

І.Д. Литвинчук, аспірант

О.О. Фролов, д.т.н., проф.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Дослідження впливу фракційного складу флювіогляціальних відкладів на продуктивність бульдозера під час їх виймання на розкритому уступі

Представлено результати наукових досліджень щодо впливу фракційного складу гірничої маси, а саме середньозваженого розміру шматка породи на технічну продуктивність бульдозера при розробці флювіогляціальних відкладів.

Встановлено, що вплив крупності розроблюваної гірничої маси на ефективність роботи бульдозера майже не досліджувався. Про це свідчить аналіз останніх наукових досліджень і публікацій з визначення продуктивності та ефективності роботи бульдозера.

У статті надано результати детального аналізу фракційного складу валунно-гравійно-піщаної гірничої маси на п'яти родовищах флювіогляціальних відкладів та встановлено середньозважений розмір шматка породи для кожного з них. На підставі представлених розрахункових значень отримано графічну та аналітичну залежності між середньозваженим розміром шматка гірничої маси та вмістом крупних фракцій, які були використані для подальшого визначення впливу вмісту валунів на технічну продуктивність бульдозера.

Використовуючи окремі наукові здобутки вчених попередніх років та особистий практичний досвід, отримано результати зі встановлення впливу середньозваженого значення розміру шматка у гірничій масі на технічну продуктивність бульдозера. Для технічних характеристик прийнятого обладнання й існуючих умов розробки флювіогляціальних відкладів на розкритому уступі Соснівського родовища гранітів отримано графічну та аналітичну залежності зміни технічної продуктивності бульдозера від середньозваженого розміру шматка розроблюваної гірничої маси. Встановлено, що, в межах досліджуваного діапазону зміни розміру шматка породи, а саме з 29 до 800 мм, технічна продуктивність бульдозера знижується з 58,61 до 46,52 м³/год, тобто на 20,6 %. Отримані дані дозволяють заздалегідь планувати режим роботи гірничого обладнання при виявленні змін фракційного складу валунно-гравійно-піщаної маси.

Ключові слова: флювіогляціальні відклади; фракційний склад; середньозважений розмір шматка породи; бульдозер; технічна продуктивність; розкритий уступ.

Постановка проблеми та її зв'язок з важливими практичними завданнями. Гравійно-піщана маса флювіогляціальних відкладів характеризується вкрай нерівномірним фракційним (гранулометричним) складом. Зокрема, деякі поклади мають значну кількість валунів, що є міцними та абразивними породами. Тому технології розробки таких відкладів залежать насамперед від розподілу вміщуваних компонентів за фракціями та вмістом (або відсутності) валунів [1].

За наявності флювіогляціальних відкладів на розкритому уступі скельних порід, внаслідок їх відносно невеликої потужності, широкого розповсюдження набула технологія розробки з використанням бульдозера-розпушувача [2–4]. В деяких випадках, через обмеженість робочого простору розкритого майданчика, вона залишається єдиною прийнятною. Як зазначають дослідники, для стійкої та безперебійної роботи бульдозера по переміщенню розпушеної гірської маси необхідно, щоб розмір максимального шматка (валуна) не перевищував 100–120 см [5]. В іншому разі ефективність роботи обладнання різко знижується. Але ж, очевидно, і менші за розмірами валуни також негативно впливають на продуктивність бульдозера.

Тому встановлення впливу фракційного складу флювіогляціальних відкладів на продуктивність бульдозера є, безумовно, актуальним науково-технічним завданням, рішення якого визначить ефективні межі застосування цього обладнання при розробці розпушеної гравійно-піщаної маси.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Після виконання операцій рихлення робочий цикл бульдозера складається зі зрізання (копання) ґрунту, утворення призми волочиння, транспортування її до місця штабельовання або скидання, зупинки для перемикання передач і підйому відвалу, зворотного ходу, зупинки для включення переднього ходу та опускання відвалу на робочу поверхню. Відповідно, зазначені операції і визначають технічну продуктивність бульдозера [6–8]. Проведемо аналіз існуючих формул з визначення продуктивності такого обладнання з метою виявлення повноти врахування факторів, що впливають на ефективність роботи обладнання.

В загальному вигляді технічну продуктивність бульдозера при вийманні і переміщенні породи, згідно з публікаціями В.В. Ржевського, П.І. Томакова та багатьох інших науковців, рекомендовано визначати за формулою [9]:

$$T_{\text{тех}} = \frac{3600V_{\text{п}}k_{\text{в}}}{T_{\text{ц}}k_{\text{р}}}, \text{ м}^3/\text{год}, \quad (1)$$

де $V_{\text{п}}$ – об'єм породи, який переміщує бульдозер за один цикл (призми волочіння), м^3 ; $k_{\text{в}}$ – коефіцієнт зміни продуктивності залежно від величини ухилу і відстані переміщення породи; $T_{\text{ц}}$ – тривалість робочого циклу бульдозера, с; $k_{\text{р}}$ – коефіцієнт розпушення породи в призмі волочіння.

