

ФАКТОРИ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ ЕКСКАВАТОРІВ ПРИ РОЗРОБЦІ БУРШТИНУ З ВИКОРИСТАННЯМ НАПІВМОБІЛЬНОГО ЗБАГАЧУВАЛЬНОГО УСТАТКУВАННЯ

О. Malook¹ <https://orcid.org/0009-0005-5030-1439>

¹Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

FACTORS AFFECTING THE PRODUCTIVITY OF EXCAVATORS IN AMBER MINING USING SEMI-MOBILE ENRICHMENT PLANTS

Мета. Дослідження технологічної схеми розміщення екскаватору «зворотна лопата» на робочому майданчику при вийманні бурштиновмісної маси з навантаженням в напівмобільну збагачувальну установку і встановлення параметрів роботи екскаватора з урахуванням траєкторії руху екскаватора і розміщення збагачувальної установки.

Методологія. Аналіз технологічної схеми видобутку бурштину, графічна побудова схеми роботи. Просторове моделювання положення виймально-навантажувального обладнання відносно напівмобільної збагачувальної установки.

Результати. Дослідженні технологічні схеми роботи навантажувального обладнання, що дозволило отримати кути повороту бази екскаватора з ківшем від вибою до напівмобільної збагачувальної установки. Отримані графічні залежності кутів повороту ківша при відпрацюванні вибою біля напівмобільної збагачувальної установки, а також встановлено залежність зміни довжини секції (блоку) відпрацювання бурштинової ділянки при використанні екскаваторів JCB 220 зі звичайної стрілою та рукояттю і з подовженою рукояттю JCB 220 long reach. В роботі вперше отримана залежність визначення довжини секції з урахуванням довжини напівмобільних збагачувальних установок різної продуктивності. Встановлено, із збільшенням висоти уступу зменшується мінімальна довжина секції і це пов'язано з тим, що збільшення висоти уступу веде до зменшення радіусу черпання екскаватора з подовженою рукояттю.

Наукова новизна. Визначені технологічні схеми роботи обладнання при видобутку бурштину, що дозволило дослідити кути повороту бази екскаватора з ківшем від вибою до напівмобільної збагачувальної установки. Визначено математичну залежність довжини секції (блоку) при формуванні робочої зони двома екскаваторами та розміщенням напівмобільної збагачувальної установки.

Практичне значення. Визначенні кути повороту бази екскаватора під час видобутку бурштину з вибою та встановлено довжину секції (блоку) при застосуванні різних типів напівмобільних збагачувальних установок. Обґрунтовані параметри дозволять ефективно використовувати виймально-навантажувальне та збагачувальне устаткування в умовах діючих кар'єрів з видобутку бурштину.

Ключові слова: гірничі роботи, технологічна схема розробки, бурштин, технологічні параметри, напівмобільна збагачувальна установка, розробка родовища.

Вступ. Дослідження та аналіз ресурсів бурштину виявили, що його запаси в Україні досить великі. Він використовується для виготовлення різноманітних

ювелірних та художніх виробів, а також застосовується у інших галузях промисловості (хімічна, фармацевтична, лакофарбова, парфумерна).

Український бурштин за кольоровою гамою має більш колоритніший спектр чим балтійський. Він вирізняється наявністю різновидів із характерним зеленувато-жовтим відтінком.

У межах Рівненської, Київської, Житомирської, Львівської та Волинської областей виявлено бурштинові родовища. На вигляд проста геологічна структура Полісся, що багата розсипами бурштину, виникла під впливом довготривалої та складної взаємодії різноманітних ендегенно- та екзогенних процесів.

Основні ознаки присутності бурштину на північних теренах Українського щита корелюють з прибережно-морськими та лагунними формаціями граничних пластів еоцену й олігоцену. Значний вплив на формування цих проявів мали палеодолини, з річковими фаціями та з дельтовими конусами виносу у підводні ділянки яких асоціюються бурштиноносні шари [1–3].

Декоративно-якісна характеристика бурштинової сировини оцінюється відповідно до ДСТУ 8847:2019 «Бурштин-сировина».

