

DOI: 10.20535/2707-2096.7.2022.252758

УДК 622.271

І.Д. Литвинчук, аспірант
ORCID: 0000-0003-3702-173X

О.О. Фролов*, д.т.н, проф.
ORCID: 0000-0001-8053-2653

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна

* Відповідальний автор: frolov@geobud.kiev.ua

Стаття подана 12.05.2022; Стаття прийнята 13.06.2022

ОБГРУНТУВАННЯ БУЛЬДОЗЕРНО-ЕКСКАВАТОРНО-АВТОМОБІЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ ЗНЯТТЯ РОЗКРИВНОГО ШАРУ ФЛЮВІОГЛЯЦІАЛЬНИХ ВІДКЛАДІВ В УМОВАХ СОСНІВСЬКОГО РОДОВИЩА ГРАНІТІВ

Мета та завдання. Метою досліджень є обґрунтування доцільності та ефективності використання бульдозерно-екскаваторно-автомобільного комплексу із застосуванням бульдозерів-розпушувачів для зняття розкривного шару флювіогляціальних відкладів в умовах Соснівського родовища гранітів. Для досягнення поставленої мети необхідно: встановити закономірності поширення і особливості залягання флювіогляціальних відкладів; проаналізувати існуючі технологічні схеми розробки гравійно-піщаних покладів; обґрунтувати необхідність застосування технологічного комплексу обладнання для виїмання флювіогляціальних відкладів в умовах кар'єру; встановити залежність продуктивності екскаватора від середнього розміру шматка породи.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених задач застосовано комплексний підхід: аналіз і узагальнення попередніх досліджень щодо особливостей залягання флювіогляціальних відкладів та можливостей використання комплексів обладнання з розробки гравійно-піщаних гірських масивів; технологічне обґрунтування пропонуваніх інженерно-наукових рішень; аналітичний розрахунок змінної продуктивності екскаватора залежно від середнього розміру шматка породи.

Наукова новизна. Обґрунтована можливість застосування бульдозерно-екскаваторно-автомобільного комплексу обладнання для зняття розкривного шару флювіогляціальних відкладів на кар'єрах скельних гірських порід. Отримана аналітична залежність зміни продуктивності екскаватора від середнього розміру шматка порід флювіогляціальних відкладів.

Висновки та практичне значення статті. Встановлено, що при зміні середньої крупності гравійно-піщаного матеріалу з 20 до 200 мм продуктивність екскаватора зменшується у 1,59 рази. Доведено, що продуктивність екскаватора типу «пряма лопата» вище на 17% ніж продуктивність екскаватора зі зворотною лопатою. Для умов кар'єру Соснівського родовища гранітів, де середньозважений розмір шматка флювіогляціальних відкладів становить 171 мм, змінна продуктивність екскаватора становить: по першій технологічній схемі (гідравлічний екскаватор зі зворотною лопатою, розміщено на покрівлі відкладів) – 474,1 м³/зміну; по другій технологічній схемі (екскаватор «пряма лопата» знаходиться на нижньому видобувному горизонті) – 553,1 м³/зміну.

Ключові слова: флювіогляціальні відклади, кар'єр, технологічні схеми, комплекс обладнання, продуктивність екскаватора, гравійно-піщані породи.

ВСТУП

Актуальність теми. При розробці родовищ корисних копалин відкритим способом нерідко виявляються нові закономірності будови осадового комплексу верхньої частини товщі кристалічного фундаменту. Зокрема, це стосується флювіогляціальних відкладів, які поширені в достатній кількості на території України. До особливостей їхнього залягання належать [1-3]:

- значний діапазон змін фізико-механічних властивостей гірських порід, що входять до складу флювіогляціальних відкладів та їхнього гранулометричного складу;
- різноманітність умов залягання, в тому числі наявність прошарків;
- різний ступінь обводненості флювіогляціальних відкладів;
- значна зміна якісних показників в межах одного родовища.

Своєчасність та якість виявлення цих особливостей впливає на ефективність розробки флювіогляціальних відкладів. Дуже важливе значення має достовірність геологічної інформації на стадії інженерно-геологічних вишукувань. Зокрема, врахування закономірностей та особливостей умов залягання відкладів в межах контуру підрахунку запасів, а саме фракційний склад гравійно-піщаної маси, дозволяє, вже на стадії розробки робочого проекту, передбачати організаційно-технологічні заходи, що унеможливають ускладнення процесу їх вилучення.

При розробці родовищ скельних гірських порід флювіогляціальні відклади, що виявлені у покриваючих породах, зазвичай відносять до розкриву. Тому, в переважній кількості випадків, на умови їхнього залягання та закономірності розподілу фракційного складу особливо не звертають. В подальшому при розробці родовища, це може призвести до виникнення значних проблем при знятті шару розкривних порід.