Об'єм призми волочіння породи можна визначити як

$$V_{\text{п}} = \frac{B_{\text{п}}h_{\text{п}}^2}{2\text{tg}\alpha}, \text{ м}^3, \quad (2)$$

де $B_{\text{п}}$ – ширина відвалу, м; $h_{\text{п}}$ – висота відвалу, м; α – кут відкосу породи в призмі волочіння (по суті це кут природного укосу породи), град.;

Тривалість робочого циклу бульдозера при поверненні його до місця набору породи заднім ходом:

$$T_{\text{ц}} = t_{\text{н}} + t_{\text{п}} + t_{\text{зв}} + t_{\text{в}} = \frac{L_{\text{н}}}{v_{\text{н}}} + \frac{L_{\text{п}}}{v_{\text{п}}} + \frac{L_{\text{п}}}{v_{\text{зв}}} + t_{\text{в}}, \text{ с}, \quad (3)$$

де $t_{\text{н}}$ – тривалість набору породи, с; $t_{\text{п}}$ – тривалість переміщення гірничої маси, с; $t_{\text{н}}$ – тривалість руху бульдозера у зворотному напрямку, с; $t_{\text{в}} = 5 \dots 10$ – тривалість перемикання передач і опускання відвалу, с; $L_{\text{н}}, L_{\text{п}}$ – відповідно відстані набору та переміщення породи, м; $v_{\text{н}}, v_{\text{п}}, v_{\text{зв}}$ – середні швидкості руху бульдозера відповідно при набиранні та переміщенні породи, а також у зворотному русі до місця розробки породи, м/с.

Дещо видозміненою виглядає формула з визначення технічної продуктивності бульдозера у навчальному посібнику авторів Г.В. Забігалова та Е.Г. Ронінсона:

$$П_{\text{т}} = \frac{3600VK_{\text{у}}K_{\text{с}}}{T_{\text{ц}}}, \text{ м}^3/\text{год}, \quad (4)$$

де V – об'єм призми волочіння, м^3 ; $K_{\text{у}}$ – коефіцієнт ухилу місцевості; $K_{\text{с}}$ – коефіцієнт збереження ґрунту при транспортуванні; $T_{\text{ц}}$ – тривалість робочого циклу, с.

Вигляд формул з визначення об'єму призми волочіння породи та тривалості робочого циклу бульдозера майже збігається з наведеними вище.

Науковці Н.А. Малишева та В.М. Сіренко пропонували технічну продуктивність бульдозера при розробці та переміщенні породи визначати за формулою:

$$П_{\text{с}} = \frac{3600V_{\text{п.в}}k_{\text{пр}}}{T_{\text{ц.б}}k_{\text{роз}}}, \text{ м}^3/\text{год}, \quad (5)$$

де $V_{\text{п.в}}$ – об'єм призми волочіння, що зрізається відвалом, м^3 ; $k_{\text{пр}}$ – коефіцієнт, який враховує зміну продуктивності від впливу ухилу розробки, відстані переміщення породи та ступеня подрібнення породи; $T_{\text{ц.б}}$ – тривалість робочого циклу, с; $k_{\text{роз}}$ – коефіцієнт розпушення породи в призмі волочіння.

Значення коефіцієнта $k_{\text{пр}}$ необхідно розраховувати як

$$k_{\text{пр}} = \frac{k_{\text{у.в}}}{k_{\text{к.к}}}, \text{ м}^3/\text{год}, \quad (6)$$

де $k_{\text{у.в}}$ – коефіцієнт, який враховує зміну продуктивності від впливу ухилу і відстані переміщення породи; $k_{\text{к.к}}$ – коефіцієнт, що враховує зміну продуктивності від впливу крупних кусків (уламків) породи.

Коефіцієнт $k_{\text{к.к}}$, як зазначають науковці, можна визначити за формулою:

$$k_{\text{к.к}} = 1 + 0,6n_{\text{к.к}}k_{\text{м.в}} \frac{m^2}{l_{\text{від}}} \text{tg}\alpha, \text{ м}^3/\text{год}, \quad (7)$$

де $n_{\text{к.к}}$ – вихід крупних кусків в розвалі, %; $k_{\text{м.в}}$ – коефіцієнт, який враховує марку бульдозера і відстань транспортування породи; m – відношення частини вала, зануреної в породу, до повної довжини відвалу бульдозера; $l_{\text{від}}$ – довжина відвалу бульдозера, м; α – кут укосу гірничої маси у розвалі (в призмі волочіння), град.

Тривалість робочого циклу $T_{\text{ц.б}}$ та об'єм призми волочіння $V_{\text{п.в}}$ пропонується розраховувати за формулами (3) та (2).

Вчені Житомирської політехніки рекомендують для розрахунку продуктивності бульдозера використовувати також (5), однак з більш деталізованим вибором окремих коефіцієнтів та врахуванням коефіцієнта використання робочого часу $k_{\text{в}}$ для визначення експлуатаційної продуктивності [5].

