

І.Д. Литвинчук, аспірант
О.О. Фролов, д.т.н., проф.*Національний технічний університет України*
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Встановлення закономірностей зміни продуктивності розпушувача від гранулометричного складу флювіогляціальних відкладів

Наведено результати наукових досліджень зі встановлення впливу гранулометричного складу піщано-гравійної маси флювіогляціальних відкладів на продуктивність розпушувача для умов Соснівського родовища гранітів.

За результатами аналізу наукових досліджень і публікацій з питань визначення ефективності виконання процесу розпушення гірських масивів встановлено, що при розрахунку продуктивності розпушувача неможливо врахувати гранулометричний склад порід у природному стані. В той же час розмір фракційних шматків зцементованої та ущільненої піщано-гравійної маси суттєво впливає на вибір типу розпушувального обладнання.

На підставі практичного досвіду та наукових досліджень з вивчення особливостей розробки флювіогляціальних відкладів запропоновано, під час визначення продуктивності розпушувача, враховувати гранулометричний склад піщано-гравійної маси в її природному стані через певні складові вже існуючих формул. А саме: значення коефіцієнта, який враховує вплив стану масиву на розмір незруйнованих гребнів, та ширину основи прорізу після проходки розпушувача рекомендовано обирати залежно від середньозваженого розміру шматка піщано-гравійно-валунної маси.

Для існуючих природних і технологічних умов розробки флювіогляціальних відкладів на Соснівському кар'єрі та характеристик застосовуваного робочого обладнання визначено продуктивність розпушення для різних значень середньозваженого розміру шматка породи. Встановлено, що при зміні розміру середньозваженого шматка з 5 до 400 мм продуктивність розпушувача зменшується з 583,33 до 308,54 м³/год, тобто у 1,9 раза. На досліджуваній ділянці розкривного уступу продуктивність розпушувача буде становити 370 м³/год, оскільки середньозважене значення розміру шматка піщано-гравійно-валунної маси становить 171 мм.

Ключові слова: механічне розпушення порід; гравійно-піщана маса; флювіогляціальні відклади; розкривний уступ; бульдозер-розпушувач; продуктивність.

Постановка проблеми та її зв'язок з важливими практичними завданнями. Під час виймання флювіогляціальних відкладів на деяких родовищах скельних будівельних порід можуть виникати певні ускладнення, які пов'язані з технологією їх розробки. Незважаючи на значну кількість існуючих технологій та технологічних схем з розробки флювіогляціальних відкладів сфера їх ефективного застосування обмежується умовами залягання гравійно-піщаної маси (обводненість масиву, наявність (відсутність) валунів, фракційний склад), технологічними параметрами робочого майданчика (відстань переміщення гірничої маси та достатній фронт гірничих робіт) та наявністю необхідного виймально-навантажувального обладнання [1].

На кар'єрі Соснівського родовища гранітів флювіогляціальні відклади розміщені на розкривному уступі, а гірський масив на окремих ділянках розкриву складається з 40–80 % гравію та валунів [2]. Виймально-навантажувальне обладнання кар'єру за своїми технічними характеристиками не в змозі виконати розробку шару гравійно-піщаного гірського масиву. При спробі виконати підготовку до виймання буропідривним способом відбувається заклинування бурових штанг у гірському масиві, тобто буріння вибухових свердловин неможливе. Тому, на підставі аналізу стану гірничих робіт, технічних характеристик існуючого обладнання, існуючих технологічних схем відробки гравійно-піщаних відкладів, запропоновано технологію розробки флювіогляціальних відкладів за допомогою бульдозерно-екскаваторно-автомобільного комплексу устаткування з попереднім механічним розпушенням гірських порід бульдозером-розпушувачем [3].

Оскільки в запропонований комплекс обладнання входять три окремі структурні одиниці (бульдозер-розпушувач, екскаватор, автосамоскид), то під час оцінки ефективності його роботи доцільно визначати продуктивність усього технологічного комплексу [4], а саме: продуктивність бульдозера-розпушувача необхідно узгоджувати з продуктивністю екскаватора та автотранспорту. Варто також зауважити, що бульдозер-розпушувач сам собою також є окремим комплексом устаткування – розпушувач та відвальне обладнання [5]. Тому встановлення продуктивності механічного розпушення флювіогляціальних

відкладів залежно від їх гранулометричного стану є актуальною науково-технічною задачею, розв'язання якої дозволить виявити ефективну сферу застосування запропонованого комплексу обладнання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Механічне розпушення масиву за допомогою бульдозера-розпушувача належить до одного зі способів підготовки гірських порід до виймання [6]. Тому в науковій та інженерно-технічній літературі це питання достатньо широко висвітлено [7, 8]. Наведено типи обладнання та робочих органів розпушувача, їх конструкцію, основні технологічні параметри, а також технологію і технологічні схеми розпушувальних робіт залежно від властивостей гірського масиву [9].

