

© Б.Ю. Собко¹, М.О. Чебанов¹, Є.І. Сальник¹

¹ Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАСТОСУВАННЯ ЕКСКАВАТОРІВ ОБЛАДНАНИХ ГРУНТОВИМИ НАСОСАМИ ДЛЯ РОЗРОБКИ ОБВОДНЕНИХ РОЗСИПІВ

В. Sobko¹, <https://orcid.org/0000-0001-9533-5126>

М. Chebanov¹, <https://orcid.org/0000-0002-6681-2701>

Ye. Salnyk¹ <https://orcid.org/0009-0000-7893-9147>

¹ Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

RESEARCH INTO THE APPLICATION OF EXCAVATORS EQUIPPED WITH GROUND PUMPS FOR THE DEVELOPMENT OF WATERED OVERFLOWS

Мета. Провести дослідження застосування гідравлічних екскаваторів, що обладнані ґрунтовими насосами для розробки обводнених природних та техногенних розсипних родовищ.

Методологія. При виконанні роботи застосовані статистичний, аналітичний, графоаналітичний методи досліджень.

Результати досліджень. Проведений аналіз застосування засобів гідромеханізації що застосовуються для розробки обводнених природних родовищ та техногенних формувань мінеральної сировини. Для умов обводнених родовищ, локальних ділянок техногенних формувань (хвостосховищ), запропоновано застосування гідравлічних екскаваторів «обернена лопата» з ґрунтовим занурювальним насосом, що кріпиться на рукоятці стріли за допомогою швидкоземного пристрою. Встановленні параметри застосування гідравлічних екскаваторів з ґрунтовими насосами для розробки обводнених родовищ корисних копалин, в роботі проведені розрахунки ширини призми можливого обрушення гірських порід при розробці різнотипних гірських порід та отримані залежності їх зміни від висоти уступу, що розробляється. Доведено, що ширина призми можливого обрушення залежить від фізико-механічних властивостей гірських порід та висоти уступу, що розробляється. Зокрема при розробці піщаних та піщано-гравійних гірських порід ширина призми відповідно буде складати 10 та 12,6 м. При розробці родовища уступами потужністю від 5 до 10 м значення ширини призми обрушення змінюється від 2,5 м для піщаних порід до 9,6 м для глинистих порід. Таким чином, проведені дослідження дозволили встановити, що гідравлічні екскаватори з ґрунтовими насосами можуть застосовуватися для розробки обводнених родовищ корисних копалин при умові їх розміщення за межами призми можливого обрушення.

Наукова новизна. Встановлено залежності ширини призми можливого обрушення від висоти підводного уступу, що розробляється гідравлічним екскаватором з ґрунтовим насосом.

Практичне значення. Результати досліджень дозволяють визначати можливість застосування гідравлічних екскаваторів, що обладнані ґрунтовими насосами для розробки обводнених природних та техногенних розсипних формувань мінеральної сировини для різних типів гірських порід.

Ключові слова: гірська порода, обводнене родовище корисної копалини, хвостосховище, гідравлічний екскаватор, ґрунтовий насос.

Вступ. В наш час настала черга розробляти розсипні родовища, що глибоко залягають та мають складні гідрогеологічні та інженерно-геологічні умови.

Наприклад, на невідпрацьованих ділянках Малишевського титан-цирконієвого родовища, що знаходиться в Дніпропетровській області (Україна), рудний поклад знаходиться нище неогенового водоносного горизонту. Тут руда являє собою тонкозернистий глинистий пісок-пливун з малою водовіддачею, що не дозволяє застосовувати відомі методи водовідливу та осушення на робочих горизонтах кар'єру і відповідно розробляти родовище за допомогою класичних без транспортних та транспортних систем розробки з застосуванням екскаваторно - транспортних гірничих комплексів [1].

ТОВ "Мотронівський гірничо-збагачувальний комбінат" здійснює розробку обводненої Мотронівсько-Аннівської ділянки Малишевського родовища, яка введена в експлуатацію у 2018 році, і нині підприємство ще не повністю виходить на промислові потужності [2]. На кар'єрі комбінату застосовують гідро механізований комплекс: земснаряд (продуктивність 2000 м³/год) з гідротранспортом – плавучий та наземний пульпопровід (Ø 500 мм) для транспортування обводнених розкривних порід в карту наміву на відстань 400–500 м (рис.1).



