

**О.О. Фролов, д.т.н., проф.
І.Д. Литвинчук, аспірант
М.В. Дзьоба, магістр**

*Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*

Встановлення закономірностей зміни продуктивності екскаватора від гранулометричного складу флювіогляціальних відкладів на розкритті кар'єру Соснівського родовища гранітів

У статті розглянуто особливості залягання флювіогляціальних відкладів на території України та представлено можливі технології і технологічні схеми розробки флювіогляціальних відкладів залежно від умов залягання покладу та наявності комплексу обладнання. За результатами вишукувань отримано гранулометричний склад гравійно-піщаної гірничої маси на розкритті Соснівського кар'єру з видобутку гранітів на щєбін та встановлено середній розмір шматка флювіогляціальних відкладів.

На підставі аналізу стану гірничих робіт у кар'єрі, можливостей існуючого виймально-навантажувального обладнання та умов застосування різних технологічних схем відробки гравійно-піщаних відкладів запропоновано, для зняття розкритого шару порід, використовувати бульдозерно-екскаваторно-автомобільний комплекс із застосуванням бульдозера-розпушувача. Залежно від параметрів робочої зони, надано дві технологічні схеми роботи обладнання – під час роботи гідравлічного екскаватора зі зворотною лопатою на покрівлі флювіогляціальних відкладів та при розміщенні екскаватора з прямою лопатою на розташованому нижче горизонті, де він вантажить гравійно-піщану масу у автосамоскид, яку скидає бульдозер-розпушувач з розкритого уступу.

Отримано емпіричну та графічні залежності зміни продуктивності екскаватора від середнього розміру шматка флювіогляціальних відкладів для умов кар'єру Соснівського родовища гранітів. Встановлено, що продуктивність екскаватора з прямою лопатою буде вищою, ніж продуктивність екскаватора зі зворотною лопатою на 17 %, а при зміні середнього розміру шматка гравійно-піщаної маси з 20 до 200 мм продуктивності обох типів екскаваторів зменшується у 1,6 раза: 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.

Визначено продуктивності екскаваторів Volvo EC460BLC, які запропоновано використовувати на розкритих роботах Соснівського кар'єру при середньозваженому розмірі шматка валунно-гравійно-піщаної маси 171 мм, а саме: за першою технологічною схемою розробки – 474,1 м³/зміну; за другою – 553,1 м³/зміну.

Ключові слова: флювіогляціальні відклади; гравійно-піщана маса; розкриття; родовище; технологічні схеми; комплекс обладнання; продуктивність екскаватора.

Постановка проблеми та її зв'язок з важливими практичними завданнями. При відкритті розробці родовищ корисних копалин інколи виявляються певні особливості залягання осадового шару порід, зокрема наявність в ньому флювіогляціальних відкладів, які достатньо поширені по Україні. До цих особливостей належать [1–5]: широкий діапазон змін фізико-механічних властивостей гірських порід, що входять до складу флювіогляціальних відкладів та їхнього гранулометричного складу; різноманітність умов залягання; різний ступінь обводненості родовищ. Своєчасність їх виявлення впливає на ефективність розробки флювіогляціальних відкладів. Так знання закономірностей умов залягання відкладів у межах контуру підрахунку запасів дозволяє, ще на стадії проектування розробки родовища, передбачати організаційні і технологічні заходи щодо спрощення процесу їхнього виймання.

Під час оцінки та підрахунку запасів родовищ скельних гірських порід флювіогляціальні відклади, які знаходяться у покриваючому шарі, зазвичай зараховують до розкриття. Тому на умови їхнього залягання і фракційний склад уваги особливо не звертають. Однак у подальшому, за розширення фронту гірничих робіт, це може привести до ускладнень при знятті шару флювіогляціальних відкладів розкритих порід.

З урахуванням існуючих особливостей виймання гравійно-піщаних порід (флювіогляціальних відкладів) на родовищах скельних порід можливі ускладнення, які при цьому можуть виникати, удосконалення технологій та технологічних схем їхнього виймання в конкретних умовах родовища є актуальним науковим завданням.