Згідно з [8] до переваг використання розпушувачів належить: достатньо висока економічність; безпека виконання робіт; відсутність сейсмічної дії на гірський масив та споруди; можливість регулювання кусковатості гірничої маси; висока маневреність та мобільність розпушувального обладнання в обмежених умовах робочого майданчика та ін. До недоліків використання механічного розпушення варто зарахувати неможливість та/або неефективність їх застосування для підготовки до виймання слаботріщинуватих та монолітних скельних гірських порід.

У наукових працях академіка В.В. Ржевського наведено класифікацію гірських порід за ступенем розпушення, в якій наявні також можливі технологічні параметри цього процесу.

Таблиця 1

Класифікація гірських порід за ступенем розпушення

Гірські породи	Показник важкості руйнування P_p	Акустичні характеристики порід*		Ступінь розпушення порід	Кут нахилу стінок прорізу α , град.	Технічна швидкість розпушення v_p , м/с	Можливе заглиблення зуба розпушувача h_z , м
		v_k , м/с	$A_i = \frac{v_m^2}{v_k^2}$				
Щільні породи з включенням валунів, вугілля, зцементована піщано-гравійна маса, порушені сланці	0,5–2,2	600–1200	0,6–0,9	Легко-розпушувані	60–50	0,9–1,5	1,0–0,8
М'який вапняк, сланці, мергель, крейда, гіпс, затверділі глини. Сильнотріщинуваті щільні вапняки, піщаники, сланці	2,2–4,5	1000–2000 2500–4500	0,6–0,9 < 0,4	Середньо-розпушувані	55–45	0,8–1,2	0,8–0,6
Середньотріщинуваті вапняки, доломіти, піщаники, мармур, глинисті сланці. Мількошаруваті щільні вапняки, породи потужністю до 0,2–0,3 м	4,5–7,0	2000–2500 4000–6000	0,4–0,6 > 0,6	Важко-розпушувані	50–40	0,4–0,8	0,6–0,2
Малотріщинуваті вапняки, піщаники та більш щільні породи	> 7	> 3500	> 0,6	Дуже важко розпушувані	-	-	-

Примітка: v_k , та v_m , – швидкості розповсюдження позадвожних пружних хвиль відповідно в породному шматку та масиві; A_i – акустичний показник тріщинуватості гірських порід

Розрахунок процесу рихлення зводиться до вибору і встановлення основних параметрів розпушувача, розрахунку на міцність розпушувального обладнання [10], обґрунтування конструкції та розрахунку приводу керування і завершується визначенням продуктивності розпушувального агрегату та його техніко-економічних показників залежно від схеми руху бульдозера-розпушувача.

В загальному вигляді формула для технічної продуктивності розпушування має вигляд:

$$P_T = \frac{3600V_p K_y K_k}{T_{цр}}, \text{ м}^3/\text{ГОД}, \quad (1)$$

де V_p – об'єм розпушеного ґрунту, м³; K_y – коефіцієнт, що враховує ухил місцевості; K_k – коефіцієнт, що враховує кваліфікацію машиніста, приймається $K_k = 0,65 \dots 0,85$; V_p – об'єм розпушеного ґрунту, м³; $T_{цр}$ – тривалість циклу роботи розпушувача, с.

Дослідники О.А. Лукашук та А.П. Комісаров пропонують продуктивність розпушувача також визначати як

$$Q_p = \frac{0,001v_p B h_p}{Z}, \text{ м}^3/\text{Год}, \quad (2)$$

де v_p – розрахункова швидкість руху розпушувача, км/год; B – ширина шару розпушення, м; h_p – середня глибина розпушення порід, м; Z – кількість проходів розпушувача по одному місці.

Як ми бачимо наведені вище формули не враховують ні конструктивні особливості робочого обладнання, ні технологічної схеми розробки, ні властивості гірських порід, що підлягають розпушенню.