Також слід відзначити, що останніми роками у гірництві науковці виділяють декілька пріоритетних напрямків вдосконалення технології видобутку корисних копалин відкритим способом [3]. До них належать: встановлення умов безпечної роботи гірничого обладнання; обґрунтування та встановлення ефективних параметрів систем розробки; удосконалення технологічних схем видобування корисних копалин; розрахунок та вибір найбільш оптимальних технологічних комплексів обладнання. З огляду на особливості виймання флювіогляціальних відкладів на родовищах скельних порід та можливі ускладнення, що можуть виникати, питання безпечності та ефективності їх розробки є особливо гострими. Тому удосконалення технології їхнього виймання, зокрема встановлення та розрахунок необхідного технологічного комплексу обладнання для конкретних умов родовища, є актуальною науково-технічною задачею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Як відомо, флювіогляціальні відклади належать до групи четвертинних відкладів, що утворилися в результаті вимивання, перенесення і відкладення матеріалу морен потоками талих льодовикових вод.

На території України поширені еолово-делювіальні, льодовикові та алювіальні континентальні типи четвертинних відкладів (рис. 1). Власне льодовикові відклади (або морена) поширені в межах давніх (окського та дніпровського) зледенінь [4, 5].

Флювіогляціальні відклади зазвичай мають певне сортування, шаруватість і залягають у формі конусів виносу, лінз та русел внутрішньольодовикових потоків. Найбільш поширеною формою їхнього залягання є конуси виносу з розмивом на кінцевих і основних моренах. Конуси виносу зазвичай складені пачками добре промитої і відсортованої гірничої маси з валунів, піску і гравію (рис. 2) [6]. Потужність їх найчастіше є невитриманою і коливається від 0,5...3,5 м зверху морен до 16...35 м на грядках і пагорбах. Флювіогляціальні відклади нерідко містять лінзи, катуні і брили.



Рисунок 1 – Спрощена карта четвертинних льодовикових відкладів України: 1 – південна межа дніпровських зледенінь; 2 – південна межа Ельстерського (Окського) зледеніння; 3 – гляціодислокації (1 – Канів, 2 – Пивиха, 3 – Калитва); 4 – зона випадіння флювіогляціальних відкладів; 5 – територія лесових та лесовидних відкладів; 6 – ділянки, де льодовикові відклади не поширені; 7 – територія, що досліджується [5]



Рисунок 2 – Приклад флювіогляціальних відкладів у формі конусу виносу в кар'єрі [6]

Згідно [7], 10-20 % кар'єрів будівельних матеріалів, які розміщені в межах дніпровських зледенінь, належать до гірничих підприємств, що розробляють піщано-гравійні родовища флювіогляціальних відкладів як корисні копалини для виробництва піску, каменю та щебню. Однак, як вже зазначалося вище, при видобуванні скельних порід на щебінь або на блоки, флювіогляціальні відклади відносять до розкривних порід, оскільки вони покривають скельний масив та перекривають доступ до корисної копалини [7]. Традиційні способи розробки відкладів, що використовуються при їх видобуванні в якості корисних копалин, на родовищах скельних матеріалів у більшості випадків є малопридатними і навіть неможливими. Крім того дослідники відмічають той факт, що проблема виймання розкривних флювіогляціальних відкладів зазвичай виникає не на стадії розкриття родовища, а вже в процесі відробки кар'єру і зняття шару піщано-гравійної гірничої маси є проблематичним через недостатність робочого простору та відсутність відповідного виймального обладнання.

Загалом, технологічні схеми розробки піщано-гравійних відкладів та застосовуване обладнання є різноманітними. Вони залежать як від гірничо-геологічних та гідрогеологічних умов, об'ємів та потужності відкладів, терміну експлуатації кар'єра, фракційного складу гірничої маси, так і від наявності на кар'єрі відповідного обладнання, яке повинне забезпечувати ефективне виймання флювіогляціальних відкладів. Також слід враховувати, що гравійно-валунний матеріал може бути як по всій площі відкладу, так і утворювати локальні області накопичення.

Найбільш поширеним обладнанням для розробки флювіогляціальних відкладів є екскаватори типу «механічна лопата», гідравлічні екскаватори з прямою або зворотною лопатою [8] і драглайни. Значно рідше використовують роторні і багаточерпакові екскаватори, фронтальні навантажувачі, бульдозери, колісні скрепери [9], канатні скрепери, баштові

екскаватори [10]. Якщо родовище обводнене, то застосовують обладнання гідромеханізації, а саме плаваючі земснаряди з різними видами виконавчого органу: грейферні ковші або черпаковий ланцюг [8].

Для виймання флювіогляціальних відкладів також можуть застосовуватися комбіновані скреперно-бульдозерні та бульдозерно-екскаваторні технологічні комплекси [9, 11]. Вони необхідні для досягнення умов щодо максимальної продуктивності кожної одиниці обладнання. В цьому разі зменшується відстань переміщення гірничої маси бульдозерами. Однак, сфера ефективного застосування скреперно-бульдозерного комплексу обмежується наявністю валунів у піщано-гравійній масі, а бульдозерно-екскаваторні технологічні комплекси є найбільш ефективними для виймання розкриву на кар'єрах з однорідною гірничою масою.