Подерні Р.Ю., під час зрізання та переміщення породи, наводить таку залежність з визначення експлуатаційної продуктивності бульдозера:

$$Q_c = \frac{3600V_b K_b K_{\text{укл}} \alpha_{\text{п}}}{T_{\text{ц}}}, \text{ м}^3/\text{год}, \quad (8)$$

де V_b – фактичний об'єм призми волочіння, м^3 ; $K_b = 0,8 \dots 0,9$ – коефіцієнт використання бульдозера в часі; $K_{\text{укл}}$ – коефіцієнт, що враховує ухил шляху руху; $\alpha_{\text{п}}$ – коефіцієнт, що враховує втрати породи в процесі її переміщення; $T_{\text{ц}}$ – тривалість циклу, с:

$$T_{\text{ц}} = \frac{l_p}{v_p} + \frac{l_{\text{п}}}{v_{\text{п}}} + \frac{l_p + l_{\text{п}}}{v_o} + t_c + t_o + 2t_{\text{пов}}, \text{ с}, \quad (9)$$

де $l_p, l_{\text{п}}$ – довжина шляху відповідно при зрізанні і переміщенні породи бульдозером, м; $v_p, v_{\text{п}}$ та v_o – швидкості трактора відповідно під час зрізання, переміщення породи та зворотного ходу, м/с; $t_c, t_o, t_{\text{пов}}$ – час відповідно на перемикання передач, на опускання відвалу, на поворот трактора, с.

У [10] зазначено, що ефективність використання бульдозера залежить від повного врахування факторів, які впливають на експлуатаційні характеристики обладнання. В той же час представлено до розгляду програмне забезпечення DPC з розрахунку, зокрема продуктивність бульдозера не враховує кускуватості гірничої маси, яка підлягає розробці.

Автори роботи [11] пропонують визначати фактичні значення продуктивності бульдозерів на основі розробленої регресійної моделі, тобто на основі спостережень за роботою обладнання. Це, як вважають дослідники, є найбільш точний метод оцінки продуктивності, який враховує усі виробничі фактори. Однак, на нашу думку, він є ефективним лише для конкретних умов роботи певного типу обладнання.

Науковці з Хорватії в [12] наводять спрощену формулу для визначення технічної продуктивності бульдозера, яка не враховує цілу низку факторів впливу на ефективність роботи обладнання:

$$Q_c = \frac{3600V}{T_c}, \text{ м}^3/\text{год}, \quad (10)$$

де T_c – тривалість робочого циклу бульдозера, с:

$$T_c = l_c \left(\frac{1}{v_t} + \frac{1}{v_o} \right) + 2t_m, \text{ с}, \quad (11)$$

де l_c – довжина траєкторії руху бульдозера, м; v_t та v_o – швидкості руху обладнання відповідно вперед і назад по траєкторії руху, м/с; t_m – час на зміну швидкості, с.

У [13] запропоновано до розгляду нову математичну модель, яка дозволяє оптимізувати операцію з формування призми волочіння, що справедливо вважається найскладнішою. Однак, як зазначають самі автори, представлена математична модель не охоплює усі фактори, які впливають на ефективність роботи бульдозера (зокрема і фракційний склад гірничої маси), тобто отримані результати не варто вважати оптимальним рішенням.

Аналогічні дослідження викладені також в роботі [14], за результатами яких складено математичну модель процесу копання ґрунту для збільшення продуктивності бульдозера і запропоновано декілька технічних рішень для підвищення ефективності роботи обладнання.

Аналіз наведених вище формул з визначення продуктивності бульдозера (технічної та/або експлуатаційної) показує, що майже усі вони ідентичні і враховують в цілому зазначені вище операції технологічного процесу розробки та переміщення гірничої маси бульдозером. Однак крупність гірничої маси, яка підлягає розробці, побічно враховано лише в дослідженнях Н.А. Малишева та вченими Житомирської політехніки.

Мета дослідження. На підставі проведеного аналізу наукових досліджень і публікацій з питань виявлення повноти врахування факторів, що впливають на ефективність роботи бульдозера, сформульовано мету представленої наукової статті, яка полягає у встановленні впливу фракційного складу флювіогляціальних відкладів на продуктивність такого обладнання при їх пошаровій розробці на розкритому уступі кар'єру.

Викладення основного матеріалу. Детальний аналіз попередніх наукових досліджень та публікацій показує, що вплив фракційного складу гірничої маси на технічну продуктивність бульдозера можна встановити на підставі формул (5)–(7) та більш повного розкриття значень існуючих коефіцієнтів, що наведено в роботі [5]. При цьому необхідно зважати на особливості розробки флювіогляціальних відкладів на розкритих уступах кар'єрів скельних порід. Для узгодження отриманих даних, наведених в [4], з дослідженнями цієї статті, розрахунки проведемо для умов залягання флювіогляціальних відкладів на розкритому уступі Соснівського родовища гранітів. Як робоче обладнання обрано бульдозер Д-711С на базі трактора Т-180КС з такими технічними характеристиками: маса бульдозера – 19 100 кг; потужність двигуна – 132,4 (180) кВт (к.с.); тип відвалу – універсальний; розміри відвалу: довжина $l_{\text{від}}$ – 3 640 мм, висота $h_{\text{в}}$ – 1 480 мм; кут різання – 45–5 град.; максимальний підйом – 900 мм; максимальне заглиблення – 300 мм; кут поперечного переміщення відвалу – 4 град.

