ґрунтоноски 20 сформований керновий стовпчик вступає у взаємодію з клиноподібною бічною керноломною стінкою 24. Внаслідок поступового вигину керна в його нижній частині зростають згинальні напруження, що за досягнення певного рівня призводять до відриву кернового зразка заданої довжини від гірського масиву, причому момент завершення цієї операції пов'язується з контрольованою глибиною занурення пробовідбірника в породу. Для аналітичного опису згинального навантаження кернового стовпчика можна використати залежність [16]:

$$\sigma_{зг} = \frac{M_{sc}}{W_{sc}}, \tag{4}$$

де $\sigma_{зг}$ – максимальне згинальне напруження в керновому стовпчику, Па; $\sigma_{зг}$ – згинальний момент, що виникає у керновому стовпчику внаслідок дії поперечної сили з боку клиноподібної керноломної стінки, Н·м; W_{sc} – момент опору поперечного перерізу керна, м^3.

Для кернового стовпчика круглого поперечного перерізу:

$$W_{sc} = \frac{\pi d_к^3}{W_{sc}}, \tag{4}$$

тоді

$$\sigma_{зг} = \frac{32M_{sc}}{\pi d_к^3}. \tag{5}$$

Якщо згинальний момент представити через поперечну силу F_{sc}, що виникає при взаємодії керна з керноломною стінкою, та відповідне плече l_{sc},

$$\sigma_{зг} = \frac{32F_{sc}l_{sc}}{\pi d_к^3}. \tag{6}$$

Після відриву кернового стовпчика процес промивання припиняється, а породоруйнівні елементи знову працюють без охолодження. Причому вказане супроводжується нагріванням привибійної частини пристрою та плавленням приливів 29 пластикового апарата-герметизатора 21. Утворений розплав розтікається по вибою та формує захисне покриття на нижній частині керна, завершуючи процес його герметизації [17].

Відповідно до конструктивних особливостей виконання пробовідбірника, очисний агент рухається кільцевим простором між стінками свердловини та бурильною колоною, а в привибійній частині – між свердловиною і корпусом 1 пробовідбірника. Спрацювання зворотних клапанів 5 унеможливлює рух потоку через канали 4, 17, 18 і 19, унаслідок чого очисний агент діє під торець знімної ґрунтоноски 20 та забезпечує її переміщення всередині бурильної колони до поверхні. При цьому швидкість транспортування знімної ґрунтоноски 20 визначається умовами руху очисного агента в бурильних трубах і за сприятливих гідравлічних умов може наближатися до швидкості потоку.

Для оцінювання умов такого транспортування доцільно враховувати співвідношення між геометричними параметрами знімної ґрунтоноски та внутрішнього каналу бурильної колони. Для гідротранспорту твердого тіла суттєве значення має параметр f_{sc}, який характеризує співвідношення площі потоку до міделевої площі транспортованого тіла. Зі зміною цього параметра відповідно змінюється і швидкість його переміщення у висхідному потоці.

$$f_{sc} = \frac{A_n}{A_{гр}}, \tag{7}$$

де A_n – площа прохідного перерізу потоку навколо знімної ґрунтоноски, м^2; $A_{гр}$ – міделева площа поперечного перерізу ґрунтоноски, м^2.

Для концентричного положення знімної ґрунтоноски:

$$A_n = \frac{\pi}{4}(D_в^2 - D_{гр}^2), \tag{8}$$

де $D_в$ – внутрішній діаметр бурильної колони, м; $D_{гр}$ – зовнішній діаметр знімної ґрунтоноски, м.

Визначені геометричні співвідношення безпосередньо впливають на умови руху знімної ґрунтоноски у висхідному потоці очисного агента. Для кількісної оцінки цього процесу доцільно використовувати швидкість її гідравлічного транспортування $v_{гр}$ (рис. 2), яка характеризує інтенсивність переміщення знімної ґрунтоноски всередині бурильної колони.

Наведена залежність показує, що зміна геометричного параметра транспортного каналу f_{sc} помітно впливає на швидкість гідравлічного переміщення знімної ґрунтоноски $v_{гр}$ (за умов застосування ньютонівських рідин). Варіаційні точки відображають можливі коливання швидкості за незмінного значення геометричного параметра, що може бути пов’язано зі зміною фактичних гідродинамічних умов транспортування.