Таким чином, на вибір типу обладнання при знятті розкриву, представленого флювіогляціальними відкладами, впливає обводненість гірського масиву, наявність (відсутність) валунів, фракційний склад відкладів, відстань переміщення гірничої маси та достатній фронт гірничих робіт.

Мета дослідження. Отже, на підставі аналізу наукових джерел та інженерно-виробничого досвіду розробки гравійно-піщаної маси сформульовано мету досліджень статті, яка полягає у обґрунтуванні застосування, виборі та розрахунку параметрів технологічного комплексу обладнання для виймання флювіогляціальних відкладів.

Актуальність вирішення завдання з обґрунтування вибору технологічного комплексу обладнання для розробки флювіогляціальних відкладів зумовлена ускладненнями, які виникли на Соснівському родовищі гранітів при знятті розкривних порід.

ОСНОВНА ЧАСТИНА

Геологічна ситуація в межах досліджуваного родовища. В межах Соснівського родовища флювіогляціальні відклади поширені по всій площі і залягають на корі вивітрювання гранітів. Потужність відкладів коливається від 1 м до 25,6 м і в середньому становить 10 м. Флювіогляціальні відклади Соснівського родовища є косошаруватими у верхніх товщах та різноманітні за гранулометричним складом. Літологічно породи розкриву представленні знизу вгору наступним чином:

– глина сіра щільна зі значним вмістом (до 45 %) гравію та валунів кристалічних порід з перешаруванням та лінзами супіску, суглинку та піску (рис. 3);



Рисунок 3 – Гравійно-валунний матеріал на Соснівському родовищі в північній частині розкривного горизонту

– пісок дрібно-середньозернистий, світло-сірий до жовто-сірого кольору, з прошарками глини, вміст гравійно-валунного матеріалу в піску зменшується до 20-25%. В північній частині кар'єру у флювіогляціальних відкладах спостерігається коса шаруватість піску та супіску з прошарками суглинку;

– суглинок піщанистий сірий, світло-сірого кольору, з лінзами піску. В пластах суглинку вміст гравію кристалічних порід становить від 5 до 10 %. Також у верхній частині прошарку є залишки рослин та деревини.

Знімки, що наведені на рис. 3, надають уявлення про катуни кристалічних порід. Їхні розміри коливаються від сантиметрів до 3,0 м, що характеризує масштаб явища [12].

Сучасний стан розкривних робіт в кар'єрі та запропоновані технологічні рішення.

При розробці Соснівського родовища гранітів виникли складнощі зі зняттям шару флювіогляціальних відкладів на розкривному уступі в північно-східній частині кар'єру. Виявилось, що ці відклади на окремих ділянках родовища мають значний вміст гравію та валунів (від 40 до 80%), а існуюче на підприємстві обладнання за своїми технічними характеристиками не здатне здійснити вимання розкривних порід на цій ділянці [7]. На рис. 4 представлено приблизний розподіл гранулометричного складу флювіогляціальних відкладів за фракціями. Розрахунковий середній розмір шматка гірничої маси становить 171 мм.

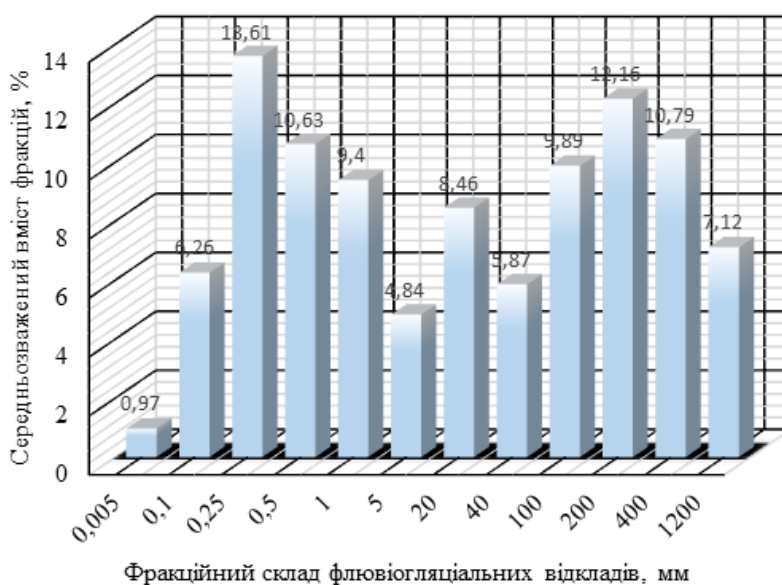


Рисунок 4 – Розподіл гранулометричного складу флювіогляціальних відкладів за фракціями

Спроба виконати підготовку флювіогляціальних відкладів до вимання буропідривним способом виявилася невдалою. Під час буріння свердловин відбувається заклинування бурових штанг в гірському масиві через наявність великої кількості галько-валунного матеріалу (рис. 5). Отже, дана ситуація потребує розробки спеціальних технологічних рішень, які повинні ґрунтуватися на детальному вивченні структури залягання флювіогляціальних відкладів, їх фракційного складу та рівномірності розподілу фракцій, існуючих технологій розробки піщано-гравійних родовищ та інноваційних підходів до вирішення цієї проблеми.