Державним балансом запасів корисних копалин України враховуються 17 родовищ, 9 з яких розробляються, 5 – не розробляються, 3 – розвідуються, і на яких проводилась дослідно-промислова розробка [4]. Станом на 2021 рік розроблялось дев'ять родовищ: Клесівське родовище – ділянка Пугач експлуатується державним підприємством «Бурштин України», ділянка Федорівська – ТОВ «Технобуд», родовище Володимирець Східний – комерційною структурою ТОВ «Центр «Сонячне ремесло», родовища Маневицьке 1, Маневицьке 2, Камінь-Каширське 1, Камінь-Каширське 2 – КП «Волиньприродресурс», Західна частина ділянки Каноничі – ТОВ «ІНКЛ ЮЗ-8», Південно-Східна ділянка родовища Золоте – ТОВ «РЕД.МЕТ», Білківське родовище – ТОВ «Екологічні технології та будівництво»

На сьогоднішній основним обладнанням для виймально-навантажувальних робіт є екскаватор. В попередніх наукових роботах [5–7] розглянуті можливі параметри використання на нерудних кар'єрах екскаваторів типу драглайн або «зворотна лопата». В роботі [8] виконано аналіз чинників, що впливають на продуктивність обладнання циклічної дії при відпрацюванні порід розкриття у вибоях кар'єру, та розглянуто вплив параметрів різного гірничого обладнання на циклічну технологію. Під час досліджень встановлено взаємозв'язок параметрів роботи екскаваторів із автосамоскидами та досліджено вплив коефіцієнта наповнення ківша екскаватора на продуктивність обладнання, що використовують для виймання та транспортування в умовах кар'єру.

Важливу роль в процесі видобутку мають технологічні схеми розвитку кар'єрних полів. Послідовність відпрацювання запасів на родовищах впливають на продуктивність основного обладнання, що доведено в роботах [9–11].

Методика визначення питомої енергоємності роботи комплексів обладнання при виконанні виробничих процесів відкритої розробки родовищ корисних копалин та їх переробки на готову продукцію розглянута в роботі [12]. На прикладі оцінки виймально-навантажувального-транспортного обладнання нерудних кар'єрів видобутку корисних копалин доведена можливість використання в

розрахунках питомої енергоємності роботи при плануванні і проектуванні технології механізації виробничих процесів на відкритих гірничих робіт.

Аналіз існуючих практик розробки родовищ бурштину дозволяє визначити найпоширеніші напрямки. Один із відомих методів ручного видобутку бурштину виявлено під час експлуатації природних родовищ ДП «Волиньприродресурс» [13]. Інші представники бурштиновидобувної галузі намагаються створити збагачувальні установки «кустарного» типу. Компанії, які системно вибудовують бурштиновидобувний бізнес використовують збагачувальні установки промислового типу. Прикладом виробництва такого устаткування є компанія «Укрпроммінерал», яка виробляє пересувні збагачувальні установки різної виробничої потужності (Amber Wash-40, Amber Wash-80, Amber King). Відповідно зазначеного визначення факторів що впливають на продуктивність екскаваторів і напівмобільного збагачувального устаткування в межах робочого майданчику є **актуальною проблемою**.

Для дослідження технологічних схем видобутку бурштину і обґрунтування параметрів що впливають на роботу екскаватору необхідно вирішити наступні завдання:

1. Визначити схему розміщення екскаватора у вибої та траєкторію його руху відносно напівмобільної збагачувальної установки під час відпрацювання видобувної ділянки бурштину.
2. Дослідити сектори завантаження бурштину в напівмобільну збагачувальну установку (НЗУ).
3. Встановити кут повороту ківша від вибою до НЗУ і час на здійснення цього маневру.
4. Визначити зміну довжини секції робочого майданчику при відпрацюванні бурштину з використанням НЗУ.

Виклад основного матеріалу. Необхідно розглянути технологію, якою передбачено використання пересувної збагачувальної установки безпосередньо у вибої [Помилка! Джерело посилання не знайдено.]. На технологічні параметри в вибої впливає розміщення основного обладнання та операційні процеси видобутку і переробки.

Ефективність використання розглянутих напівмобільних збагачувальних установок безпосередньо залежить від технології розробки бурштинового родовища та виробничої потужності гірничодобувного підприємства. Для запобігання простою обладнання або недостатній потужності напівмобільної збагачувальної установки передбачається встановити вплив параметрів технологічної схеми розробки кар'єру на продуктивність збагачувальної установки, яка розташована безпосередньо в кар'єрі.