Рис. 1. Загальний вигляд комплексу гідромеханізації в кар'єрі Мотронівського ГЗК

Також в Україні створені техногенні формування мінеральної титан – цирконової сировини – склади хвостів збагачення (хвостосховища). ТОВ "Кольорові метали" розробляє західну та східну ділянки родовища Балка Крута, яке є техногенним родовищем циркон-рутил-ільменітових рудних пісків Малишевського родовища з застосування засобів гідромеханізації [2].

Очевидно, що успішне освоєння таких родовищ потребує обґрунтування технологій гірничих робіт, які в найбільшій мірі відповідають властивостям обводнених гірських порід. Для умов обводнених родовищ необхідно обґрунтування застосування комплексів гідромеханізації для підводного видобутку корисних копалин.

Застосування гідромеханізації (земснарядів) при видобутку корисних копалин має відповідні переваги і недоліки.

Серед переваг можна відзначити: достатньо високу продуктивність за рахунок перекачування великих об'ємів гідросуміші за короткий період часу; поточність процесу розробки; можливість роботи у складних гірничо-геологічних умовах; дозволяє видобувати корисні копалини з обводнених техногенних формувань (хвостосховища, шламосховища) де відомі способи відкритої розробки складно застосувати; низькі витрати на транспортування пульпи в порівнянні з іншими видами транспорту; відносно низька собівартість розробки при великих об'ємах видобутку

До недоліків застосування гідромеханізації відносяться: обмеженість умов застосування; висока енергоємність робіт; застосування земснарядів ефективно переважно у сильно обводнених родовищах; залежність від рівня води та кліматичних умов; високі початкові витрати на обладнання; обмеження застосування по міцності гірських порід; необхідність залучення значних територій для складування гідропульпи.

Основна частина. Дослідження застосування гідромеханізації для розробки розсипних обводнених родовищ були направлені на обґрунтування раціональних технологічних схем освоєння мінеральної сировини з великими об'ємами розкривних робіт [3]. Однак, автори не розглядають застосування комплексів гірничого обладнання у складі гідравлічних екскаваторів та ґрунтових насосів.

Попередні дослідження роботи засобів гідромеханізації були здебільшого направлені на створення ефективних робочих органів земснарядів, режиму їх роботи та підвищенню продуктивності для глибоководного застосування [4–6].

Але в роботах автори не розглядають вплив параметрів вибою на продуктивність обладнання та область його застосування, несучої здатності обводнених гірських порід та можливість застосування гірничого обладнання з встановленими на них ґрунтовими насосами для умов розробки обводнених родовищ.

Різниця між земснарядом і гідравлічним екскаватором з ґрунтовим насосом полягає у способі видобутку, конструкції обладнання та умовах застосування.

Земснаряд – це спеціалізоване плаваюче обладнання працює безпосередньо на воді (на понтоні); застосовується при розробці обводнених корисних копалин; може працювати на більшій глибині. Має всмоктувальну трубу з розпушувачем або фрезою. Порода розпушується і одразу всмоктується насосом у вигляді пульпи та транспортується пульпопроводом. Земснаряд має досить високу продуктивність та використовується для великих об'ємів видобутку, хоча він мало мобільний; потребує монтажу, понтонів, якорів, пульпопроводів.

Екскаватор з ґрунтовим насосом.

Це звичайний гідравлічний екскаватор, на стрілі якого встановлений ґрунтовий насос. Екскаватор подає ґрунтовий насос у вибій, після чого насос всмоктує пульпу. Зазвичай працює з берега або з понтону; застосовується при невеликій глибині та локальних роботах. У екскаватора з насосом менша продуктивність, він більше підходить для невеликих або допоміжних робіт. Таке обладнання більш мобільне і універсальне, його можна швидко переміщати між ділянками. Усунути недоліки застосування гідромеханізації можливо шляхом удосконалення технології ведення робіт або застосування нового гірничого обладнання.

Для умов малообводнених родовищ, локальних ділянок техногенних формувань (хвостосховищ), днопоглиблюваних робіт можливе застосування гідравлічних екскаваторів «обернена лопата» з ґрунтовим насосом, що кріпиться на рукоятці стріли за допомогою швидкоземного пристрою.