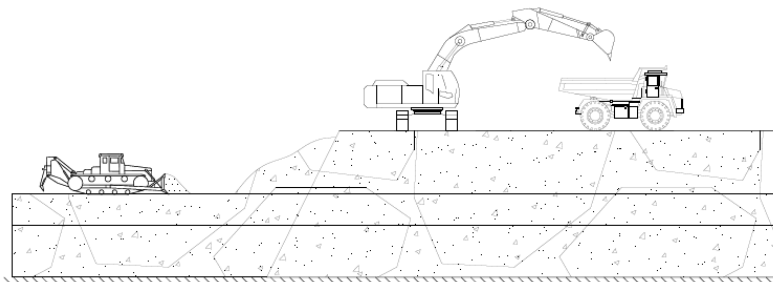
За результатами науково-технічного аналізу існуючого стану гірничих робіт та наявного обладнання на кар'єрі Соснівського родовища, а також аналізу можливостей різних технологічних комплексів обладнання щодо відробки шару флювіогляціальних відкладів автори прийшли до висновку, що найбільш технологічно доцільним буде впровадження бульдозерно-екскаваторно-автомобільного комплексу із застосуванням бульдозерів-розпушувачів [13].



Рисунок 5 – Заклинена бурова штанга в товщі флювіогляціальних відкладів на кар'єрі Соснівського родовища гранітів [7]

Встановлено, що, залежно від розмірів робочої зони, можливі два варіанти роботи бульдозерно-екскаваторно-автомобільного комплексу. Перший варіант передбачає використання гідравлічного екскаватора зі зворотною лопатою, який розміщується на покрівлі флювіогляціальних відкладів (рис. 6, а) [14]. У другому варіанті пропонується застосування екскаватора з прямою лопатою, який навантажує гравійно-піщану масу, що скидає бульдозер, в автосамоскиди на нижче розташованому горизонті скельних порід (рис. 6, б). Представлені комплекси обладнання є також найбільш прийнятними за можливостями їхньої роботи в обмеженому робочому просторі та при вмісті у флювіогляціальних відкладах значної кількості валунів, які зрушуються і переміщуються потужними бульдозерами-розпушувачами.

а)



б)

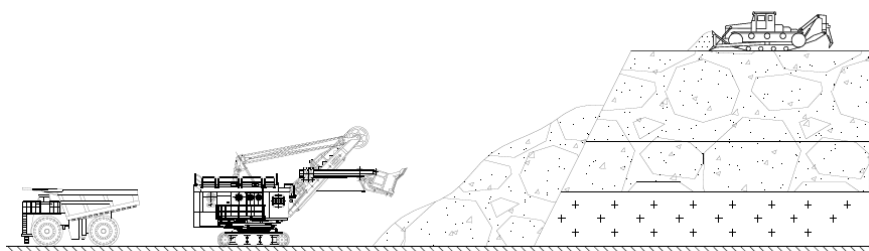


Рисунок 6 – Технологічні схеми виймання флювіогляціальних відкладів із застосуванням: а – гідравлічного екскаватору зі зворотною лопатою; б – екскаватору типу «пряма лопата» з нижче розташованого горизонту

При цьому, експлуатаційну продуктивність вищезазначеного комплексу можуть лімітувати: продуктивність транспортної ланки; продуктивність екскаватора; продуктивність бульдозера-розпушувача.

На тривалість циклу $t_{ц}$ екскавації, який є одним з основних параметрів, що визначає змінну продуктивність екскаватора, суттєво впливають середньозважений розмір шматка гірничої маси та рівномірність розподілу фракцій у гірничій масі (логарифмічна дисперсія) [15]. За результатами хронометражних спостережень науковці отримали емпіричну залежність

тривалості циклу екскавації гірничої маси $t_{ц}$, с, від середньозваженого розміру шматка гірничої маси:

$$t_{ц} = a \cdot d_{сер}^b \quad (1)$$

де $d_{сер}$ – середньозважений розмір шматка породи у гірничій масі, м; a , b – емпіричні коефіцієнти, які залежать від рівномірності розподілу фракцій в масиві (дисперсія).

Згідно [15], при рівномірному розподілі фракцій (дисперсія $D = 0,8$) по гірничій масі значення коефіцієнтів будуть становити – $a = 36$, $b = 0,16$; при нерівномірному розподілі ($D = 1,0$) – $a = 49,4$, $b = 0,24$; для гірничої маси з дуже нерівномірним розподілом фракцій та наявності в ній негабаритних шматків породи (дисперсія $D = 1,3$), значення емпіричних коефіцієнтів становлять $a = 53,9$, $b = 0,2$.