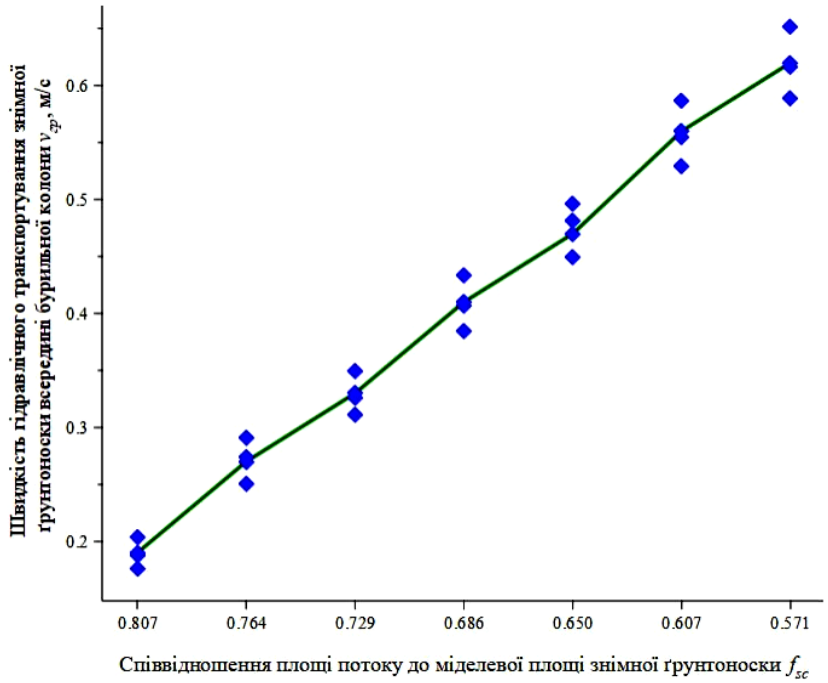


Рис. 2. Залежність $v_{гр} = f(f_{sc})$ при гідравлічному транспортуванні знімної ґрунтоноски

Слід зауважити, що окрім геометрії транспортного каналу, на умови гідравлічного переміщення знімної ґрунтоноски впливають фізичні характеристики розміщеного в ній кернового матеріалу. Одним із визначальних параметрів є щільність кернового матеріалу $\rho_к$, зміна якої призводить до зміни маси системи «ґрунтоноска – керн» і, відповідно, умов її переміщення висхідним потоком очисного агента. Для оцінювання характеру цього впливу доцільно розглянути залежність швидкості транспортування $v_{гр}$ від щільності кернового матеріалу $\rho_к$ (рис. 3).