Актуальність обґрунтування вибору ефективного технологічного комплексу обладнання зумовлена ускладненнями, які виникли під час зняття флювіогляціальних відкладів розкривних порід на Соснівському родовищі гранітів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. З геологічних вишукувань відомо, що флювіогляціальні відклади належать до групи четвертинних відкладів. Територією України найбільш поширені еолово-делювіальні, льодовикові та аллювіальні континентальні типи четвертинних відкладів (рис. 1) [6, 7].



Рис. 1. Карта четвертинних льодовикових відкладів: 1 – південна межа дніпровських зледенінь; 2 – межа Ельстерського зледеніння; 3 – гляціодислокації (1 – Канів, 2 – Пивиха, 3 – Калитва); 4 – зона випадіння флювіогляціальних відкладів; 5 – лесовидні відклади; 6 – зони відсутності льодовикових відкладів [5]

Флювіогляціальні відклади мають певний розподіл за фракційним складом, характеризуються шаруватістю і залягають у формі конусів виносу, лінз і русел внутрішньольодовикових потоків [5]. Найбільш поширена форма їхнього залягання – це конуси виносу з розмивом на кінцевих моренах. Такі конуси зазвичай складені з добре промитої і відсортованої гірничої маси валунів, піску і гравію (рис. 2). Потужність їх коливається зверху морен від 0,5...3,5 м та на грядках і пагорбах до 16...35 м. Флювіогляціальні відклади можуть мати лінзи, катуні і брили.

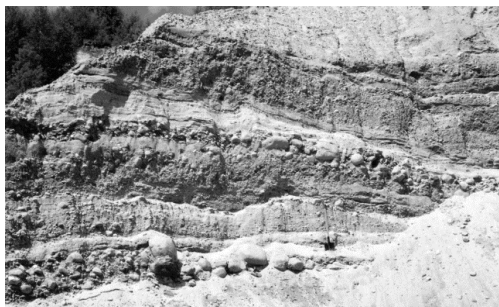


Рис. 2. Приклад флювіогляціальних відкладів у формі конусу виносу в кар'єрі [5]

На Україні до 20 % кар'єрів, що розташовані в межах дніпровських зледенінь, розробляють піщано-гравійні родовища флювіогляціальних відкладів як корисну копалину для подальшого виробництва піску, каменю та щебню [8]. Однак, як вже зазначалося, під час розробки родовищ скельних порід, флювіогляціальні відклади в багатьох випадках зараховують до розкриву, оскільки вони перекривають доступ до корисної копалини. У такому випадку традиційні способи розробки гравійно-піщаних порід зазвичай є непридатними, оскільки проблема виймання розкривних флювіогляціальних відкладів, як правило, виникає не на стадії розкриття родовища, а вже в процесі його відробки. Це відбувається через недостатній робочий простір та відсутність відповідного виймального обладнання.

Існуючі технології та технологічні схеми розробки флювіогляціальних відкладів є різноманітними. Найбільш поширеними є екскаватори типу «механічна лопата», гідравлічні екскаватори, як з прямою, так і зворотною лопатою [9], та драглайни. Рідко застосовують технології з роторними і багаточерпаковими екскаваторами, навантажувачами, бульдозерами [10], скреперами [10] та баштовими екскаваторами [11]. При обводненому родовищі застосовують обладнання гідромеханізації, зокрема плаваючі земснаряди з грейферними ковшами або черпаковим ланцюгом [9]. Також можуть застосовуватися комбіновані

технологічні комплекси: скреперно-бульдозерні та бульдозерно-екскаваторні [10, 12]. В такому випадку значно зменшується відстань переміщення порід бульдозерами.

Отже, сфера ефективного застосування певної технології відробки гравійно-піщаної маси комплексу обмежується умовами залягання покладу (обводненість гірського масиву, наявність (відсутність) валунів, фракційний склад відкладів), технологічними умовами (відстань переміщення гірничої маси та достатній фронт гірничих робіт) та наявністю необхідного комплексу обладнання.

Мета дослідження. На підставі аналізу наукової літератури з питань виймання флювіогляціальних відкладів сформульовано мету досліджень, яка полягає у виявленні закономірностей зміни продуктивності екскаватора від гранулометричного складу розкривної гравійно-піщаної маси на кар'єрі.