На рис. 7 наведено графік залежності зміни тривалості циклу екскаватора від середньозваженого розміру шматка флювіогляціальних відкладів $d_{сер}$, мм, у гірничій масі. На графіку спостерігається поступове зростання тривалості циклу зі збільшенням середнього розміру шматка у фракційному складі гравійно-піщаної маси, що є цілком логічним і закономірним, незалежно від рівномірності розподілу фракцій у гірничій масі. Відмічаємо також, що для гірничої маси з негабаритними шматками породи ($D = 1,3$) тривалість циклу екскавації збільшується приблизно на 5...6 с в порівнянні з гірничою масою при дисперсії $D = 1,0$.

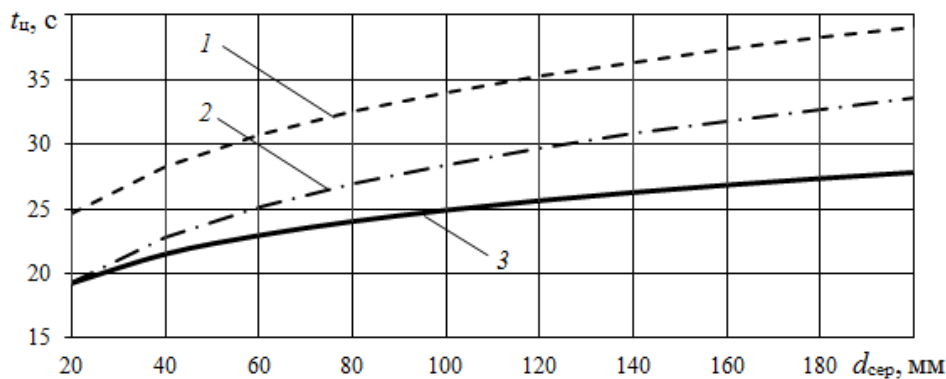


Рисунок 7 – Залежність зміни тривалості циклу екскаватора від середнього розміру шматка флювіогляціальних відкладів при різних показниках дисперсії D : 1 – $D = 0,8$; 2 – $D = 1,0$; 3 – $D = 1,3$

В загальному вигляді змінна продуктивність екскаватора може бути представлена формулою:

$$Q_{зм} = \frac{3600 \cdot E}{t_{ц}} \cdot T_{зм} \cdot k_e \cdot k_3 \cdot k_{в,р}, \text{ м}^3/\text{зм} \quad (2)$$

де E – ємність ковша екскаватора, м³; $T_{зм}$ – тривалість робочої зміни, год; $t_{ц}$ – тривалість циклу екскавації, с; k_e – коефіцієнт екскавації [2]; k_3 – коефіцієнт впливу параметрів вибою; $k_{в,р}$ – коефіцієнт використання екскаватора в часі, $k_{в,р} = 0,6 \dots 0,7$.

Коефіцієнт екскавації визначають [2]:

$$k_e = \frac{k_{н,к}}{k_{р,к}}, \quad (3)$$

де $k_{н,к}$ – коефіцієнт наповнення ковша (для зворотної лопати $k_{н,к} = 1$; для прямої лопати $k_{н,к} = 1,05$); $k_{р,к}$ – коефіцієнт розпушення гірничої маси в ковші, а коефіцієнт впливу параметрів вибою становить:

$$k_3 = k_h \cdot k_\alpha \cdot k_{нав} \cdot k_\kappa, \quad (4)$$

де k_h – коефіцієнт, що враховує висоту вибою на заповнення ковша екскаватора, $k_h = 0,95$; k_α – коефіцієнт, що враховує вплив кута повороту екскаватора на розвантаження (для $180^\circ - k_\alpha = 0,7$, для $90^\circ - k_\alpha = 1,0$) [14]; $k_{\text{нав}}$ – коефіцієнт, що враховує умови навантаження породи в транспортний засіб (для навантаження гірничої маси екскаватором типу зворотна лопата $k_{\text{нав}} = 0,9$; для екскаватора з прямою лопатою $k_{\text{нав}} = 1,0$ [2]); k_k – коефіцієнт, що враховує кваліфікацію машиніста, $k_k = 0,85$.

З урахуванням формул (1), (3) та (4) продуктивність екскаватора буде дорівнювати

$$Q_{\text{зм}} = \frac{3600 \cdot E}{a \cdot d_{\text{сер}}^b} \cdot T_{\text{зм}} \cdot \frac{k_{\text{н.к}}}{k_{\text{р.к}}} \cdot k_h \cdot k_\alpha \cdot k_{\text{нав}} \cdot k_k \cdot k_{\text{в.р}}, \text{ м}^3/\text{зм} \quad (5)$$

Для умов кар'єру Соснівського родовища гранітів для двох варіантів технологічної схеми виймання флювіогляціальних відкладів, у відповідності до (5), побудовані графіки залежності зміни змінної продуктивності екскаватора від середнього значення шматка породи у гірничій масі (рис. 8). При цьому було прийнято: ємність ковша Volvo EC460BLC – $E = 2,1 \text{ м}^3$; робоча зміна тривалістю $T_{\text{зм}} = 8$ год; коефіцієнт розпушення гірничої маси у ковші – $k_{\text{р.к}} = 1,2$; коефіцієнт використання екскаватора у часі – $k_{\text{в.р}} = 0,7$; кут повороту екскаватора на розвантаження – 180° , тобто $k_\alpha = 0,7$. Оскільки у флювіогляціальних відкладах є значна кількість валунів (див. рис. 3), то емпіричні коефіцієнти, які залежать від рівномірності розподілу гранулометричного складу, були прийняті для значень дисперсії $D = 1,3$, тобто $a = 53,9$ і $b = 0,2$.