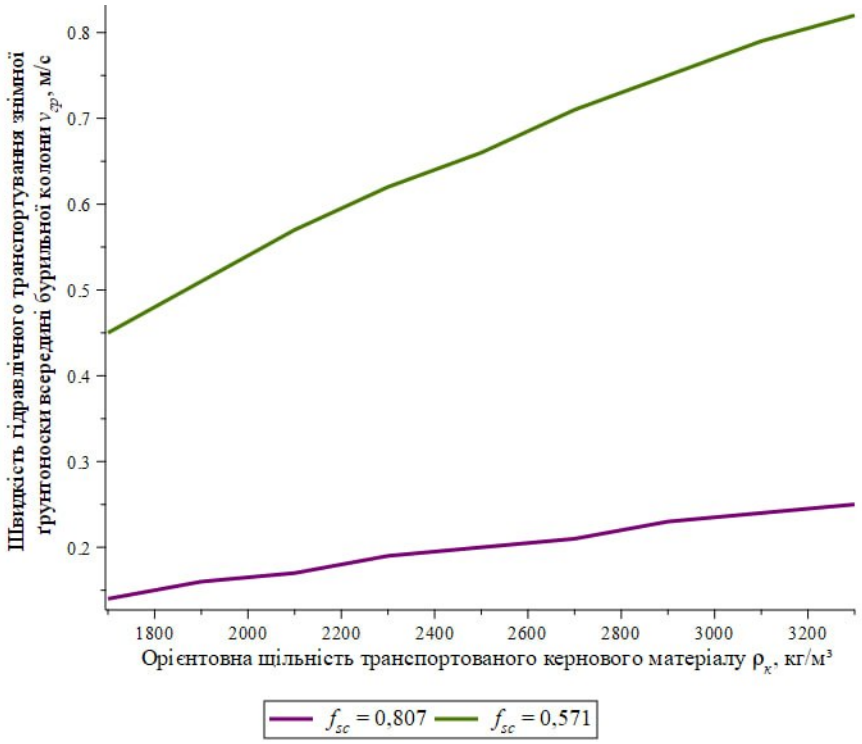


Рис. 3. Залежність швидкості гідравлічного транспортування знімної ґрунтоноски $v_{гр}$ від щільності кернового матеріалу $\rho_к$ при різних значеннях геометричного параметра f_{sc}

Представлений на рис. 3 графік показує, що зі збільшенням щільності кернового матеріалу $\rho_к$ швидкість гідравлічного транспортування знімної ґрунтоноски $v_{гр}$ зростає. Водночас характер залежності істотно визначається геометричним параметром f_{sc}: за меншого його значення швидкість переміщення ґрунтоноски є вищою в усьому розглянутому діапазоні $\rho_к$.

Разом з тим, аналіз лише умов гідравлічного транспортування знімної ґрунтоноски не вичерпує можливостей удосконалення роботи пробовідбірника. Під час буріння з відбором керна ефективність процесу визначається не тільки умовами переміщення ґрунтоноски, але й стійкістю роботи самого пробовідбірника, характером руйнування гірської породи на вибої та безперервністю надходження кернового матеріалу до ґрунтоноски. Особливої уваги потребують випадки роботи у тріщинуватих породах, коли уламки керна можуть розклинюватися у внутрішній порожнині ґрунтоноски, спричиняючи явище самозаклинювання керна, припинення поглиблення свердловини та необхідність передчасного підйому пробовідбірника.

Слід зауважити, що одним із можливих напрямів усунення зазначених обмежень є включення до компонування бурильної системи гідроударного пристрою, конструктивно сполученого з корпусом пробовідбірника [18]. В такому разі сформовані гідравлічні імпульси передаються на корпус пристрою та породоруйнівне оснащення, створюючи додатковий ударно-вібраційний вплив. Застосування гідроударного пристрою може бути спрямоване одночасно на інтенсифікацію процесу руйнування гірської породи на вибої, запобігання заклинюванню пробовідбірника у свердловині та зменшення ймовірності самозаклинювання керна у знімній ґрунтоносці (рис. 4) [19].



Рис. 4. Схема застосування гідроударного пристрою в системі буріння з відбором керна та основні результати його впливу

Представлена на рис. 4 схема узагальнює функціональну роль гідроударного пристрою (причому різних конструкцій) [20] у складі пробовідбірної системи та показує основні напрями його впливу на перебіг буріння; її застосування орієнтоване на підвищення стійкості роботи комплексу та підтримання безперервності відбору керна.

Комплексне поєднання в пробовідбірнику процесів руйнування породи, формування, герметизації та подальшого вилучення керна дає змогу організувати відбір проб без роз'єднання основних технологічних операцій. Гідравлічне транспортування знімної ґрунтоноски всередині бурильної колони скорочує потребу у спуско-підіймальних операціях, а передбачені конструкцією засоби герметизації сприяють збереженню відібраного кернового матеріалу. Таким чином, конструкція забезпечує суміщення буріння та кернового випробування в межах одного технологічного циклу, що сприяє скороченню допоміжних операцій і підвищенню загальної технологічної ефективності процесу спорудження свердловини.

Висновки. Проведене дослідження показало доцільність розгляду пробовідбірника ПВП - 2 як цілісної вибійної системи, робоча ефективність якої визначається узгодженістю механічних і гідравлічних процесів. Встановлено, що параметри транспортного каналу та властивості кернового матеріалу істотно впливають на умови переміщення знімної ґрунтоноски, а конструктивне виконання центрувального і герметизувального вузлів є важливим для стабільності відбору та збереження зразка. Перспективним напрямом подальшого вдосконалення визначено застосування гідроударного впливу через корпус пробовідбірника, що може підвищити стійкість роботи вибійної системи в ускладнених умовах.