Значення коефіцієнта розпушення флювіогляціальних відкладів у призмі волочиння бульдозера прийнято, згідно з даними таблиці 1, $k_{роз} = 1,4$ [5].

Таблиця 1

Значення коефіцієнта розпушення флювіогляціальних відкладів $k_{роз}$

Порода	$k_{роз}$
Пісок і супісок у немерзлому стані	1,1...1,2
Суглинок і глина у немерзлому стані	1,27...1,55
Скельний ґрунт і вугілля	1,34...1,67
Пісок і супісок у мерзлому стані	1,2...1,75
Суглинок і глина у мерзлому стані	1,75...2,0

Для визначення коефіцієнта $k_{пр}$, згідно з формулою (6), необхідно встановити значення коефіцієнта $k_{у.в}$, який враховує зміну продуктивності бульдозера залежно від ухилу і відстані переміщення породи, та коефіцієнт, що враховує зміну продуктивності від впливу крупних кусків (уламків) породи $k_{к.к}$. Згідно з даними Н.А. Малишева та В.М. Сіренко, значення коефіцієнта $k_{у.в}$ обирають з таблиці 2. Для відстані транспортування гірничої маси 50 м по горизонтальній ділянці розкритого уступу коефіцієнт $k_{у.в}$ становить 0,43.

Таблиця 2

Значення коефіцієнта $k_{у.в}$, залежно від ухилу і відстані переміщення гірничої маси

Відстань переміщення гірничої маси, м	Коефіцієнт $k_{у.в}$			
	горизонтальна ділянка	ухил 10 %	ухил 20 %	підйом 10 %
15	1,0	1,8	2,5	0,6
30	0,6	1,1	1,6	0,37
65	0,3	0,6	0,9	0,18
100	0,2	0,36	0,55	0,12

Чисельні значення коефіцієнта $k_{к.к}$ ті ж науковці пропонують визначати за формулою (7), в якій коефіцієнт $k_{м.в}$, що враховує марку бульдозера і відстань переміщення породи, рекомендується обирати з даних таблиці 3. Оскільки для умов розробки флювіогляціальних відкладів розкритого уступу середня відстань переміщення гірничої маси становить $L_{п} = 50$ м, а бульдозер Д-711С за своїми характеристиками схожий до бульдозера Д-275, то $k_{м.в} = 0,25$.

Таблиця 3

Значення коефіцієнта $k_{м.в}$

Бульдозер	Відстань транспортування породи, м						
	10	15	20	25	30	40	50
Д-271	0,56	0,44	0,41	0,36	0,32	0,27	0,23
Д-275	0,58	0,40	0,44	0,39	0,35	0,29	0,25
Д-385	0,59	0,45	0,38	0,34	0,30	0,25	0,21

Вихід крупних кусків у розрихленій гірничій масі флювіогляціальних відкладів $n_{к.к}$ визначається насамперед наявністю валунів. Залежно від місця розташування родовища на території нашої держави флювіогляціальні відклади мають дуже різний вміст фракцій. Для досягнення мети наукової статті нами були проведені дослідження з визначення фракційного складу валунно-гравійно-піщаної гірничої маси на декількох родовищах центральних регіонів України. Спочатку визначався гранулометричний склад за типовим розподілом фракцій [1], а потім укрупнений, з метою встановлення середньозваженого значення розміру шматка флювіогляціальних відкладів $d_{сер.зв}$. Проаналізовано п'ять родовищ із заляганням гравійно-піщаної маси. Результати обробки отриманих даних наведено в таблиці 4.

Аналіз таблиці 4 показує, що на тих родовищах, де вміст валунів незначний, $d_{сер.зв}$ характеризується низькими показниками. На підставі отриманих даних побудовано залежність між середньозваженим розміром шматка гірничої маси та вмістом крупних фракцій, тобто валунів (рис. 1).

Таблиця 4

Значення середньозваженого розміру фракції флювіогляціальних відкладів на родовищах

Фракції	Берлогівське родовище		Соснівське родовище		Родовища Поліського регіону		Кошівське родовище		Ярошівське родовище	
	Вміст, %	$d_{\text{сер.зв}}, \text{мм}$	Вміст, %	$d_{\text{сер.зв}}, \text{мм}$	Вміст, %	$d_{\text{сер.зв}}, \text{мм}$	Вміст, %	$d_{\text{сер.зв}}, \text{мм}$	Вміст, %	$d_{\text{сер.зв}}, \text{мм}$
Пісок та глинисті частки, < 5 мм	43	79	41	187	27	323	15	454	10	574
Гравій, 5–100 мм	47		29		23		20		15	
Валуни, 100–1300 мм	10		30		50		65		75	