Більш повне врахування означених складових відображено у [11]. Зокрема, за найбільш поширеного способу виробництва робіт, а саме зворотно-поступального способу, технічну продуктивність розпушувача можна визначити за такою формулою

$$\Pi_T = \frac{K_{\Pi} B l h_{\text{сер}}}{\left[0,001 \left(\frac{l}{v_{\text{рх}}} + \frac{l}{v_{\text{ок}}} \right) + t_{\text{мп}} \right] n_{\text{сер}}}, \text{ м}^3/\text{Год}, \quad (3)$$

де K_{Π} – коефіцієнт перекриття, приймається $K_{\Pi} = 0,75$; B – ширина розпушування за один прохід, м; l – довжина робочої ділянки, м; $h_{\text{сер}}$ – середня глибина розпушування, м; $v_{\text{рх}}$ – середня швидкість робочого ходу, км/год; $v_{\text{ок}}$ – швидкість зворотного ходу, км/год; $t_{\text{мп}}$ – час перемикання передач і заглиблення робочого органу ($t_{\text{мп}} = 0,003 \dots 0,004$), год; $n_{\text{сер}}$ – кількість проходів по одному сліду.

В [8] експлуатаційну продуктивність розпушування пропонується розраховувати таким чином:

$$\Pi_p = \frac{3600 L b h}{T_{\text{ц}} n}, \text{ м}^3/\text{Год}, \quad (4)$$

де L – довжина паралельного ходу ділянки розпушування, м; b – середня ширина смуги розпушування за один цикл при кількості зубів більше одного або крок сусідніх борозн при розпушуванні одним зубом, м; h – глибина ефективного розпушування, м; $T_{\text{ц}}$ – тривалість циклу розпушування, с; n – кількість проходів по одному місцю.

У зазначених формулах (3) та (4) стан та властивості гірського масиву можна опосередковано враховувати через розрахунок ширини смуги розпушування та її глибини, вирази яких наведено в посиланнях. Однак врахувати гранулометричних склад гірського масиву, що підлягає розпушенню, неможливо.

Ціла низка відомих науковців минулих часів, зокрема В.В. Ржевський, М.М. Рогатин, П.І. Томаков та ін., а також автори роботи [12] надають більш розширену формулу для визначення продуктивності розпушення, яке виконується паралельними суміжними ходами розпушувача, але проблема врахування стану та характеристики масиву також залишається невирішеною [12]:

$$\Pi_p = \frac{3600 C h_c k_{\text{вр}}}{\frac{1}{v_p} + \frac{t_{\text{пер}}}{L}}, \text{ м}^3/\text{Год}, \quad (5)$$

де C – відстань між суміжними ходами (знаходиться в межах 1,1...1,6), м (рис. 1); h_c – глибина ефективного рихлення, м; $k_{\text{вр}} = 0,7 \dots 0,8$ – коефіцієнт використання робочого часу розпушувача; v_p – робоча швидкість руху розпушувача (для легко-, середньо- та важкорозпушуваних порід вона становить 1–1,5; 0,8–1,2; 0,5–0,9, відповідно), м/с; $t_{\text{пер}}$ – тривалість переїзду розпушувача на наступну борозну (при човникових ходах $t_{\text{пер}} = 30 \dots 50$), с; $L = 100 \dots 300$ – довжина паралельної борозни, м.

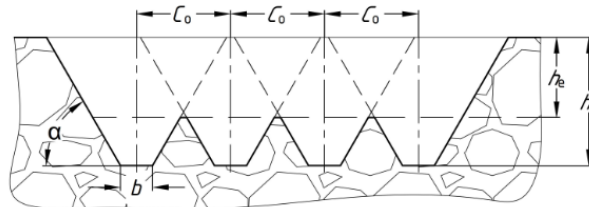


Рис. 1. Схема розпушення гірського масиву при паралельних суміжних проходах розпушувача

Глибина ефективного рихлення при паралельних ходах розпушувача визначається за формулою:

$$h_c = \frac{1}{k_2} \left[k_1 h_3 - \frac{\text{tg} \alpha}{2} (C - b) \right], \quad (6)$$

де k_1 – коефіцієнт, що враховує форму поперечного перерізу борозни (табл. 2) [12]; k_2 – коефіцієнт, що враховує вплив стану масиву на розміри незруйнованих гребенів; h_3 – глибина заглиблення зуба, м; b – ширина основи борозни, м; b_1 – ширина наконечника розпушувача, м; α – кут нахилу бокових стінок борозни змінюється в межах 40–60° залежно від міцності породи і параметрів наконечника.