Викладення основного матеріалу. Під час розробки Соснівського родовища гранітів на кар'єрі виникли складнощі з виймання флювіогляціальних відкладів на розкривному уступі. Встановлено, що гравійно-піщана маса на окремих ділянках має вміст гравію та валунів від 40 до 80 % (рис. 3).



Рис. 3. Валуні флювіогляціальних відкладів на Соснівському родовищі гранітів

На рисунку 4 представлено гранулометричний склад гравійно-піщаної маси. Розрахунковий середній розмір шматка флювіогляціальних відкладів становить 171 мм.

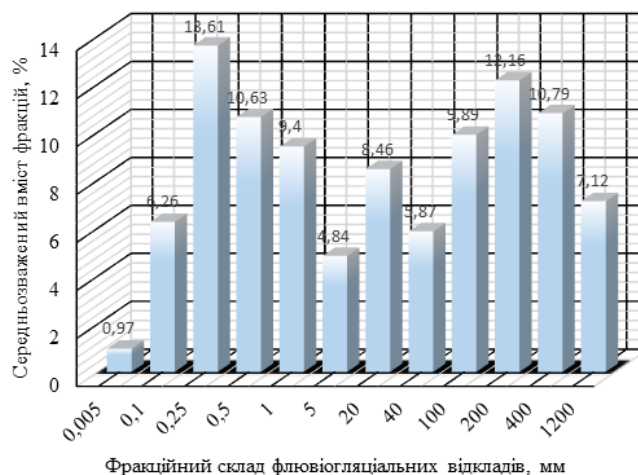


Рис. 4. Розподіл гранулометричного складу флювіогляціальних відкладів за фракціями

Виймально-навантажувальне обладнання, яке є на кар'єрі, за своїми технічними показниками не здатне зняти такі розкривні породи. Намагання підготувати їх до виймання буропідривним способом виявилось марним, оскільки відбувається заклинування бурових штанг у масиві під час буріння вибухових свердловин. Тому така ситуація потребує прийняття спеціальних технологічних рішень, які б вирішили цю проблему. Було виконано аналіз стану гірничих робіт на кар'єрі, можливостей існуючого виймально-навантажувального обладнання та проаналізовано умови застосування різних технологічних схем щодо відробки гравійно-піщаних відкладів. На підставі цього встановлено, що найбільш доцільним у цих умовах розробки буде використання бульдозерно-екскаваторно-автомобільного комплексу обладнання під час застосування бульдозера-розпушувача [13]. При цьому, залежно від параметрів робочої зони, можливі дві технологічні схеми роботи. Згідно з першою схемою використовується гідравлічний екскаватор зі зворотною лопатою, що розташовується на покрівлі розкривного уступу (рис. 5, а) [14]. Відповідно до

другої схеми бульдозер скидає розкривні флювіогляціальні відклади на розташований нижче горизонт скельних порід і звідти екскаватор з прямою лопатою навантажує їх в автосамоскиди (рис. 5, б).

Запропоновані комплекси обладнання є найбільш прийнятними в умовах обмеженого робочого простору та за наявності в гірничій масі значної кількості валунів, зрушення і переміщення яких виконується бульдозером-розпушувачем. Експлуатаційну продуктивність такого комплексу обладнання можуть обмежувати продуктивності транспорту, екскаватора та бульдозера-розпушувача.

Згідно з [15], на тривалість циклу екскавації екскаватора $t_{ц}$, який є одним із основних технологічних параметрів, впливають розмір шматка породи та рівномірність розподілу фракцій в певному об'ємі гірничої маси. В результаті досліджень вчені отримали емпіричну залежність тривалості циклу екскавації від середньозваженого розміру шматка породи у гірничій масі:

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

де $d_{сер}$ – середньозважений розмір шматка, м; a , b – емпіричні коефіцієнти, що характеризують рівномірність розподілу фракцій (дисперсії) у гірничій масі.

За рівномірного розподілу фракцій по гірничій масі (дисперсія $D = 0,8$) чисельні значення коефіцієнтів становлять – $a = 36$, $b = 0,16$; за нерівномірного (дисперсія $D = 1,0$) розподілу фракцій – $a = 49,4$, $b = 0,24$; за дуже нерівномірного розподілу фракцій по гірничій масі та наявності в ній негабариту ($D = 1,3$) значення емпіричних коефіцієнтів – $a = 53,9$, $b = 0,2$.