Під час проведення досліджень ширина напівмобільної збагачувальної установки становила 5,1 м, захисна берма – 2 м, відстань від країв напівмобільної збагачувальної установки для доступу персоналу – 1 м, ширина захисного валу – 2 м, ширина зони безпеки призми обриву (прийнято для родовищ бурштину) – 1,8 м. Згідно з встановленими параметрами ширина робочого майданчику становить 12,9 м.

При секторальному русі екскаватору в вибої (рис. 1) забезпечується виконання відповідних параметрів. При зміні параметрів видобувного і транспортного обладнання з іншими параметрами відповідно коректується ширина робочого майданчику. Рух екскаватора буде здійснюватися напівколом за бункером НЗУ

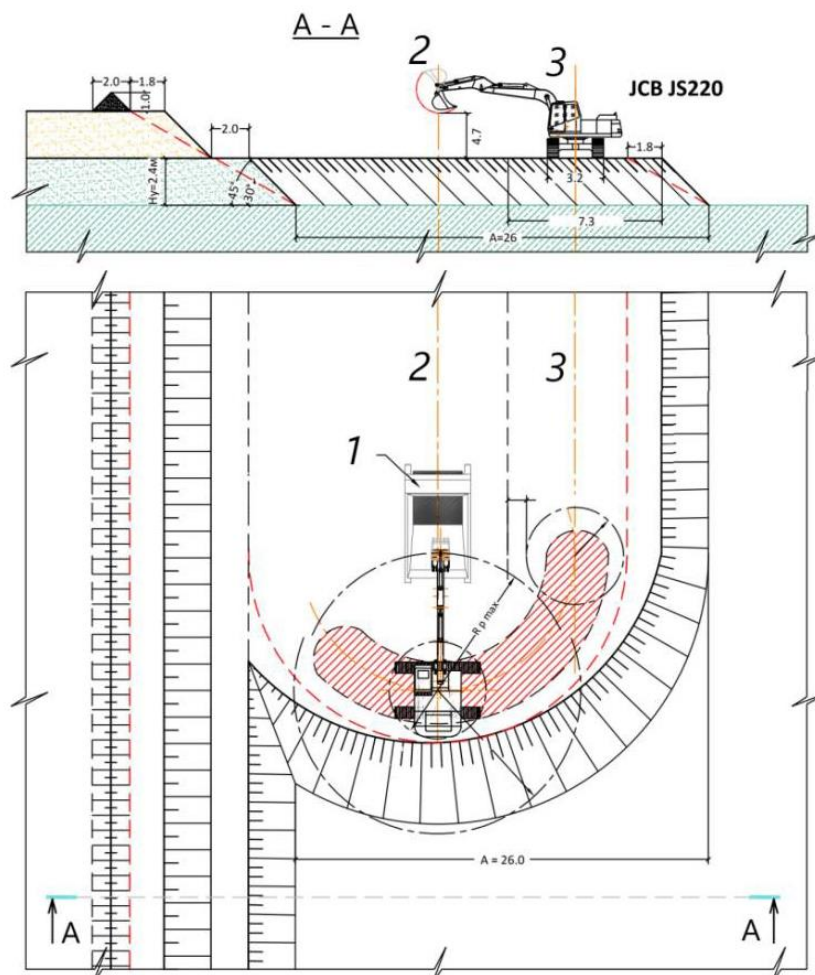


Рис. 1. Паспорт вибою видобувного екскаватора: 1 – напівмобільна збагачувальна установка (НЗУ); 2 – вісь переміщення НЗУ; 3 – вісь переміщення екскаватора

Розміщення екскаватору у вибої при роботі з напівмобільною збагачувальною установкою і траєкторія руху виймально-навантажувального обладнання під час роботи впливають на час робочого циклу який пов'язаний з переміщенням ківша від НЗУ до вибою, опускання ківша у вибій, зрізання гірничої маси ківшем, піднімання ківша, переміщення до НЗУ, розвантаження ківшу до приймального бункеру.

На рис. 2 (а) показані можливі положення екскаватору, це точки 1–7.