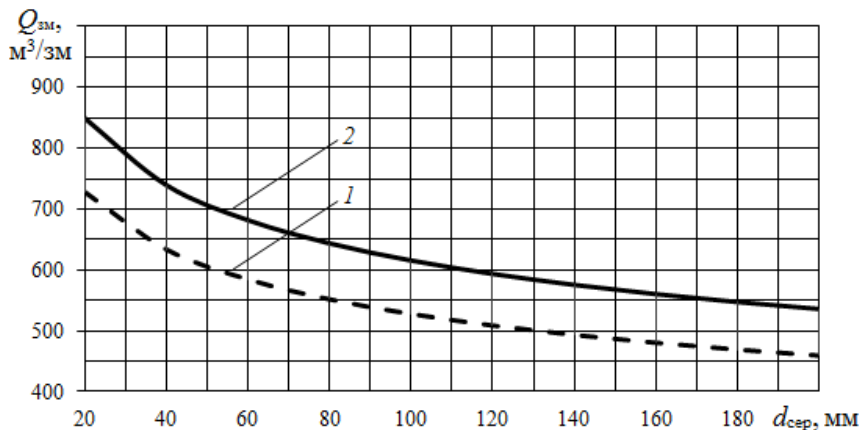


Рисунок 8 – Залежність змінної продуктивності екскаватора від середнього розміру шматка гравійно-піщаної гірничої маси: 1 – при розміщенні екскаватора зі зворотною лопатою на покрівлі флювіогляціальних відкладів; 2 – при розміщенні екскаватора типу «пряма лопата» на нижче розташованому робочому горизонті

Аналіз залежностей на рис. 8 показує, що змінна продуктивність екскаватора типу «пряма лопата» вище на 17% від продуктивності екскаватора зі зворотною лопатою. В досліджуваному інтервалі зміни середнього значення розміру шматка гравійно-піщаної маси з 20 до 200 мм продуктивність екскаваторів зменшується 1,59 рази: у разі застосування зворотної лопати з $728,2 \text{ м}^3/\text{змін}$ до $459,4 \text{ м}^3/\text{змін}$; при використанні прямої лопати з $849,5 \text{ м}^3/\text{змін}$ до $536,0 \text{ м}^3/\text{змін}$.

У відповідності до отриманого значення середнього розміру шматка гірничої маси розкриття на Соснівському родовищі гранітів, яке складає 171 мм, згідно рис. 4, продуктивність екскаваторів буде дорівнювати:

- за першою схемою відробки $474,1 \text{ м}^3/\text{змін}$ (див. рис. 6, а);
- за другою схемою відробки $553,1 \text{ м}^3/\text{змін}$ (див. рис. 6, б).

Тривалість циклу екскавації для обох технологічних схем – 37,9 с.

Отже, основною причиною зниження продуктивності екскаваторів є збільшення тривалості робочого циклу екскавації, яка залежить від середнього розміру шматка

флювіогляціальних відкладів та нерівномірності розподілу фракційного складу в гірничій масі.

ВИСНОВКИ та практичне значення

З урахуванням особливостей залягання флювіогляціальних відкладів, аналізу існуючих технологічних схем їхньої розробки, а також результатів оцінки сучасного стану гірничих робіт на кар'єрі Соснівського родовища гранітів запропоновано для зняття розкривного шару використовувати комбінований бульдозерно-екскаваторно-автомобільний комплекс із застосуванням бульдозерів-розпушувачів.

Отримана аналітична залежність зміни змінної продуктивності екскаватора від середнього розміру шматка порід флювіогляціальних відкладів для умов Соснівського кар'єру. Встановлено, що при зміні середньої крупності гравійно-піщаного матеріалу з 20 до 200 мм продуктивність екскаваторів зменшується у 1,59 рази, зокрема – для зворотної лопати з 728,2 м³/зміну до 459,4 м³/зміну; для прямої лопати з 849,5 м³/зміну до 536,0 м³/зміну. Доведено, що продуктивність екскаватора типу «пряма лопата» вище на 17% ніж продуктивність екскаватора зі зворотною лопатою.

Враховуючи, що середньозважений розмір шматка гірничої маси флювіогляціальних відкладів для умов Соснівського кар'єру складає 171 мм, змінна продуктивність екскаваторів буде становити:

- в першій технологічній схемі (гідравлічний екскаватор зі зворотною лопатою, розміщено на покрівлі флювіогляціальних відкладів) – 474,1 м³/зміну;
- в другій технологічній схемі (екскаватор «пряма лопата» розміщується на нижче розташованому горизонті і вантажить породу, що скидає бульдозер) – 553,1 м³/зміну.