В наш час розроблені різні конструкції обладнання «гідравлічний екскаватор – ґрунтовий насос». Так компанія Dragflow (Італія) пропонує самохідний земснаряд як мультифункціональне обладнання або земснаряд-амфібія, яке може працювати як у воді, так і на суші. Земснаряд має власну пересувну установку, тому він може дістатися місця роботи самостійно і може самостійно заходити у водойму так і виходити з неї без допомоги іншого обладнання. Розроблений для реалізації проектів, де умови експлуатації варіюються від мілководдя до дуже глибоких ділянок родовищ і де важлива надзвичайна мобільність. На рис. 2 наведено багатоцільовий гусеничний земснаряд серії DRM85/160 який є удосконаленим підходом до гірничої техніки видобувних робіт, яка може пересуватися як по суші, так і по воді. Конструкція корпусу забезпечує мобільність екскаватора-амфібії у поєднанні із стійкістю земснаряду без бортових понтонів. Надзвичайна рухливість у будь-якому середовищі, у поєднанні з повною плавучістю, дозволяють дістатися до найвіддаленіших місць розробки. Технічні характеристики гусеничного земснаряда: продуктивність по пульпі від 50 до 800 м³/год; глибина розробки від 0,5 метра до 7 метрів тип приводу енергоспоживання від 260 до 300 кВт, вага 20 т діаметр напірного пульповоду від 100 до 400 мм; пересування: своїм ходом; спосіб розробки у вибої: занурювальний насос із фрезою або розпушувачами.

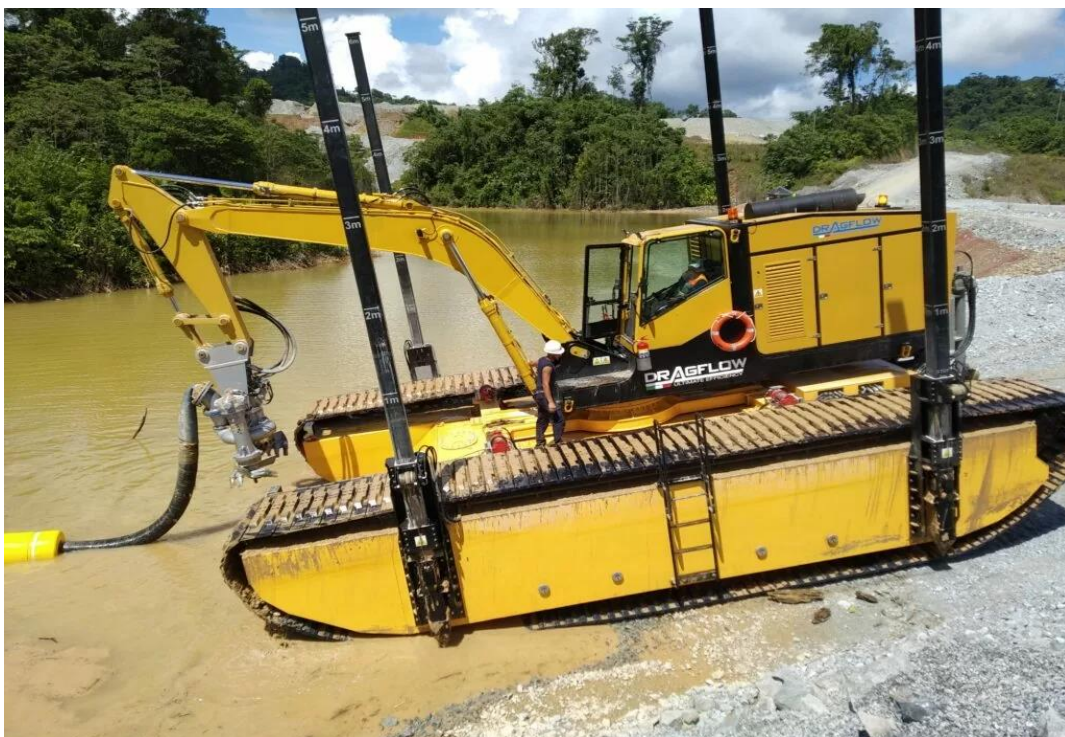


Рис. 2. Багатоцільовий гусеничний земснаряд серії DRM85/160

У зв'язку з відсутністю можливості застосування повномірного земснаряду на кар'єрах застосування ґрунтового насоса на стрілі екскаватора стає вирішенням задач осушення та розробки обводнених ділянок родовищ (рис. 3).