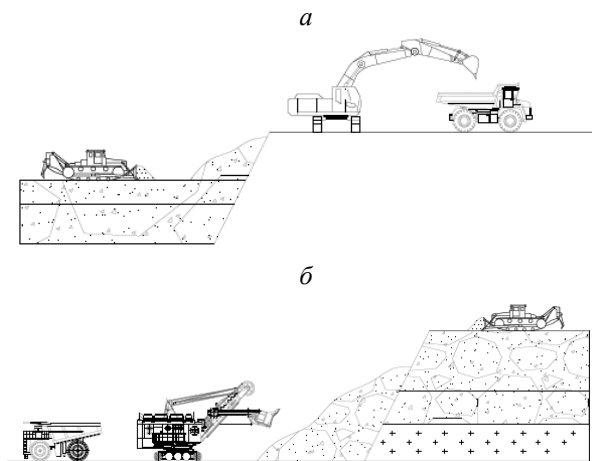


Рис. 5. Технологічні схеми розробки флювіогляціальних відкладів розкривного уступу: а – гідравлічним екскаватором зі зворотною лопатою; б – екскаватором з прямою лопатою з нижнього горизонту

На рисунку 6 показано графік зміни тривалості циклу екскавації від середньозваженого розміру шматка гірничої маси $d_{сер}$. Як видно, для усіх значень, щодо рівномірності розподілу фракцій в гірничій масі, спостерігається зростання тривалості циклу екскавації зі збільшенням середнього значення шматка гравійно-піщаної маси. Слід також зазначити, що для гірничої маси, яка містить негабарити ($D = 1,3$), тривалість циклу екскавації більша на 5...6 с порівняно з екскавацією маси з дисперсією $D = 1,0$.

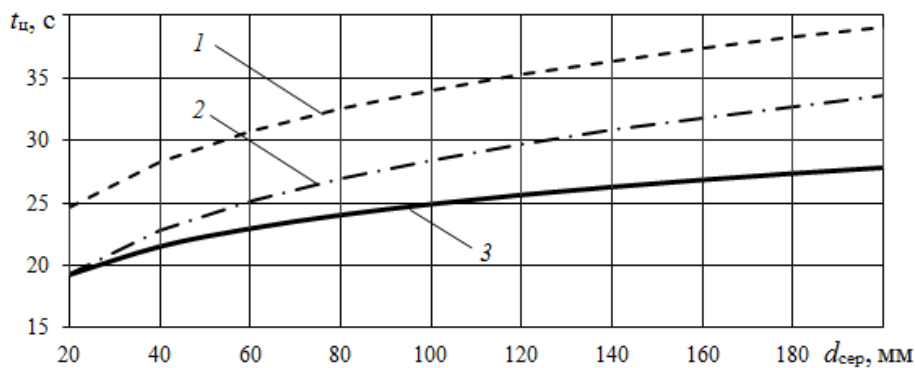


Рис. 6. Зміна тривалості циклу екскаватора від значень середнього розміру шматка гірничої маси за різних показників рівномірності її розподілу (дисперсії D): 1 – $D = 0,8$; 2 – $D = 1,0$; 3 – $D = 1,3$

Продуктивність однокішшевого екскаватора має такий загальний вигляд:

$$Q_{зм} = \frac{3600E}{t_{ц}} T_{зм} k_e k_b k_o, \text{ м}^3/\text{зм}, \quad (2)$$

де E – ємність ковша екскаватора, м^3 ; $t_{ц}$ – тривалість циклу екскавації, с; $T_{зм}$ – тривалість робочої зміни екскаватора, год; k_e – коефіцієнт екскавації [2]; k_b – коефіцієнт, що враховує вплив параметрів вибою; k_o – коефіцієнт використання обладнання у часі, $k_o = 0,6 \dots 0,7$.

Коефіцієнт екскавації розраховують за відомою формулою [2]:

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

де $k_{н,к}$ – коефіцієнт наповнення ковша (для прямої лопати $k_{н,к} = 1,05$; для зворотної $k_{н,к} = 1$) [14];

$k_{р,к}$ – коефіцієнт розпушення гірничої маси.