Вдячність. Представлені результати отримано в межах виконання науково-дослідної роботи ініціативної тематики ІТ № 2 «Обґрунтування та оптимізація технологічних і екологічних аспектів процесу спорудження свердловин» (№ держреєстрації 0126U004113), що виконується за підтримки Міністерства освіти і науки України.

Перелік посилань

1. Al Dushaishi, M. F., Abbas, A. K., Al Saba, M. T., & Wise, J. (2025). Drilling optimization using artificial neural networks and empirical models. *ChemEngineering*, *9*(2), 37. https://doi.org/10.3390/chemengineering9020037
2. Hosseini, S., & Yagiz, S. (2026). Explainable ensemble machine learning for predicting the drilling rate of diamond core driller using SHAP and integrated graphic user interface. *Rock Mechanics and Rock Engineering*. https://doi.org/10.1007/s00603-026-05573-1
3. Avrantinis, N., Koukakis, P., & Avramidis, P. (2026). From geology to robotics: A review of next-generation autonomous drilling technologies for critical mineral exploration. *Geosciences*, *16*(4), 139. https://doi.org/10.3390/geosciences16040139
4. Коровяка, Є. А., & Ігнатов, А. О. (2020). Особливості гідротранспорту знімних керноприймачів. *Інструментальне матеріалознавство*, (23), 103–114.
5. Павличенко, А. В., Коровяка, Є. А., & Ігнатов, А. О. (2023). *Дослідження гідравлічних основ циркуляції технологічних рідин*. Журфонд. https://doi.org/10.33271/DUT.004
6. Basu, S., Jones, A., & Mahzari, P. (2020). Best practices for shale core handling: Transportation, sampling and storage for conduction of analyses. *Journal of Marine Science and Engineering*, *8*(2), 136. https://doi.org/10.3390/jmse8020136

7. McPhee, C., Reed, J., & Zubizarreta, I. (2015). Wellsite core acquisition, handling and transportation. *Developments in petroleum science* (p. 17–88). Elsevier. https://doi.org/10.1016/b978-0-444-63533-4.00002-0
8. Guo, D., Xie, H., Gao, M., Li, J., He, Z., Chen, L., Li, C., Zhao, L., Wang, D., Zhang, Y., Fang, X., Liu, G., Zhou, Z., & Dai, L. (2023). In-situ pressure-preserved coring for deep oil and gas exploration: Design scheme for a coring tool and research on the in-situ pressure-preserving mechanism. *Energy*, 129519. https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.129519
9. Li, J., Li, J., Wang, T., Liu, G., He, Z., Li, C., & Xie, H. (2025). Key techniques for precise measuring gas content in deep coal mine: In-situ pressure- and gas-preserved coring. *International Journal of Mining Science and Technology*. https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2025.03.004
10. Wang, J., Yu, M., Qian, D., Wan, B., Sun, Y., Chen, C., Peng, D., & Tang, Y. (2022). Optimisation of drainage performance of the thin-walled core barrel sealing technology for pressure preservation sampling. *Ocean Engineering*, *250*, 110996. https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.110996
11. Wang, W., Wang, S., Li, B., & Xiang, J. (2024). Development and application of a rope core hydraulic closed-core mechanism for loose and broken strata. *Applied Sciences*, *14*(23), 10849. https://doi.org/10.3390/app142310849
12. Heubeck, C., Beukes, N., de Kock, M., Homann, M., Javaux, E. J., Kakegawa, T., Lalonde, S., Mason, P., Mashele, P., Paprika, D., Rippon, C., Tice, M., Tucker, R., Tucker, R., Ndazamo, V., Christianson, A., & Kunkel, C. (2024). BASE (barberton archean surface environments) – drilling paleoarchean coastal strata of the barberton greenstone belt. *Scientific Drilling*, *33*(2), 129–172. https://doi.org/10.5194/sd-33-129-2024
13. Ramsey, M. S. (2019). *Practical wellbore hydraulics and hole cleaning*. Gulf Professional Publishing. https://doi.org/10.1016/c2018-0-01191-3
14. Chaudhry, M. H. (2014). *Applied hydraulic transients* (3rd ed.). Springer New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-8538-4
15. Ihnatov, A. O., Koroviaka, Y. A., Pavlychenko, A. V., Rastsvietaiev, V. O., & Askerov, I. K. (2023). Determining key features of the operation of percussion downhole drilling machines. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *1254*(1), 012053. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1254/1/012053
16. Aydan, Ö. (2019). *Rock mechanics and rock engineering. volume 1: Fundamentals of rock mechanics*. CRC Press. https://doi.org/10.1201/9780367822293
17. Ashena, R., & Thonhauser, G. (2018). *Coring methods and systems*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-77733-7
18. Ihnatov, A., & Askerov, I. (2026). Design and technological aspects of the operation of modern downhole devices for abrasive-mechanical percussion drilling. *Collection of Research Papers of the National Mining University*, *84*, 46–65. https://doi.org/10.33271/crpnmu/84.046
19. Ігнатов, А. О., Яворська, О. О., & Аскеров, І. К. (2025). Принципи роботи свердловинних гідравлічних ударних машин із керованим формуванням імпульсу. *Collection of Research Papers of the National Mining University*, *83*, 298–314. https://doi.org/10.33271/crpnmu/83.298
20. Ihnatov, A. O., Aziukovskyi, O. O., Stavychnyi, Y. M., Rybachuk, S. A., Askerov, I. K., & Sala, D. (2025). Development of promising technological solutions in the construction wells. *Naukovyi visnyk natsionalnoho hirnychoho universytetu*, (3), 65–74. https://doi.org/10.33271/nvngu/2025-3/065