Рис. 3. Приклад застосування ґрунтового насоса на стрілі екскаватора в кар'єрі

Екскаватор з гідроприводом має ряд переваг спільного використання з насосом: необхідна силова установка, механізм пересування, відмінний механізм повороту, також за потребою стрілу екскаватора можна подовжити, до насосу додати гідрофрези тощо .

На рис. 4 наведено екскаватор SANY 245 з занурювальний ґрунтовым насосом HDSE. Насос є гідравлічним обладнанням, двигун і насос якого працюють коаксіально до середовища. Частини насоса виготовлені зі зносостійкого матеріалу з високим вмістом хрому, тому насос має хорошу зносостійкість та велику пропускну можливість. Він призначений для розробки та транспортування таких гідросередовищ, як обводнена руда, рудний шлам, вугільні пісковики, що містять великі тверді частки тощо.



Рис. 4. Екскаватор SANY 245 з занурювальний ґрунтовым насосом HDSE

Гідравлічні зносостійкі заглиблювальні ґрунтові насоси підходять для малих, середніх та великих гідравлічних екскаваторів вагою від 20 до 45 т. Ґрунтовий насос дозволяє створювати відповідний напір для транспортування гідросуміші на великі відстані. Робочий орган екскаватора з занурювальний ґрунтовим насосом та бічними розпушувачами може розробляти тверду гірську породу з максимальним розміром частинок 150 мм, а концентрація вилучення твердої рідини може становити понад 70 %. Пристрій встановлюється на екскаваторі, а потужність забезпечується гідравлічною станцією екскаватора, яка може здійснювати вільний перехід. Джерелом живлення є дизельний двигун, що може вирішити проблему з незручностями під час будівництва та експлуатації кар'єру віддаленому районі де відсутнє енергоживлення. Деталі насоса: корпус, робоче колесо, захисна дошка та змішувальне робоче колесо виготовляють з високохромного сплаву .

На рис. 5 наведено екскаватор Komatsu PC 210 LC з землесосом Dragflow HY85 HC.



Рис. 5. Екскаватор Komatsu PC 210 LC з землесосом Dragflow HY85 HC

Землесос Dragflow HY85 HC високопродуктивний ґрунтовий та шламований насос з гідравлічним приводом та бічними розпушувачами має продуктивність по пульпі – 800 м³/год; напір – 18 м; потужність – 115 кВт.

Дані насоси перекачують будь-які рідини - починаючи від брудної води до самої густої пульпосуміші, до складу якої входить велика концентрація твердих частинок. Насоси Dragflow – найкращий вибір для робіт, пов'язаних із підводним видобутком корисних копалин, а також землечерпальних робіт із поглиб-

лення русла різних водойм. Землесоси Dragflow встановлюються на екскаватори від 20 до 40 т і підключаються до їхньої гідросистеми.

При застосуванні на кар'єрах обладнання «екскаватор-грунтовий насос» з розробки обводнених ділянок виникає питання області його застосування для ріного типу гірських порід за їх міцністю та несучою здатністю.

У зв'язку з цим були проведені дослідження встановлення ширини призми можливого обрушення гірських порід при їх розробці з застосуванням екскаватора, що обладнаний занурювальний ґрунтовим насосом.

Ширини призми можливого обрушення гірських порід розраховується за виразом:

$$e = H_y \times (\text{ctg } \alpha_n - \text{ctg } \alpha_p), \text{ м,}$$

де H_y – висота уступу, м; α_p , α_n – відповідно кути укосів робочого і неробочого уступів, град.

Кут укосу неробочого обводненого уступу встановлено попередньо автотрами [3] експериментальним шляхом, який становить 27 град.

Згідно «Норм технологічного проектування гірничодобувних підприємств відкритим способом розробки корисних копалин» [7] в розрахунках прийняті кути укосів робочих уступів для різних типів гірських порід, що наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Кути укосів робочих уступів гірських порід

Піщані породи	Піщано-глинисті породи	Глинисті породи	Піщано-гравійні
30–35 град	40–45 град	45 град	35–40 град

Встановлені параметри ширини призми можливого обрушення гірських порід при їх розробці наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Параметри ширини призми можливого обрушення гірських порід

Висота уступу, H_y , м	Ширина призми можливого обрушення e , м			
	Піщані породи	Піщано-глинисті породи	Глинисті породи	Піщано-гравійні
5	2,5	3,8	4,8	3,1
7	3,5	5,4	6,7	4,4
10	5	7,7	9,6	6,3
12	6	9,2	11,5	7,6
15	7,5	11,5	14,4	9,4
20	10	15,4	19	12,6

На рис. 6 наведено встановлені залежності ширини призми можливого обрушення гірських порід від висоти уступу, що розробляється.