Тривалість циклу екскавації валунно-гравійно-піщаної маси для даних гірничо-технічних умов розробки становить 37,9 с.

Зважаючи на складну структуру і певні особливості залягання флювіогляціальних порід розкриття, а також на обмеженість робочої зони по їхньому вийманню, доцільно в подальшому визначати продуктивність усього технологічного комплексу обладнання, а не окремих одиниць. А саме, розрахункову змінну продуктивність екскаватора необхідно узгоджувати з продуктивністю бульдозера-розпушувача та автосамоскида. Це буде визначати напрямок подальших наукових досліджень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Н. И. Березовский, С. Н. Березовский, С. В. Довнар и С. Г. Оника, Разработка алгоритмов для управления производственными технологиями: монография. Минск, Беларусь: БИП-С Плюс, 2011.
- [2] Ю. Д. Буянов и А. А. Краснопольский, *Разработка месторождений нерудных полезных ископаемых*. Москва, СССР: Недра, 1980.
- [3] С. Г. Оника, *Проектирование карьеров*. Минск, Беларусь: БНТУ, 2006.
- [4] В. В. Манюк, "Про зміння положення південної границі Дніпровського (риського) зледеніння", *Вісник Дніпропетровського університету. Серія: Геологія. Географія*, т. 25(2), №21, с. 99-110, 2017. <https://doi.org/10.15421/111724>
- [5] Ohar, "Carboniferous fauna from erratics in the Hradyzk area (Poltava region, Ukraine): paleo-ice streams indicator of the Dnipro glacial maximum", *Historical Biology*, 33:1, pp.78-87, 2021. <https://doi.org/10.1080/08912963.2019.1710835>
- [6] М. Е. Комаровский, *Учебная общегеологическая практика на Минском полигоне: учебное методическое пособие*. Минск, Беларусь: БГУ, 2011.
- [7] І. Д. Литвинчук, О. О. Фролов, "Проблеми виймання флювіогляціальних відкладів на розкривних уступах родовищ скельних будівельних порід". *Тези VIII Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Перспективи розвитку гірничої справи та раціонального використання природних ресурсів»*, Житомир: Житомирська політехніка, с. 65-69, 2021.

- [8] Н. А. Малышева, В. Н. Сиренко, *Технология разработки месторождений нерудных строительных материалов*. Москва: Недра, 1977.
- [9] Б. Р. Ракишев, *Технологические комплексы открытых горных работ*: Учебник. Алматы, Казахстан, 2015
- [10]. Ю. Д. Буянов, *Разработка гравийно-песчаных месторождений*. Москва, СССР: едра, 1988.
- [11] А. Ю. Дриженко, *Карьерные технологические горнотранспортные системы*: монография, Днепр, Украина: НГУ, 2011.
- [12] В. Г. Пазинич, *Реконструкція постгляціальних подій в басейні Дніпра*: монографія, 2019. https://www.academia.edu/11219641/Reconstruction_of_postglacial_events_in_Dnipro_river_basin
- [13] К. Р. Аргимбаев, Д. Н. Лигоцкий, и Е. В. Логинов, "Бульдозерная технология открытой разработки известняково-доломитовых месторождений", *Горный информационно-аналитический бюллетень*, №3, с.16-29, 2020. <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2020-3-0-16-29>
- [14] O. Frolov, M. Beltek, "Influence of the hydraulic excavator location with a backhoe in the face on the efficiency of rock mass excavation", *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. Кременчук: КрНУ*, вип. 3/2021 (128), с. 70-75, 2021. <https://doi.org/10.30929/1995-0519.2021.3.70-75>
- [15] В. К. Угольников, С. Е. Гавришев, Н. В. Угольников, "Влияние грануло-метрического состава горной массы на производительность экскаваторов". *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 2, т.6, с. 73–81, 2007.

I. Lytvynchuk, PhD student

ORCID: 0000-0003-3702-173X

A. Frolov*, Doct. Eng. Sc., Docent, Prof.

ORCID: 0000-0001-8053-2653

Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Kyiv, Ukraine

*Corresponding author: frolov@geobud.kiev.ua

Received 12.05.2022; Accepted 13.06.2022

SUBSTANTIATION OF BULLDOZER-EXCAVATOR-AUTOMOBILE COMPLEX FOR REMOVAL OF OVERBURDEN LAYER OF FLUVIOGLACIAL DEPOSITS IN THE CONDITIONS OF SOSNIVSKY GRANITE DEPOSIT

Purpose and task. The aim of the research is to substantiate the expediency and efficiency of using a bulldozer-excavator-automobile complex with the use of ripper bulldozers to remove the overburden layer of fluvioglacial deposits in the conditions of the Sosnivsky granite deposit. To achieve this goal, it is necessary to: establish the patterns of distribution and features of fluvioglacial deposits; to analyze possible technological schemes of development of gravel and sand deposits; justify the need and effectiveness of the technological complex of equipment for the removal of fluvioglacial deposits in the quarry; to establish the dependence of the variable productivity of the excavator on the average size of the piece of rock.