Коефіцієнт, що враховує вплив параметрів вибою, визначається як:

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

де k_h – коефіцієнт, що враховує висоту вибою при заповненні ковша екскаватора, $k_h = 0,95$; k_α – коефіцієнт впливу кута повороту екскаватора на розвантаження (для $180^\circ - k_\alpha = 0,7$, для $90^\circ - k_\alpha = 1,0$) [14]; $k_{нав}$ – коефіцієнт, що враховує умови навантаження породи в автотранспорт (для екскаватора зі зворотною лопатою $k_{нав} = 0,9$; для екскаватора типу «пряма» лопата $k_{нав} = 1,0$) [2]; k_κ – коефіцієнт врахування ступеню кваліфікації машиніста екскаватора, $k_{нав} = 0,85$.

Якщо формули (1), (3) та (4) підставити у (2), то продуктивність екскаватора становитиме:

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

Для технологічних схем розробки флювіогляціальних відкладів на розкритті, що запропоновані до застосування в умовах Соснівського кар'єру, за формулою (5), побудовано графіки зміни продуктивності екскаватора від середнього розміру шматка гравійно-піщаної маси (рис. 7). Для цих умов прийняті такі значення: ємність ковша екскаватора Volvo EC460BLC – $E = 2,1 \text{ м}^3$; тривалість робочої зміни – $T_{зм} = 8$ год; коефіцієнт розпушення гірничої маси – $k_{р,к} = 1,2$; коефіцієнт використання обладнання у часі – $k_o = 0,7$; кут повороту екскаватора на розвантаження у автотранспорт – 180° , тобто $k_\alpha = 0,7$. Оскільки у гравійно-піщаній масі флювіогляціальних відкладів наявний валунний матеріал, то рівномірність розподілу гранулометричного складу прийнято для значень дисперсії $D = 1,3$, тобто $a = 53,9$ і $b = 0,2$.

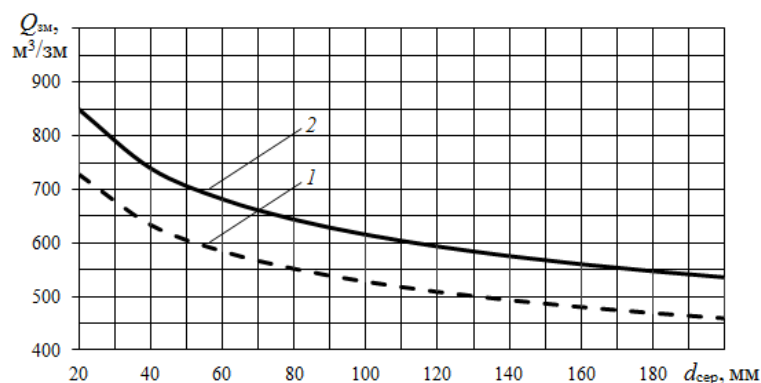


Рис. 7. Залежність продуктивності екскаватора від середнього розміру шматка гірничої маси: 1 – при розміщенні екскаватора зі зворотною лопатою на покрівлі уступу флювіогляціальних відкладів; 2 – при розміщенні екскаватора з прямою лопатою на нижньому робочому горизонті

Згідно з рисунком 7, змінна продуктивність екскаватора з прямою лопатою вища на 17 % від продуктивності екскаватора зі зворотною лопатою. Також спостерігається, що при зміні середнього шматка гравійно-піщаних відкладів з 20 до 200 мм продуктивність обох екскаваторів зменшується у 1,6 раза: для зворотної лопати з $728,2 \text{ м}^3/\text{зм}$ до $459,4 \text{ м}^3/\text{зм}$; для прямої лопати з $849,5 \text{ м}^3/\text{зм}$ до $536,0 \text{ м}^3/\text{зм}$.

Оскільки середньозважене значення розміру шматка породи на розкритті Соснівського родовища гранітів становить 171 мм, то продуктивність екскаватора за першою технологічною схемою буде дорівнювати $474,1 \text{ м}^3/\text{зм}$ (рис. 5, а), а для другої схеми – $553,1 \text{ м}^3/\text{зм}$ (рис. 5, б).

Тривалість циклу екскавації обладнання для технологічних схем відробки становить 37,9 с.