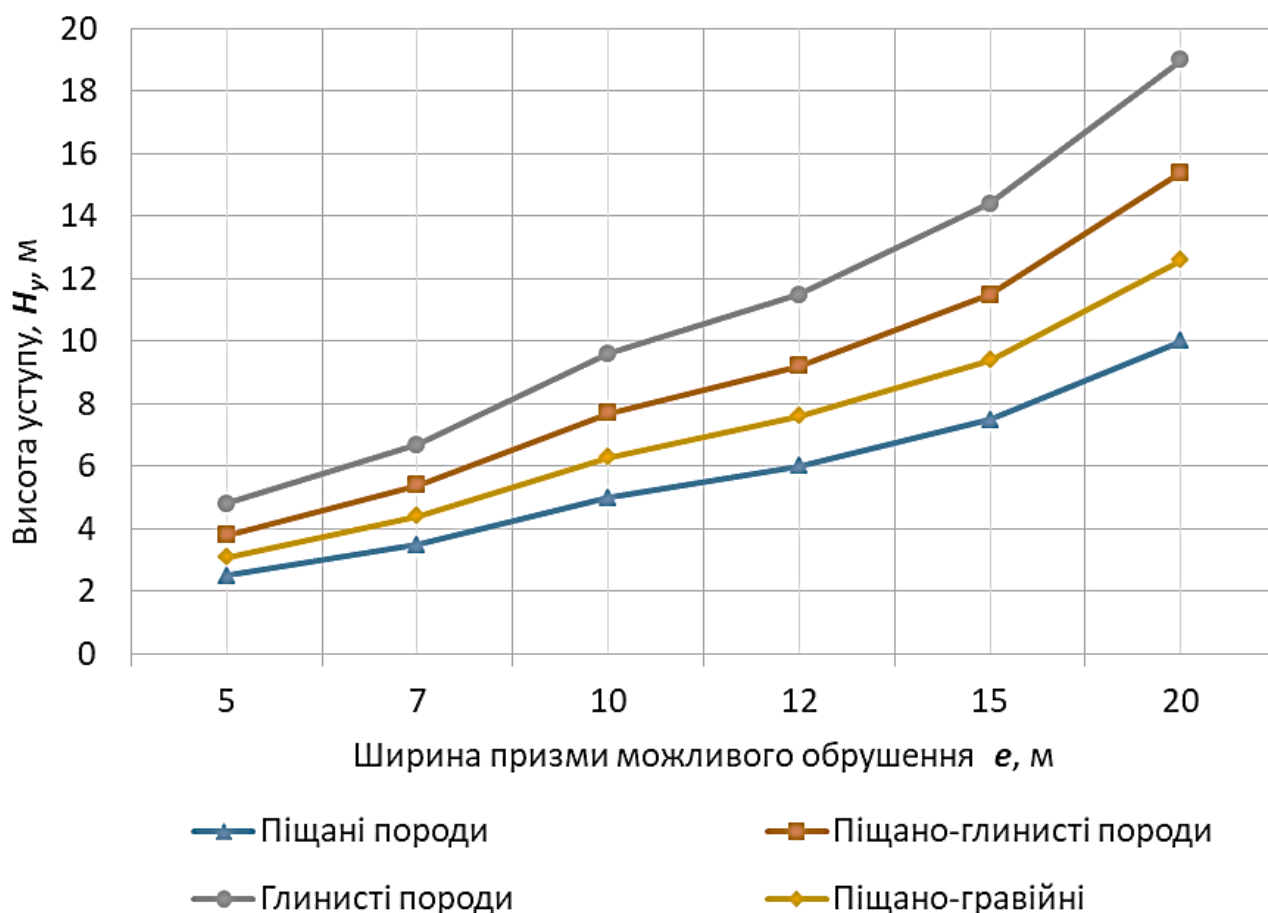


Рис. 6. Залежності ширини призми можливого обрушення гірських порід від висоти уступу