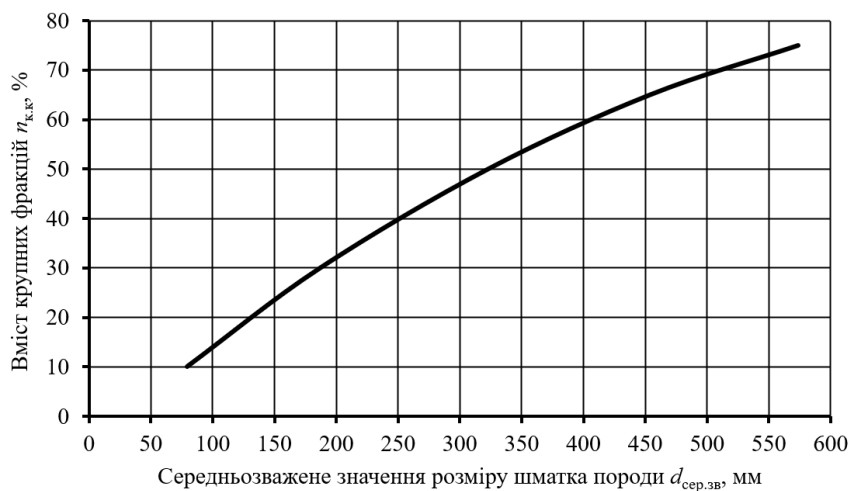


Рис. 1. Залежність між середньозваженим розміром шматка флювіогляціальних відкладів та відсотковим вмістом крупних фракцій (валунів)

Отриману графічну залежність з рисунка 1 можна апроксимувати з високою точністю поліноміальною залежністю 2-го степеня:

$$n_{\text{к.к}} = -0,00013d_{\text{сер.зв}}^2 + 0,2165 d_{\text{сер.зв}} - 6,1563, \% \quad (12)$$

де $n_{\text{к.к}}$ – вміст крупних кусків (валунів) у гірничій масі флювіогляціальних відкладів, %.

Величина достовірності апроксимації склала $R^2 = 1$.

Таким чином, отримавши дані з родовищ щодо чисельних показників середньозваженого значення розміру шматка $d_{\text{сер.зв}}$, ми можемо за (12) розрахувати значення виходу крупних фракцій у розрихленій гірничій масі флювіогляціальних відкладів $n_{\text{к.к}}$ для подальшого визначення коефіцієнта $k_{\text{к.к}}$ за (7).

Відношення частини вала, зануреної в породу, до повної довжини відвалу бульдозера m , за даними Н.А. Малишева, можна визначити за формулою:

$$m = \frac{h_{\text{від}}}{\text{tg}\alpha} \sqrt{\frac{1}{l_{\text{від}} L_{\text{н}}}}, \text{ м}^3/\text{год}, \quad (13)$$

де $L_{\text{н}}$ – довжина шляху набору ґрунту (у сприятливих умовах становить 6...10 м), м; α – кут укосу гірничої маси флювіогляціальних відкладів у розвалі, град.

Для умов Соснівського родовища приймаємо $l_{\text{н}} = 8$ м; $\alpha = 45^\circ$.

Формули з визначення тривалості робочого циклу бульдозера у всіх проаналізованих дослідженнях в цілому схожі. На наш погляд, найбільш коректною виглядає формула (3). Тривалість перемикання передач і опускання відвалу приймаємо $t_{\text{в}} = 10$ с. Чисельні значення середніх швидкостей руху бульдозера наведено в таблиці 5 (згідно з даними П.І. Томакова). Оскільки флювіогляціальні відклади є піщано-гравійно-валуною гірничою масою, то середні швидкості переміщення бульдозера обираємо з другого рядка порід, а саме: $v_{\text{н}} = 0,9$; $v_{\text{п}} = 1,3$; $v_{\text{зв}} = 2,8$ м/с.

Середні швидкості руху бульдозера при розробці гірських порід

Порода	Швидкість руху бульдозера, м/с		
	при набірні породи v_n	при переміщенні породи $v_{п}$	при зворотному русі $v_{зв}$
Піщані та м'які	0,6–1,2	1,0–2,0	1,6–2,5
Щільні, щебенево-гравійні та зв'язкові	0,55–0,9	1,0–1,3	1,2–2,8
Подрібнені вибухом	0,15–0,35	0,6–0,8	0,7–1,3

Отже, використовуючи формули (5)–(7), а також (2), (3), (12) та (13) на підставі наведених вихідних даних стосовно характеристик бульдозера та умов розробки флювіогляціальних відкладів на розкритому уступі Соснівського родовища гранітів, виконано розрахунок технічної продуктивності бульдозера Π_6 для різних значень середньозваженого розміру шматка гірничої маси $d_{\text{ср.зв}}$. Результати розрахунку наведено в таблиці 6.

Таблиця 6

Технічна продуктивність бульдозера при різних значеннях середньозваженого розміру шматка породи

Середньозважене значення розміру шматка породи $d_{\text{ср.зв}}$, мм	29	100	200	300	400	500	600	700	800
Технічна продуктивність бульдозера Π_6 , м ³ /год	58,61	56,14	53,33	51,14	49,47	48,21	47,32	46,77	46,52

Як видно з даних таблиці 6, перше значення розміру шматка породи становить $d_{\text{ср.зв}} = 29$ мм. Це мінімальне значення, за якого, згідно з (12), немає виходу крупних кусків (валунів) у гірничій масі, тобто $n_{\text{к.к}} = 0$ %.