Висновки та перспективи подальших досліджень. У результаті проведених досліджень отримано гранулометричний склад гравійно-піщаної маси на розкритті кар'єру Соснівського родовища гранітів, представленої флювіогляціальними відкладами, та встановлено середній розмір шматка флювіогляціальних відкладів.

Виходячи зі стану гірничих робіт та наявності виймально-навантажувального обладнання на кар'єрі, запропоновано для зняття шару флювіогляціальних відкладів використовувати бульдозерно-екскаваторно-автомобільний комплекс із застосуванням бульдозерів-розпушувачів. При цьому можливі дві технологічні схеми відробки гравійно-піщаної маси залежно від розміру робочої зони. Згідно з першою схемою бульдозер-розпушувач розпушує розкриті породи і переміщує їх до місця навантаження, в цьому випадку гідравлічний екскаватор зі зворотною лопатою розміщується на покрівлі флювіогляціальних відкладів. За другої схеми бульдозер-розпушувач скидає гірничу масу на розташований нижче горизонт скельних порід, де екскаватор з прямою лопатою вантажить гравійно-піщану масу в автосамоскид.

Отримано емпіричну формулу та графік зміни продуктивності екскаватора від середнього розміру шматка флювіогляціальних відкладів для умов кар'єру Соснівського родовища гранітів. Встановлено, що основною причиною зниження продуктивності екскаваторів є збільшення середнього розміру шматка порід та нерівномірність розподілу фракцій по гірничій масі. В цілому ж продуктивність екскаватора з прямою лопатою вище, ніж продуктивність зворотної лопати на 17 %.

Встановлено, що при зміні середнього розміру шматка гравійно-піщаної маси з 20 до 200 мм, продуктивність обох типів екскаваторів зменшується у 1,6 раза: 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.

Оскільки середньозважене значення розміру шматка валунно-гравійно-піщаної маси – 171 мм, то продуктивність екскаваторів буде становити:

- за першою технологічною схемою розробки 474,1 м³/зміну;
- за другою технологічною схемою розробки 553,1 м³/зміну.

Зважаючи на складну структуру залягання та значну зміну коливання потужності флювіогляціальних відкладів на розкритті родовищ скельних порід, а також на те, що робоча зона виймально-навантажувального обладнання може бути обмеженою, доцільно, в подальших дослідженнях, визначити продуктивність усього технологічного комплексу [16], а не окремого обладнання. Тобто розрахункову продуктивність екскаватора необхідно узгоджувати з продуктивністю бульдозера-розпушувача та автотранспорту.

Список використаної літератури:

1. Разработка алгоритмов для управления производственными технологиями : монография / Н.И. Березовский, С.Н. Березовский, С.В. Довнар, С.Г. Оника. – Минск : БИП-С Плюс, 2011. – 100 с.
2. Буянов Ю.Д. Разработка месторождений нерудных полезных ископаемых / Ю.Д. Буянов, А.А. Краснопольский. – М. : Недра, 1980. – 217 с.
3. Арсентьев А.И. Определение производительности и границ карьеров / А.И. Арсентьев. – СПб. : С.-ПГИ, 2002. – 85 с.
4. Оника С.Г. Проектирование карьеров / С.Г. Оника. – Минск : БНТУ, 2006. – 224 с.
5. 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, M.I. Beltek, V.R. Lukamskyi // Prospects for developing resource-saving technologies in mineral mining and processing. Multi-authored monograph. – Petrosani, Romania : Universitas Publishing, 2022. – P. 606-637.
6. Манюк В.В. Про змінення положення південної границі Дніпровського (риського) зледеніння / В.В. Манюк // Вісник Дніпропетровського університету. Сер. : Геологія. Географія. – 2017. – Т. 25 (2), Вип. 21. – С. 99–110.
7. Ohar V.V. Carboniferous fauna from erratics in the Hradyzk area (Poltava region, Ukraine): paleo-ice streams indicator of the Dnipro glacial maximum / V.V. Ohar // Historical Biology. – 2021. – № 33:1. – P. 78–87.
8. Литвинчук І.Д. Проблеми виймання флювіогляціальних відкладів на розкритих уступах родовищ скельних будівельних порід / І.Д. Литвинчук, О.О. Фролов // Перспективи розвитку гірничої справи та раціонального використання природних ресурсів : тези VIII Всеукр. наук.-прак. конф. студ., аспір. та молодих вчених, 21-22 жовтня. – Житомир : Житомирська політехніка. – 2021. – С. 65–69.
9. Мальшева Н.А. Технология разработки месторождений нерудных строительных материалов / Н.А. Мальшева, В.Н. Сиренко. – М. : Недра, 1977. – 392 с.
10. Ракишев Б.Р. Технологические комплексы открытых горных работ : учебник / Б.Р. Ракишев. – Алматы, 2015. – 313 с.
11. Буянов Ю.Д. Разработка гравийно-песчаных месторождений / Ю.Д. Буянов. – М. : Недра, 1988. – 209 с.
12. Дриженко А.Ю. Карьерные технологические горнотранспортные системы : моногр. / А.Ю. Дриженко. – Д. : НГУ, 2011. – 542 с.
13. Аргимбаев К.Р. Бульдозерная технология открытой разработки известняково-доломитовых месторождений / К.Р. Аргимбаев, Д.Н. Лигоцкий, Е.В. Логинов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 3. – С. 16–29.