Аналіз отриманих залежностей, що наведені на рис. 6 показує, що ширина призми можливого обрушення залежить від фізико-механічних властивостей гірських порід та висоти уступу, що розробляється. Встановлено, що значний вплив на параметри призми можливого обрушення надає висота уступу. Так для глинистих порід при висоті уступу 20 м ширина призми обрушення буде становити 19 м, що виключає можливість застосування екскаваторів, облаштованих ґрунтовим насосом. В свою чергу при розробці піщаних та піщано-гравійних гірських порід ширина призми відповідно буде складати 10 та 12,6 м. При розробці родовища уступами потужністю від 5 до 10 м значення ширини призми обрушення змінюється від 2,5 м для піщаних порід до 9,6 м для глинистих порід.

Проведені дослідження дозволили встановити, що за отриманими параметрами ширини призми можливого обрушення для різних типів гірських порід, робочі параметрами гідравлічних екскаваторів, що обладнані занурювальними ґрунтовими насосами дозволяють їх застосування, при розробці обводнених родовищ.

На рис. 7 наведено принципову схему роботи гідравлічного екскаватора з занурювальним ґрунтовим насосом при розробці обводнених гірських порід.

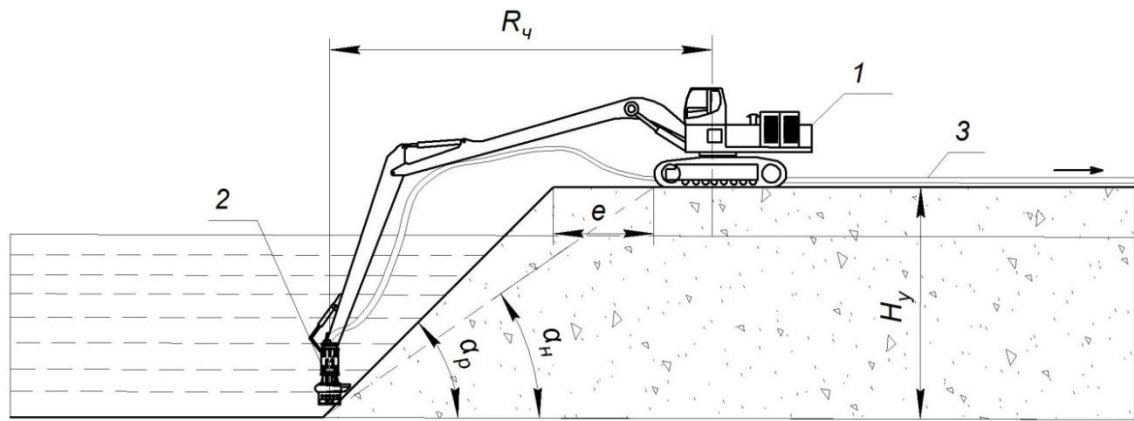


Рис. 7. Схема роботи гідравлічного екскаватора з занурювальним ґрунтовим насосом

Висновки. Проведено аналіз застосування гірничого обладнання для розробки обводнених корисних копалин.

Запропоновано, для умов малообводнених родовищ, локальних ділянок техногенних формувань (хвостосховищ), днопоглиблюваних робіт можливе застосування гідравлічних екскаваторів «обернена лопата» з ґрунтовим занурювальним насосом, що кріпиться на рукоятці стріли за допомогою швидкоземного пристрою.

Для встановлення можливості застосування гідравлічних екскаваторів, що обладнані ґрунтовими занурювальними насосами для розробки обводнених родовищ корисних копалин, в роботі проведені розрахунки ширини призми можливого обрушення гірських порід при розробці різнотипних гірських порід та отримані залежності їх зміни від висоти уступу, що розробляється.

Встановлені залежності демонструють, що ширина призми можливого обрушення залежить від фізико-механічних властивостей гірських порід та висоти уступу, що розробляється. Зокрема при розробці глинистих порід при висоті уступу 20 м ширина призми обрушення буде становити 19 м, що виключає можливість застосування екскаваторів, обладнаних ґрунтовим насосом. В свою чергу при розробці піщаних та піщано-гравійних гірських порід ширина призми відповідно буде складати 10 та 12,6 м. При розробці родовища уступами потужністю від 5 до 10 м значення ширини призми обрушення змінюється від 2,5 м для піщаних порід до 9,6 м для глинистих порід.