Відповідно до представлених значень розрахунків, побудовано графічну залежність зміни технічної продуктивності бульдозера від середньозваженого розміру шматка піщано-гравійної маси флювіогляціальних відкладів для існуючих технологічних умов Соснівського кар'єру (рис. 2). Аналіз табличних даних свідчить про те, що, при зміні шматка $d_{\text{ср.зв}}$ з 29 до 800 мм, продуктивність бульдозера знижується з 58,61 до 46,52 м³/год, тобто на 20,6 %. Якщо взяти останній аналіз фракційного складу гірничої маси цього кар'єру (табл. 4), то технічна продуктивність бульдозера при розробці породи орієнтовно буде становити 54 м³/год.

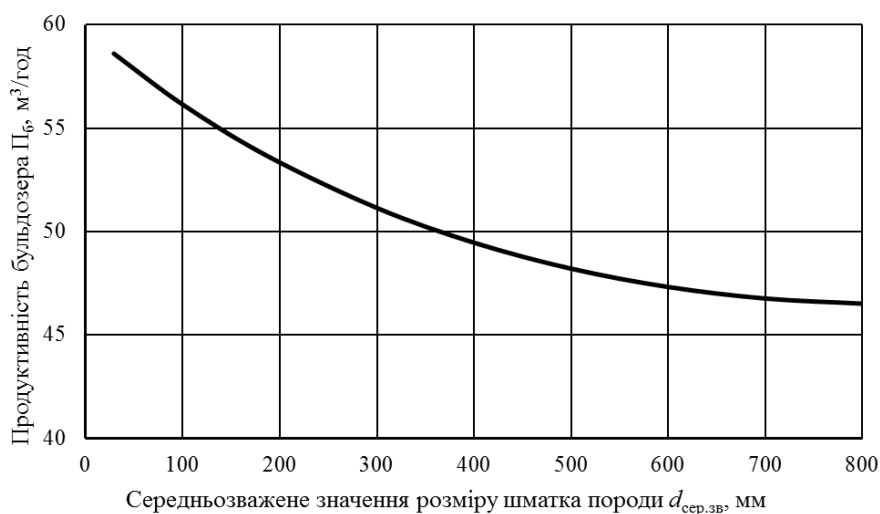


Рис. 2. Зміна технічної продуктивності бульдозера від середньозваженого значення розміру шматка флювіогляціальних відкладів

Графічна залежність, що представлена на рисунку 2, з високим ступенем достовірності ($R^2 = 0,9989$) апроксимується поліномом 2-го степеня:

$$P_6 = 0,00002d_{\text{ср.зв}}^2 - 0,0337d_{\text{ср.зв}} + 59,361, \text{ м}^3/\text{год}. \quad (14)$$

Отже, для природних і технологічних умов кар'єру Соснівського родовища гранітів та технічних характеристик розглянутого обладнання можливо передбачати зміну продуктивності бульдозера на розкривному уступі у разі зміни фракційного складу флювіогляціальних відкладів.

Висновки та перспективи подальших досліджень. У результаті проведених наукових досліджень встановлено вплив фракційного складу флювіогляціальних відкладів, а саме, середньозваженого розміру шматка породи, на технічну продуктивність бульдозера на розкривному уступі Соснівського кар'єру.

Аналіз наукових публікацій з визначення продуктивності бульдозера засвідчив, що в цілому вони є схожими та враховують основні операції технологічного процесу розробки та переміщення гірничої маси. Проте впливу крупності розроблюваної гірничої маси на ефективність роботи обладнання майже не приділяється уваги.

Для реалізації поставленої мети досліджень детально проаналізовано фракційний склад валунно-гравійно-піщаної гірничої маси на п'яти родовищах флювіогляціальних відкладів та визначено середньозважений розмір шматка породи для кожного з них (табл. 4). На підставі розрахованих значень отримано графічну (рис. 1) та аналітичну (формула (12)) залежності між середньозваженим розміром шматка гірничої маси та вмістом крупних фракцій (валунів), які в подальшому були використані для визначення технічної продуктивності бульдозера. Використовуючи наукові здобутки вчених, які враховували в своїх дослідженнях по визначенню продуктивності бульдозера вміст крупних шматків породи в гірничій масі під час їх розробки та інженерний практичний досвід авторів цієї роботи, отримано наукові результати зі встановлення впливу середньозваженого значення розміру шматка у гірничій масі флювіогляціальних відкладів на технічну продуктивність бульдозера, який їх розробляє.