Значення технологічних показників розпушення

Характеристика порід за тріщинуватістю в масиві	Показники		
	k_1	k_2	b
Малотріщинуваті	0,75–0,90	0,95–1,00	(1,5...2,0) b_1
Середньотріщинуваті	0,90–1,00	0,90–0,95	(2,0...3,5) b_1
Сильнотріщинуваті	1,00	0,8–0,9	(3,5...6,0) b_1

Важливо зазначити, що розпушувачі доцільно застосовувати в комплексі з бульдозерами, скреперами, навантажувачами, які проводять пошарову виїмку розпушеної гірничої маси. В схемах з попереднім штабелюванням гірничої маси для подальшого відвантаження її екскаватором передбачається використання бульдозера-розпушувача. Оскільки бульдозерне обладнання та розпушувач навішуються на одному тяговому агрегаті, то процеси розпушення і штабелювання порід виконуються послідовно, змінюючи один одного. При такій роботі бульдозера-розпушувача впродовж зміни має дотримуватися умова

$$P_p t_1 = P_b t_2, \quad (7)$$

де P_p – продуктивність розпушувача, м³/год; P_b – продуктивність бульдозера, м³/год; t_1 та t_2 – відповідно кількість годин у зміні, які витрачені на виконання процесів розпушення та штабелювання гірничої маси, год.

У цьому разі змінну експлуатаційну продуктивність бульдозера-розпушувача визначають з виразу

$$Q_{зм} = \frac{P_p P_b T_{зм} k_b}{P_p + P_b}, \text{ м}^3/\text{зм}, \quad (8)$$

де $T_{зм}$ – тривалість робочої зміни, год; k_b – коефіцієнт використання обладнання впродовж зміни.

Наведений аналіз формул з визначення продуктивності розпушувача свідчить, що в цілому вони є більш-менш ідентичними та враховують основні параметри технологічного процесу розпушення. Однак під час розпушення такого гірського масиву, як флювіогляціальні відклади, необхідно також враховувати їх гранулометричний склад, який суттєво може вплинути на продуктивність розпушувача.

Мета дослідження. На підставі аналізу наукової, навчальної та інженерної літератури з питань розрахунку технологічного процесу розпушення гірського масиву та виробничо-дослідницького досвіду розробки піщано-гравійних родовищ сформульовано мету досліджень, яка полягає у встановленні закономірностей зміни продуктивності розпушувача від гранулометричного складу флювіогляціальних відкладів на кар'єрі, що підлягають розпушенню.

Викладення основного матеріалу. Детальний аналіз інженерної та наукової літератури показав, що під час визначення технологічних та техніко-економічних параметрів процесу розпушування існують певні недоліки, які пов'язані з неможливістю врахування початкового гранулометричного складу гірського масиву в щільному тілі. Зокрема, це стосується піщано-гравійної маси флювіогляціальних відкладів. Найбільш повне врахування стану масиву відображене у складових формули (5). Тому для подальших наукових досліджень, визначених метою роботи, приймемо її за основу при дещо іншому погляді на характеристики розпушування з врахуванням досвіду попередніх науковців. У зв'язку з цим, узагальнена формула продуктивності розпушувача при паралельних проходах має такий вигляд:

$$Q_p = \frac{3600 C_o h_c k_b}{\frac{1}{v_p} + \frac{\tau}{L}}, \text{ м}^3/\text{год}, \quad (9)$$

де C_o – оптимальна відстань між суміжними проходами розпушувача, м; h_c – глибина ефективного розпушування, м; k_b – коефіцієнт використання розпушувача ($k_b = 0,7...0,8$); v_p – технічна швидкість розпушувача ($v_p = 0,9...1,5$), м/с; τ – час переїзду розпушувача до наступної борозни, с (при човникових заходах $\tau = 30-60$ с); L – довжина паралельного ходу розпушування, м.

Згідно з рекомендаціями [8] та проф. Н.А. Малишевої, оптимальну відстань між суміжними проходами розпушувача можна визначити за формулою

$$C_o = \frac{k_1 h_3}{\text{tg} \alpha} + \frac{b}{2}, \text{ м}, \quad (10)$$

де k_1 – коефіцієнт, що враховує форму поперечного перерізу борозни ($k_1 = h_{ш} / h_3$, де $h_{ш}$ – висота утвореної щілини, м); h_3 – максимальна глибина заглиблення зуба розпушувача, м; α – кут нахилу бічних стінок прорізу, град.; b – ширина основи прорізу, м.

Глибина ефективного розпушування при оптимальній відстані між проходами розпушувача становить

$$h_e = \frac{C_o \operatorname{tg} \alpha}{2k_2}, \text{ м}, \quad (11)$$

де k_2 – коефіцієнт, що враховує стан масиву на розмір незруйнованих гребнів при паралельних проходах.