14. Frolov O. Influence of the hydraulic excavator location with a backhoe in the face on the efficiency of rock mass excavation / O.Frolov, M.Beltek // Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. – Кременчук : КрНУ. – 2021. – Вип. 3 (128). – С. 70–75.
15. Угольников В.К. Влияние гранулометрического состава горной массы на производительность экскаваторов / В.К. Угольников, С.Е. Гавришев, Н.В. Угольников // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2007. – № 2. – Т. 6. – С. 73–81.
16. Фролов О.О. Удосконалення методу визначення раціональних параметрів екскаваторно-автомобільних комплексів потужних кар'єрів / О.О. Фролов, Т.В. Косенко // Технічна інженерія. – Житомир : Житомирська політехніка. – 2020. – № 1 (85). – С. 242–248.

References:

1. Berezovskii, N.I., Berezovskii, S.N., Dovnar, S.V. and Onika, S.G. (2011), *Razrabotka algoritmov dlya upravleniya proizvodstvennymi tekhnologiyami*, monografiya, BIP-S Plyus, Minsk, 100 p.
2. Buyanov, Yu.D. and Krasnopol'skii, A.A. (1980), *Razrabotka mestorozhdenii nerudnykh poleznykh iskopaemykh*, Nedra, M., 217 p.
3. Arsent'ev, A.I. (2002), *Opreделение proizvoditel'nosti i granits kar'erov*, S.-PGI, SPb., 85 p.
4. Onika, S.G. (2006), *Proektirovanie kar'erov*, BNTU, Minsk, 224 p.
5. 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, Romania, Petrosani, pp. 606–637.
6. Manjuk, V.V. (2017), «Pro zminennja polozhennja pivdennoi' granyci Dniprov'skogo (rys'kogo) zledeninnja», *Visnyk Dnipropetrov'skogo universytetu. Ser. Geologija. Geografija.*, Vol. 25 (2), Issue 21, pp. 99–110.
7. Ohar, V.V. (2021), «Carboniferous fauna from erratics in the Hradyzk area (Poltava region, Ukraine): paleo-ice streams indicator of the Dnipro glacial maximum», *Historical Biology*, No. 33:1, pp. 78–87.
8. Lytvynchuk, I.D. and Frolov, O.O. (2021), «Problemy vyjmannja fljuvioglacial'nyh vidkladiv na rozkryvnyh ustupah rodovysyh skel'nyh budivel'nyh pored», *Perspektyvy rozvytku gimychoi' spravy ta racional'nogo vykorystannja pryrodnyh resursiv*, tezy VIII Vseukr. nauk.-prak. konf. stud., aspir. ta molodyh vchenykh, 21-22 zhovtnja, Zhytomyr'ska politehnika, Zhytomyr, pp. 65–69.
9. Malysheva, N.A. and Sirenko, V.N. (1977), *Tekhnologiya razrabotki mestorozhdenii nerudnykh stroitel'nykh materialov*, Nedra, M., 392 p.
10. Rakishev, B.R. (2015), *Tekhnologicheskie komplekсы otkrytykh gornykh rabot*, uchenik, Almaty, 313 p.
11. Buyanov, Yu.D. (1988), *Razrabotka graviino-peschanykh mestorozhdenii*, Nedra, M., 209 p.
12. Drizhenko, A.Yu. (2011), *Kar'ernye tekhnologicheskie gornotransportnye sistemy*, monogr., NGU, D., 542 p.
13. Argimbaev, K.R., Ligotskii, D.N. and Loginov, E.V. (2020), «Bul'dozernaya tekhnologiya otkrytoi razrabotki izvestnyakovo-dolomitovykh mestorozhdenii», *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, No. 3, pp. 16–29.
14. Frolov, O. and Beltek, M. (2021), «Influence of the hydraulic excavator location with a backhoe in the face on the efficiency of rock mass excavation», *Visnyk KrNU imeni Mikhaila Ostrograd'skogo*, KrNU, Kremenchuk, Issue 3 (128), pp. 70–75.
15. Ugol'nikov, V.K., Gavrishev, S.E. and Ugol'nikov, N.V. (2007), «Vliyanie granulometricheskogo sostava gornoj massy na proizvoditel'nost' ekskavatorov», *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, No. 2, Vol. 6, pp. 73–81.
16. Frolov, O.O. and Kosenko, T.V. (2020), «Udoskonalennja metodu vyznachennja racional'nykh parametriv ekskavatorno-avtomobil'nykh kompleksiv potuzhnykh kar'jeriv», *Tekhnichna inzhenerija*, Zhytomyr'ska politehnika, Zhytomyr, No. 1 (85), pp. 242–248.