Для існуючих умов розкривного уступу Соснівського кар'єру та технічних характеристик прийнятого обладнання отримано графічну (рис. 2) та аналітичну (формула (14)) залежності зміни технічної продуктивності бульдозера від середньозваженого розміру шматка флювіогляціальних відкладів. Аналіз даних свідчить про те, що в межах досліджуваного діапазону зміни розміру шматка продуктивність бульдозера знижується на 20,6 %. Отримані дані дозволяють заздалегідь планувати режим роботи гірничого обладнання при виявленні змін фракційного складу валунно-гравійно-піщаної маси. Таким чином, по суті, розроблено алгоритм і представлено методику визначення продуктивності бульдозера під час розробки флювіогляціальних відкладів різного фракційного складу.

Попередні дослідження авторів цієї статті та ті, що представлені у цій роботі, дозволяють розрахувати загальну продуктивність комплексу робочого обладнання з розпушування та розробки флювіогляціальних відкладів, встановленого на бульдозері-розпушувачі, а також дослідити вплив фракційного складу гірничої маси на ефективність його роботи.

Список використаної літератури:

1. Establishment of regularities of fluvio-glacial 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.
2. Литвинчук І.Д. Обґрунтування бульдозерно-екскаваторно-автомобільного комплексу для зняття розкривного шару флювіогляціальних відкладів в умовах Соснівського родовища гранітів / І.Д. Литвинчук, О.О. Фролов // Геоінженерія. – 2022. – № 7. – С. 83–93.
3. 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.
4. Литвинчук І.Д. Встановлення закономірностей зміни продуктивності розпушувача від гранулометричного складу флювіогляціальних відкладів / І.Д. Литвинчук, О.О. Фролов // Технічна інженерія. – 2024. – № 1 (93). – С. 392–399.
5. Виймально-навантажувальні роботи на кар'єрах : навчальний посібник / В.В. Коробійчук, В.Г. Кравець, С.С. Іськов та ін. – Житомир : ЖДТУ, 2017. – 440 с.
6. Полтавець М.А. Підвищення продуктивності роботи бульдозера через інтенсифікацію процесів копання, використовуючи нові підходи та технологічні вдосконалення : дипломна робота ... магістра : 133 Галузеве машинобудування / М.А. Полтавець. – Харків : ХНАДУ, 2023. – 91 с.
7. Мобіло Л.В. Дослідження та обґрунтування параметрів гребінчастого ножа землерийних машин / Л.В. Мобіло, Д.Л. Серілко // Вісник НУВГП. Сер. : Технічні науки. – 2016. – Вип. 3 (75). – С. 267–274.
8. Технологія земляних робіт у будівництві : навч. посібник / В.П. Кизима, М.М. Ткачук, А.Г. Куковський та ін. – Рівне : НУВГП, 2013. – 425 с.
9. Відкриті гірничі роботи : навч. посіб. для студ. спеціальності 184 «Гірництво» / О.О. Фролов, Т.В. Косенко. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – Ч. 1. Процеси відкритих гірничих робіт. – 152 с.

10. Kecojevic V.J. Estimation of dozer production and costs / V.J. Kecojevic, M.J. Mrugala // *International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment*. – 2003. – Vol. 17. – No. 3. – P. 171–182.
11. Rashidi A. Multiple linear regression approach for productivity estimation of bulldozers / A.Rashidi, N.Rashidi, A.H. Behzadan // *3rd International Conference on Construction Engineering and Management and 6th International Conference on Construction Project Management*, May 27–30. – JEJU, KOREA, 2009. – P. 1140–1147.
12. Klanfar M. Calculation analysis of bulldozer's productivity in gravitational transport on open pits / M.Klanfar, T.Kujundžić, D.Vrkljan // *Tehnički vjesnik*. – 2014. – Vol. 21. – No. 3. – P. 517–523.
13. Kulkaew P. Optimisation of bulldozer earthmoving plans : A thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy at The University of Queensland / P.Kulkaew. – Australia : School of Mechanical & Mining Engineering, 2021. – 147 p.
14. Бульдозер підвищеної продуктивності з шарнірно-з'єднаним секційним відвалом / Л.А. Хмара, К.А. Крекнін, С.Д. Погоржельський, М.О. Кобзар // *Будівництво, матеріалознавство, машинобудування : зб. наук. праць*. – Дніпро : Придніпр. держ. акад. будівництва та архітектури, 2019. – Вип. 107. – С. 56–65.

References:

1. 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.
2. Lytvynchuk, I.D. and Frolov, O.O. (2022), «Obhruntuvannia buldozerno-ekskavatorno-avtomobilnoho kompleksu dlia zniattia rozkryvnoho sharu fluviohliatsialnykh vidkladiv v umovakh Sosnivskoho rodovyshcha hranitiv», *Heoinzheneriia*, No. 7, pp. 83–93.
3. Lytvynchuk, I.D. and Frolov, O.O. (2021), «Problemy vyimannia fluviohliatsialnykh vidkladiv na rozkryvnykh ustupakh rodovyshch skelnykh budivelnykh pored», *Perspektyvy rozvytku hirnychoi spravy ta ratsionalnoho vykorystannia pryrodnykh resursiv*, Tezy VIII Vseukrainskoi nauko-vo-praktychnoi konferentsii studentiv, aspirantiv ta molodykh vchenykh, 21–22 zhovtnia, Zhytomyrska politekhnika, Zhytomyr, pp. 65–69.
4. Lytvynchuk, I.D. and Frolov, O.O. (2024), «Vstanovlennia zakonimirostei zminy produktyvnosti rozpushvacha vid hranulometrychnoho skladu fluviohliatsialnykh vidkladiv», *Tekhnichna inzheneriia*, No. 1 (93), pp. 392–399.
5. Korobiichuk, V.V., Kravets, V.H., Iskov, S.S. et al. (2017), *Vyimalno-navantazhuvalni roboty na karierakh, navchalnyi posibnyk*, ZhDTU, Zhytomyr, 440 p.
6. Poltavets, M.A. (2023), «Pidvyshchennia produktyvnosti roboty buldozera cherez intensyfikatsiiu protsesiv kopannia, vykorystovuiuchy novi pidkhody ta tekhnolohichni vdoskonalennia», *dyplomna robota ... mahistra, 133 Haluzeye mashynobuduvannia, KhNADU, Kharkiv*, 91 p.
7. Mobilo, L.V. and Serilko, D.L. (2016), «Doslidzhennia ta obgruntuvannia parametriv hrebynchastoho nozha zemleryinykh mashyn», *Visnyk NUVHP. Serii. Tekhnichni nauky*, NUVHP, Rivne, Issue 3 (75), pp. 267–274.
8. Kuzyma, V.P., Tkachuk, M.M., Kukovskiy, A.H. et al. (2013), *Tekhnolohiia zemlianykh robit u budivnytstvi, navch. posibnyk*, NUVHP, Rivne, 425 p.
9. Frolov, O.O. and Kosenko, T.V. (2020), *Vidkryti hirnychi roboty, navch. posib. dlia stud. spetsialnosti 184 «Hirnytstvo»*, Part 1. Protsey vidkrytykh hirnychykh robit, KPI im. Ihoria Sikorskoho, Kyiv, 152 p.
10. Kecojevic, V.J. and Mrugala, M.J. (2003), «Estimation of dozer production and costs», *International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment*, Vol. 17, No. 3, pp. 171–182.
11. Rashidi, A., Rashidi, N. and Behzadan, A.H. (2009), «Multiple linear regression approach for productivity estimation of bulldozers», *3rd International Conference on Construction Engineering and Management and 6th International Conference on Construction Project Management*, May 27–30, JEJU, KOREA, pp. 1140–1147.
12. Klanfar, M., Kujundžić, T. and Vrkljan, D. (2014), «Calculation analysis of bulldozer's productivity in gravitational transport on open pits», *Tehnički vjesnik*, Vol. 21, No. 3, pp. 517–523.
13. Kulkaew, P. (2021), *Optimisation of bulldozer earthmoving plans: A thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy at The University of Queensland*, School of Mechanical & Mining Engineering, Australia, 147 p.
14. Khmara, L.A., Krekni, K.A., Pohorzelskyi, Ye.D. and Kobzar, M.O. (2019), «Buldozer pidvyshchennoi produktyvnosti z sharnirno-ziednanyim sektsiinym vidvalom», *Budivnytstvo, materialoznavstvo, mashynobuduvannia, zb. nauk. prats, Prydnipr. derzh. akad. budivnytstva ta arkhitektury, Dnipro*, Issue 107, pp. 56–65.

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.

Study of the influence of the fractional composition of fluvioglacial deposits on the bulldozer productivity when mining them on the overburden ledge

The results of scientific research of the influence of fractional composition of rock mass, namely, the average value of a piece of rock, on the technical productivity of bulldozer when mining fluvioglacial deposits are presented.

It is established that the influence of the rock piece size on the bulldozer efficiency is practically not studied. This is evidenced by the analysis of recent scientific studies and publications on the determination of productivity and efficiency of the bulldozer.

The paper presents the results of the analysis of fractional composition of boulder-gravel-sandy rock mass in some deposits of fluvioglacial deposits and determines the average size of rock pieces. On the basis of the presented values graphical and analytical dependences between the average size of rock pieces and the content of large fractions (namely, boulders) were obtained and used for further determination of the influence of the percentage of boulders on the technical characteristics of the bulldozer.

Using some scientific achievements of the past years, which take into account the content of large pieces of rock in the rock mass when calculating the performance of the bulldozer, as well as personal practical experience of the authors, the results were obtained to determine the influence of the average value of the size of pieces in the rock mass on the technical performance of the bulldozer. For technical characteristics of the accepted equipment and existing conditions of development of fluvioglacial deposits on the overburden ledge of the Sosnovsky granite deposit the graphical and analytical dependences of change of technical productivity of the bulldozer on the average weighted size of a piece of the developed rock mass have been received. It is established that technical productivity of bulldozer decreases on 20,6 % at change of size of a piece of rock mass from 29 to 800 mm. The obtained information allows to plan in advance the mode of operation of mining equipment at detection of changes in fractional composition of boulder-gravel-sand mass.

Keywords: fluvioglacial deposits; fractional composition; average rock piece size; bulldozer; technical productivity; overburden.

Стаття надійшла до редакції 18.10.2024.