Згідно з рекомендаціями науковців, значення коефіцієнтів k_1 та k_2 можна визначати з таблиці 2. Однак, як видно, ці коефіцієнти є взаємопов'язаними, що, на нашу думку, не зовсім правильно, оскільки k_1 характеризує геометричні параметри борозни, а k_2 – ступінь зруйнованості масиву. Зважаючи на науковий і практичний досвід з вивчення та розробки флювіогляціальних відкладів, а також рекомендації відомих вчених [8], нами запропоновано через чисельні значення k_2 враховувати гранулометричний склад гравійно-піщаної маси. У цьому разі чисельні значення k_2 не будуть залежати від значень коефіцієнта k_1 , а будуть характеризувати середньозважений розмір фракцій масиву флювіогляціальних відкладів. У таблиці 3 наведено запропоновані нами значення k_2 та ширини основи прорізу b , залежно від переважаючої фракції та середньозваженого розміру шматка породи.

Таблиця 3

Значення коефіцієнта k_2 залежно від гранулометричного складу гравійно-піщаної маси

Переважаючі фракції флювіогляціальних відкладів	Середньозважений розмір шматка породи, мм	k_2	b , м
Зцементовані мілко-, середньо- та крупнозернисті піски	0,005...5	0,80	$3b_1$
Крупнозернистий пісок з мілким та середнім гравієм	5...40	0,85	$2,5b_1$
Піски з включенням усіх фракцій гравію	40...100	0,90	$2b_1$
Піщано-гравійна маса з включенням мілких валунів	100...200	0,95	$1,5b_1$
Піщано-гравійна маса, яка містить усі види валунних фракцій	200...400 та більше	1,00	b_1

Для умов кар'єру Соснівського родовища гранітів, розкриті породи якого представлені флювіогляціальними відкладами, проведено дослідження з визначення впливу фракційного складу піщано-гравійної маси на продуктивність розпушувача. Зважаючи на умови залягання порід та параметри робочого майданчику, обрано розпушувач ДП-22С, базовим трактором якого є Т-180КС з такими характеристиками: потужність двигуна – 132,4 (180) кВт (к.с.); максимальне тягове зусилля, кН: 164; швидкість руху км/год: передня – 12,0, задня – 7,5; система підвищення розпушувача – чотириточкова; кріплення зубів: шарнірне; відстань між осями зубів – 800 мм; кількість зубів – 1–3 (обрано 1); максимальне заглиблення зуба – 550 мм; ширина наконечника розпушувача – $b_1 = 0,1$ м; коефіцієнт використання розпушувача приймаємо $k_b = 0,8$.

Згідно з даними таблиці 1 флювіогляціальні відклади родовища за ступенем розпушення належать до легко-розпушуваних. Тому кут нахилу стінок борозни приймаємо в середньому $\alpha = 55^\circ$, технічна швидкість розпушення становить $v_p = 1,2$ м/с (70–80 % від руху трактора на першій передачі); можливе заглиблення зуба згідно з технічною характеристикою розпушувача становить $h_z = 0,55$ м.

Зважаючи на розміри робочого майданчика розкритого уступу, довжину паралельного ходу розпушування приймаємо $L = 140$ м. Час переїзду розпушувача до наступної борозни становить $\tau = 60$ с.

Оскільки флювіогляціальні відклади належать до легкорозпушуваних гірських порід, то їх умовно можна зарахувати до сильнотріщинуватих. Тоді, згідно з даними таблиці 2, значення коефіцієнта k_1 , який враховує форму борозни, становить $k_1 = 1$.

Для наведених вище параметрів флювіогляціальних відкладів на розкритті Соснівського кар'єру і технологічних характеристик робочого обладнання, використовуючи формули (9–11), розраховано продуктивності розпушувача для різних значень фракційного складу піщано-гравійної маси (табл. 4).

Таблиця 4

Розрахункові значення продуктивності розпушувача залежно від фракційного складу розкритих порід

Максимальний середньозважений розмір шматка породи, мм	5	40	100	200	400
Продуктивність розпушувача, м ³ /год	583,33	498,91	426,14	363,18	308,54

Відповідно до отриманих даних таблиці 4, побудовано графічну залежність зміни продуктивності розпушувача від середньозваженого розміру шматка піщано-гравійної маси (рис. 2). Аналіз отриманих даних показує, що, за наявності валунів (табл. 3), продуктивність розпушувача знижується в 1,9 раза порівняно з розпушенням зцементованих мілко-, середньо- та крупнозернистих пісків. Оскільки середньозважене значення розміру шматка піщано-гравійно-валунної маси на досліджуваній ділянці Соснівського кар'єру становить 171 мм, то продуктивність розпушувача приблизно буде становити 370 м³/год.