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:

- буропідривні роботи на кар'єрах;
- розробка родовищ корисних копалин.

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

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.

Дзьоба Максим Вадимович – магістр Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

<https://orcid.org/0000-0002-5159-0317>.

Наукові інтереси:

- розробка родовищ корисних копалин;
- маркшейдерська справа.

E-mail: dzoba.maksym@gmail.com.

Frolov O.O., Lytvynchuk I. D., Dzoba M.V.

Establishment of regularities of change of excavator's productivity from granulometric composition of fluvioglacial deposits at the overburden of quarry of Sosnivskiy granite deposit

The article considers the peculiarities of the occurrence of fluvioglacial deposits in the territory of Ukraine. It presents possible technologies and technological schemes for the development of fluvioglacial deposits depending on the conditions of the deposit occurrence and the availability of the equipment complex. According to the research results, the granulometric composition of the gravel-sand rock mass at the overburden of the Sosnivsky quarry for the extraction of granite on rubble was determined and the average size of the piece of fluvioglacial deposits was determined.

Based on the analysis of the state of mining operations in the quarry, the capabilities of the existing extraction and loading equipment, and the conditions of application of various technological excavation schemes of gravel and sand deposits, for removing the overburden layer it is proposed to use a bulldozer-excavator-car complex using a bulldozer-ripper. Depending on the parameters of the working area, two technological schemes of equipment operation are provided - when operating a hydraulic backhoe excavator on the roof of fluvioglacial deposits and when placing an excavator with a straight shovel on the lower horizon, where it loads gravel-sand mass into a dump truck from the opening ledge.

Empirical and graphical dependences of the change in excavator productivity on the average size of a piece of fluvioglacial sediments for the quarry conditions of the Sosnivsky granite deposit were obtained. It is established that the productivity of the excavator with a straight shovel will be higher than the productivity of the excavator with a backhoe by 17%, and when changing the average size of a piece of gravel-sand mass from 20 to 200 mm, the productivity of both types of excavators decreases 1.6 times: from 728.2 m³/shift to 459.4 m³/shift; for straight shovel from 849.5 m³/shift to 536.0 m³/shift.

The productivity of Volvo EC460BLC excavators, which are proposed to be used for excavation works of the Sosnivsky quarry at the weighted average size of a piece of boulder-gravel-sand mass of 171 mm, was determined, namely: according to the first technological scheme of development – 474.1 m³/shift; according to the second technological scheme of development – 553.1 m³/shift.

Keywords: fluvioglacial deposits; gravel-sand mass; open pit; deposit; technological schemes; equipment complex; excavator productivity.

Стаття надійшла до редакції 18.05.2022