Research methods. An integrated approach was used to solve the set tasks: analysis and generalization of previous research on the peculiarities of fluvioglacial deposits and the possibility of using equipment complexes for the development of gravel and sand mountains; technological substantiation of the offered engineering and scientific decisions; analytical calculation of variable productivity of the excavator depending on the average size of a piece of rock.

Scientific novelty. The possibility of using a bulldozer-excavator-automobile complex of equipment for removing the overburden layer of fluvioglacial deposits in rock quarries has been

substantiated. The analytical dependence of the change in excavator productivity on the average piece size of fluvioglacial deposits is obtained.

Conclusions and practical significance. It is established that when the average size of gravel-sand material changes from 20 to 200 mm, the productivity of the excavator decreases by 1,59 times. It is proved that the productivity of the excavator type "straight shovel" is 17% higher than the productivity of the backhoe excavator. For the conditions of the Sosnivsky granite deposit quarry, where the weighted average size of a piece of fluvioglacial sediment is 171 mm, the variable productivity of the excavator is: according to the first technological scheme (hydraulic backhoe excavator placed on the roof of the sediment) – 474,1 m³/shift; according to the second technological scheme (excavator "straight shovel" is located on the lower production horizon) – 553,1 m³/shift.

Keywords: fluvioglacial deposits, quarry, technological schemes, equipment complex, excavator productivity, gravel-sand rocks.

REFERENCES

- [1] N. I. Berezovsky, S. N. Berezovsky, S. V. Dovnar and S. G. Onika, Development of algorithms for managing production technologies: monograph. Minsk, Belarus: BIP-S Plus, 2011.
- [2] Yu. D. Buyanov and A. A. Krasnopolsky, *Development of deposits of non-metallic minerals*. Moscow, USSR: Nedra, 1980.
- [3] S.G. Onika, *Quarry design*. Minsk, Belarus: BNTU, 2006.
- [4] V. V. Manyuk, "On the change in the position of the southern boundary of the Dnieper (ris) glaciation", *Bulletin of the Dnepropetrovsk University. Series: Geology. Geography*, vol. 25(2), no. 21, pp. 99-110, 2017. <https://doi.org/10.15421/111724>
- [5] Ohar, "Carboniferous fauna from erratics in the Hradyzk area (Poltava region, Ukraine): paleo-ice streams indicator of the Dnipro glacial maximum", *Historical Biology*, 33:1, pp.78-87, 2021. <https://doi.org/10.1080/08912963.2019.1710835>
- [6] M. E. Komarovskiy, *Educational general geological practice at the Minsk polygon: educational methodological guide*. Minsk, Belarus: BSU, 2011.
- [7] I. D. Litvinchuk, A. A. Frolov, "Problems of extracting fluvioglacial deposits on overburden ledges of rock deposits." *Abstracts of the VII All-Ukrainian scientific-practical conference of students, graduate students and young scientists "Prospects for the development of mining and the rational use of natural resources"*. Zhytomyr: Zhytomyr Polytechnic, pp. 65-69, 2021.
- [8] N. A. Malysheva, V. N. Sirenko, *Technology of development of deposits of non-metallic building materials*. Moscow: Nedra, 1977.
- [9] B. R. Rakishev, *Technological complexes of open pit mining: Textbook*. Almaty, Kazakhstan, 2015
- [10] Yu. D. Buyanov, Development of gravel-sand deposits. Moscow, USSR: Nedra, 1988.
- [11] A. Yu. Drizhenko, Career technological mining and transport systems: monograph. Dnipro, Ukraine: NSU, 2011.
- [12] V. G. Pazinich, Reconstruction of post-glacial events in the Dnieper basin: monograph, 2019. https://www.academia.edu/11219641/Reconstruction_of_postglacial_events_in_Dnipro_river_basin
- [13] K. R. Argimbaev, D. N. Ligotsky and E. V. Loginov, "Bulldozer technology for open-pit mining of limestone-dolomite deposits". *Mining Information and Analytical Bulletin*, no. 3, pp. 16-29, 2020. <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2020-3-0-16-29>
- [14] O. Frolov, M. Beltek, "Influence of the hydraulic excavator location with a backhoe in the face on the efficiency of rock mass excavation", *Bulletin of the Mykhailo Ostrohradsky KrNU. Kremenchuk: KrNU*, vol. 3/2021 (128), pp. 70-75, 2021. <https://doi.org/10.30929/1995-0519.2021.3.70-75>
- [15] V. K. Ugolnikov, S. E. Gavrishchev, N. V. Ugolnikov, "Influence of the granulometric composition of the rock mass on the performance of excavators", *Mining information and analytical bulletin*, no. 2, vol.6, pp. 73–81, 2007.