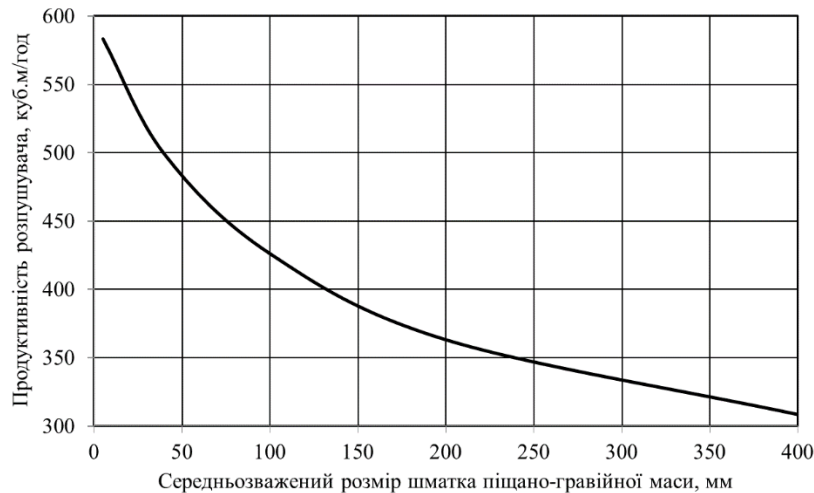


Рис. 2. Залежність продуктивності розпушувача від фракційного складу піщано-гравійної маси флювіогляціальних відкладів

Висновки та перспективи подальших досліджень. За результатами виконаних досліджень встановлено закономірність зміни продуктивності розпушувача від гранулометричного складу флювіогляціальних відкладів для умов Соснівського родовища гранітів та визначено орієнтовну продуктивність розпушувача для досліджуваної ділянки кар'єру.

Виконаний аналіз літературних джерел у сфері проведення гірничих робіт з розпушення гірських порід показав, що при розрахунку продуктивності розпушувача не враховується гранулометричний склад масиву в природному стані, хоча це є важливою характеристикою певних типів порід, зокрема для флювіогляціальних відкладів.

На підставі наукового та практичного досвіду науковців з досліджень флювіогляціальних відкладів, а також даних відомих вчених нами запропоновано враховувати гранулометричний склад піщано-гравійної маси в природному стані через певні параметри вже існуючих формул для визначення продуктивності розпушування. Зокрема, значення коефіцієнта, що враховує стан масиву на розмір незруйнованих гребнів k_2 , та ширину основи прорізу b після проходки розпушувача, рекомендовано обирати залежно від переважаючих фракцій флювіогляціальних відкладів або середньозваженого розміру шматка породи.

Для існуючих технологічних умов розробки на розкривному уступі Соснівського кар'єру та характеристик робочого обладнання розраховано продуктивності розпушувача для різних значень середньозваженого розміру шматка породи. Встановлено, що при зміні розміру шматка з 5 до 400 мм продуктивність розпушувача зменшується з 583,33 до 308,54 м³/год, тобто у 1,9 раза. На досліджуваній ділянці розкривного уступу, де середньозважене значення розміру шматка піщано-гравійно-валунної маси становить 171 мм [4], продуктивність розпушувача буде орієнтовно становити 370 м³/год.

Оскільки розпушення гірського масиву зазвичай відбувається разом з роботами по переміщенню гірничої маси бульдозерами, то подальші дослідження будуть спрямовані на визначення загальної продуктивності комплексу робочого обладнання (розпушувач та відвал), встановленого на бульдозері-розпушувачі.