ABSTRACT

Purpose. Rationale for the design features of a downhole core sampler and assessment of the potential use of hydraulic impact devices to improve the efficiency of core recovery and transportation.

Research methodology. The methodology involves a structural and functional analysis of the PVP - 2 core sampler using analytical relationships and bench-test results to assess rock-breaking processes,

core formation, and hydraulic core transportation. The potential use of a hydraulic impact device to prevent jamming of the core sampler and core self-jamming is also considered.

Research results. It was established that the efficiency of the PVP - 2 sampler is determined by the interaction of its rock-breaking, core-receiving and circulation components. Hydraulic transport of the core barrel is affected by transport channel geometry and core material density. The role of the centralizer assembly and sealing elements in stabilizing the position of the core barrel has been determined. The use of a hydraulic percussion device contributes to the intensification of rock destruction and reduces the risk of sampler jamming and core self-jamming.

Originality. The methods for comprehensive analysis of bottomhole samplers have been improved by accounting for the geometric parameters of the transport channel and the physical properties of the core material. A relationship governing the variation in hydraulic transport velocity v_{st} as a function of the channel geometric parameter f_{sc} and core material density ρ_c has been established: a decrease in f_{sc} from 0.807 to 0.571 results in an increase in v_{st} from approximately 0.19 to 0.62 m/s, while an increase in ρ_c within the range of 1800–3200 kg/m^3 leads to a further increase in v_{st}. The scientific principles concerning the application of hydraulic impact devices to intensify rock breakage and reduce the risk of sampler and core jamming have been further developed.

Practical implications. The obtained results can be used to substantiate the operating parameters of the PVP - 2 core sampler, improve the reliability of core recovery and hydraulic core transport, and assess the feasibility of using hydraulic percussion devices to reduce the risk of jamming.

Keywords: *core sampler, core, removable core barrel, hydraulic transport, hydraulic percussion device, core self-jamming.*

дата першого надходження статті до видання	13.04.2026
дата прийняття до друку статті після рецензування	24.05.2026
дата публікації (оприлюднення)	30.06.2026

© 2026. A. Ihnatov, V. Litvinov, I. Askerov
Published by the Dnipro University of Technology on behalf of Collection of Research Papers of the National Mining University. ISSN 2521-6635 (Online) | ISSN 2071-1859 (Print). This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits unrestricted reuse, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.