Таким чином, проведені дослідження дозволили встановити, що гідравлічні екскаватори з ґрунтовими насосами можуть застосовуватися для розробки обводнених родовищ корисних копалин при умові їх розміщення за межами призми можливого обрушення.

Для кожного з видів гірничого обладнання необхідно визначати область його застосування для гірничотехнічних умов обводненого родовища, що розробляється.

Перелік посилань

1. Собко, Б.Ю. (2009). Особливості відкритої розробки розсіпних родовищ України. *Науковий вісник НГУ*, (4), 13–16.
2. Ганжа, О., Кузьманенко, Г., Охоліна, Т., & Ремезова, О. (2022). Сучасний стан мінерально-сировинної бази розсіпних родовищ титану України. *Вісник КНУ ім. Шевченка, Геологія*, 4(99), 60–66. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.99.08>

3. Гайдін, А.М., Собко, Б.Ю., & Лазніков, О.М. (2016). *Розробка обводнених родовищ титанових руд*. Літограф.
4. Sarkar, M. K., Bose, N., Chai, S., & Dowling, K. (2011). Conceptual Design of a Submersible Remotely Operated Swimming Dredger (SROSD). *Volume 6: Ocean Engineering*, 671–679. <https://doi.org/10.1115/omae2011-49868>
5. Li, Z., Yang, Z., Guo, Z., & Zhang, L. (2025). Construction of Cutting Resistance Model for Excavating Hard Clay with Drag Suction Dredger. *E3S Web of Conferences*, 666, 1003. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202566601003>
6. Yuan, J., Yang, K., Yang, T., Xu, H., Xiong, T., & Fan, S. (2025). Predictive Study on the Cutting Energy Efficiency of Dredgers Based on Specific Cutting Energy. *Journal of Marine Science and Engineering*, 13(3), 598. <https://doi.org/10.3390/jmse13030598>
7. Голярчук, М.Г., Квітка, В.І., & Воробйов, А.І. (2007). *Норми технологічного проектування гірничодобувних підприємств із відкритим способом розробки родовищ корисних копалин / Частина 1. Гірничі роботи. СОУ-Н МПП 73.020-078-1:2007*. Мінерал.

ABSTRACT

Purpose. To conduct a study of the use of hydraulic excavators equipped with soil pumps for the development of watered natural and technogenic alluvial deposits.

The methods. Statistical, analytical, and graph-analytical research methods were used in the work.

Findings. An analysis of the use of hydromechanization tools used for the development of watered natural deposits and technogenic formations of mineral raw materials was conducted. For the conditions of watered deposits, local areas of technogenic formations (tailing ponds), dredging works, the use of hydraulic excavators "reverse shovel" with a submersible soil pump mounted on the boom handle using a quick-release device was proposed. The parameters of the use of hydraulic excavators with ground pumps for the development of water-fed mineral deposits have been established, the work has calculated the width of the prism of possible rock collapse when developing different types of rocks and obtained the dependence of their change on the height of the developed ledge. It has been proven that the width of the prism of possible collapse depends on the physical and mechanical properties of the rocks and the height of the developed ledge. In particular, when developing sandy and sandy-gravel rocks, the width of the prism will be 10 and 12.6 m, respectively. When developing a deposit with ledges with a thickness of 5 to 10 m, the value of the width of the collapse prism changes from 2.5 m for sandy rocks to 9.6 m for clay rocks. Thus, the conducted research allowed us to establish that hydraulic excavators with ground pumps can be used for the development of watered mineral deposits provided that they are located outside the prism of possible collapse.

The originality. The dependence of the width of the prism of possible collapse on the height of the underwater ledge developed by a hydraulic excavator with a ground pump was established.

Practical implementation. The results of the research allow us to determine the possibility of using hydraulic excavators equipped with ground pumps for the development of watered natural and man-made placer formations of mineral raw materials for various types of rocks.

Keywords: *rock, watered mineral deposit, tailings pond, hydraulic excavator, ground pump.*

дата першого надходження статті до видання	14.01.2026
дата прийняття до друку статті після рецензування	19.02.2026
дата публікації (оприлюднення)	30.03.2026

© 2026. B. Sobko, M. Chebanov, E. Salnik

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.