Список використаної літератури:

1. Литвинчук І.Д. Проблеми виймання флювіогляціальних відкладів на розкривних уступах родовищ скельних будівельних порід / І.Д. Литвинчук, О.О. Фролов // Перспективи розвитку гірничої справи та раціонального використання природних ресурсів : тези VIII Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених, 21–22 жовтня. – Житомир : «Житомирська політехніка», 2021. – С. 65–69.
2. Establishment of regularities of fluvioglacial deposits and problems of their extraction in the development of rock deposits of building materials / A.A. Frolov, N.I. Zhukova, I.D. Lytvynchuk and other // Prospects for developing

- resource-saving technologies in mineral mining and processing : multi-authored monograph. – Petrosani, Romania : Universitas Publishing, 2022. – P. 606–637.
3. Литвинчук І.Д. Обґрунтування бульдозерно-екскаваторно-автомобільного комплексу для зняття розкритого шару флювіогляціальних відкладів в умовах Соснівського родовища гранітів / І.Д. Литвинчук, О.О. Фролов // ГЕОІНЖЕНЕРІЯ. – 2022. – Вип. 7. – С. 83–93.
 4. Фролов О.О. Встановлення закономірностей зміни продуктивності екскаватору від гранулометричного складу флювіогляціальних відкладів на розкритті кар'єру Соснівського родовища гранітів / О.О. Фролов, І.Д. Литвинчук, М.В. Дзьоба // Технічна інженерія. – 2022. – № 1 (89). – С. 158–165.
 5. Özdoğan M. Crawler bulldozers and their use at quarries, mines and construction sites / M.Özdoğan, H.Özdoğan // *IMMB Earthmoving Equipment Journal*. – 2021.
 6. Sellmann P.V. Ripping Frozen Ground with an Attachment for Dozers / P.V. Sellmann, D.R. Hill // *US Army Corps of Engineers Cold Regions Research & Engineering Laboratory*. – Hanover, New Hampshire, 1997. – Special Report 97–14. – 16 p.
 7. Технологія земляних робіт у будівництві : навч. посібник / В.П. Кизима, М.М. Ткачук, А.Г. Куковський та ін. – Рівне : НУВГП, 2013. – 425 с.
 8. Виймально-навантажувальні роботи на кар'єрах : навчальний посібник / В.В. Коробіичук, В.Г. Кравець, С.С. Ісков та ін. – Житомир : ЖДТУ, 2017. – 440 с.
 9. MacGregor F. The rippability of rock / F. MacGregor. – Sydney : University of new south wales, 1993. – 900 p.
 10. Supriyanto A. Simulasi numerik distribusi tegangan point ripper dozer d85e ss-2 akibat beban vertikal dan horizontal / A. Supriyanto, M.V. Hermawan // *Jurnal Teknik*. – 2021. – Vol. 7, № 1. – P. 36–45.
 11. Карпушин С.О. Проектування машин для земляних робіт // С.О. Карпушин, С.Л. Хачатурян // Підйомно-транспортні, будівельні, дорожні, меліоративні машини і обладнання : методичні вказівки до виконання курсового і дипломних проектів для студентів спеціальності 8.090214 всіх форм навчання. – Кіровоград : КНТУ, 2006. – 46 с.
 12. Фролов О.О. Відкриті гірничі роботи / О.О. Фролов, Т.В. Косенко // Процеси відкритих гірничих робіт : навч. посіб. для студ. спеціальності 184 «Гірництво». – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – Ч. I. – 152 с.

References:

1. Lytvynchuk, I.D. and Frolov, O.O. (2021), «Problemy vyimannia fluviohliatsialnykh vidkladiv na rozkryvnykh ustupakh rodovysheh skelnykh budivelnnykh porid», *Perspektyvy rozvytku hirnychoi spravy ta ratsionalnoho vykorystannia pryrodnykh resursiv*, tezy VIII Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii studentiv, aspirantiv ta molodykh vchenykh, 21–22 zhovtnia, «Zhytomyrskaya politekhnika», Zhytomyr, pp. 65–69.
2. Frolov, A.A., Zhukova, N.I., Lytvynchuk, I.D. et al. (2022), «Establishment of regularities of fluvio-glacial deposits and problems of their extraction in the development of rock deposits of building materials», *Prospects for developing resource-saving technologies in mineral mining and processing*, multi-authored monograph, Universitas Publishing, Petrosani, Romania, pp. 606–637.
3. Lytvynchuk, I.D. and Frolov, O.O. (2022), «Obhruntuvannia buldozerno-ekskavatorno-avtomobilnoho kompleksu dlia zniattia rozkryvnoho sharu fluviohliatsialnykh vidkladiv v umovakh Sosnivskoho rodovysheha hranitiv», *HEOINZHENERIJA*, Issue 7, pp. 83–93.
4. Frolov, O.O., Lytvynchuk, I.D. and Dzoba, M.V. (2022), «Vstanovlennia zakonimirostei zminy produktyvnosti ekskavatoru vid hranulometrychnoho skladu fluviohliatsialnykh vidkladiv na rozkryvi karieru Sosnivskoho rodovysheha hranitiv», *Tekhnichna inzheneriia*, No. 1 (89), pp. 158–165.
5. Özdoğan, M. and Özdoğan, H. (2021), «Crawler bulldozers and their use at quarries, mines and construction sites», *IMMB Earthmoving Equipment Journal*.
6. Sellmann, P.V. and Hill, D.R. (1997), *Ripping Frozen Ground with an Attachment for Dozers*, US Army Corps of Engineers Cold Regions Research & Engineering Laboratory, Hanover, New Hampshire, Special Report 97–14, 16 p.
7. Kuzyma, V.P., Tkachuk, M.M., Kukovskiy, A.H. et al. (2013), *Tekhnolohiia zemlianykh robiv u budivnytstvi*, navch. posibnyk, NUVHP, Rivne, 425 p.
8. Korobiichuk, V.V., Kravets, V.H., Iskov, S.S. et al. (2017), *Vyimalno-navantazhuvalni roboty na karierakh*, navchalnyi posibnyk, ZhDTU, Zhytomyr, 440 p.
9. MacGregor, F. (1993), *The rippability of rock*, University of new south wales, Sydney, 900 p.
10. Supriyanto, A. and Hermawan, M.V. (2021), «Simulasi numerik distribusi tegangan point ripper dozer d85e ss-2 akibat beban vertikal dan horizontal», *Jurnal Teknik*, Vol. 7, No. 1, pp. 36–45.
11. Karpushyn, S.O. and Khachaturian, S.L. (2006), «Proektuvannia mashyn dlia zemlianykh robiv», *Pidiomno-transportni, budivelni, dorozhni, meliorativni mashyny i obladnannia*, metodychni vkazivky do vykonannia kursovoho i dyplomykh proektiv dlia studentiv spetsialnosti 8.090214 vsikh form navchannia, KNTU, Kirovohrad, 46 p.
12. Frolov, O.O. and Kosenko, T.V. (2020), «Vidkryti hirnychi roboty», *Protsesy vidkrytykh hirnychykh robiv*, navch. posib. dlia stud. spetsialnosti 184 «Hirnytstvo», KPI im. Ihoria Sikorskoho, Kyiv, Part I, 152 p.

Литвинчук Ілля Дмитрович – аспірант Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

<https://orcid.org/0000-0003-3702-173X>.

Наукові інтереси:

– розробка родовищ корисних копалин.

E-mail: Litvinchuk_ilya@icloud.com.

Фролов Олександр Олександрович – доктор технічних наук, професор кафедри геоінженерії Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

<https://orcid.org/0000-0001-8053-2653>.

Наукові інтереси:

– розробка родовищ корисних копалин.

E-mail: frolov@geobud.kiev.ua.

Lytvynchuk I.D., Frolov O.O.

Establishing the regularities of changes in the productivity of the ripper depending on the particle size distribution of fluvioglacial sediments

The results of scientific research on determining the influence of particle size distribution in the sand and gravel mass of fluvioglacial sediments on ripper productivity under the conditions of the Sosnivske granite deposit are presented.

Based on the analysis of scientific research and publications regarding the efficiency of loosening rock masses, it was found that it is impossible to account for the granulometric composition of rocks in their natural state when calculating loosening productivity. At the same time, the size of the fractional pieces of cemented and compacted sand and gravel mass significantly affects the choice of the type of loosening equipment.

Based on practical experience and scientific research on the study of the peculiarities of the development of fluvioglacial deposits, it is proposed to take into account the granulometric composition of the sand and gravel mass in its natural state through certain components of existing formulas when determining the loosening productivity. Namely, the value of the coefficient that takes into account the influence of the state of the massif on the size of undestroyed ridges and the width of the base of the cut after ripper penetration is recommended to be selected depending on the weighted average size of a piece of sand, gravel, and boulder mass.

For the current natural and technological conditions of fluvioglacial deposit mining at the Sosnivskyi quarry, and given the characteristics of the equipment used, loosening productivity was determined for various weighted average rock piece sizes. It was established that as the weighted average piece size changes from 5 to 400 mm, the ripper's productivity decreases from 583,33 to 308,54 m³/h, i.e., by 1,9 times. In the investigated area of the overburden ledge, the ripper's productivity will be 370 m³/h, given that the weighted average size of the sand, gravel, and boulder mass is 171 mm.

Keywords: mechanical loosening of rocks; gravel-sand mass; fluvio-glacial deposits; overburden; bulldozer-ripper; productivity.

Стаття надійшла до редакції 17.05.2024.