Відстань між точками прийнята 5 метрів і в кожній точці виникають сторони повороту бази екскаватора за годинниковою стрілкою (права сторона) рис. 2 (б) або проти (ліва сторона), а також сектор виймання порід у вибої.

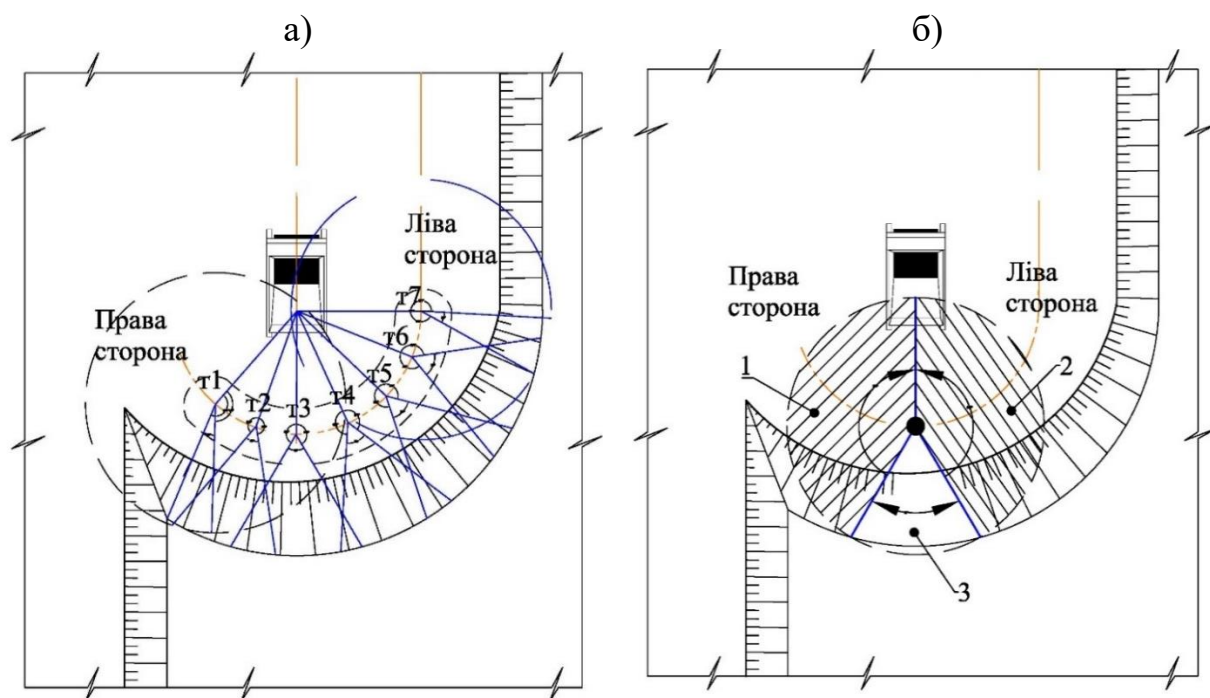


Рис. 2. Схема секторів завантаження бурштину в напівмобільну збагачувальну установку: а – рух екскаватору з визначеними сторонами завантаження: т1–т7 – відповідно точки положення екскаватору у видобувному вибої; б – сектори переміщення ківшу при виймально-навантажувальних роботах: 1 – кут повороту з правої сторони; 2 – кут повороту з лівої сторони; 3 – сектор виймання порід

В точках 1 та 7 є зони, в які обертання ківшу заборонено правилами безпеки. В точці 1 – це обертання за годинниковою стрілкою, а в точці 7 – обертання проти годинникової стрілки. Це пов'язано з тим, що зверху на напівмобільній збагачувальній установці розміщено майданчик з робітником, що розмиває гірничу масу з бурштином в бункері (рис. 3). Відповідно до правил безпеки заборонено пронесення ківшу над кабінами автосамоскидів або обладнанням де є працівники.

З урахуванням вище зазначеного були отримані кути повороту бази екскаватора з ківшем у вибої, які наведені в таблиці 1. Відповідно до наданих даних видно, що для точки 1 відсутній мінімальний кут з правої сторони, а для точки 7 мінімальний кут з лівої сторони. Після отримання кутів повороту було визначено медіану (значення що найбільш часто зустрічається серед отриманих) кутів.

Згідно з даними таблиці мінімальний кут повороту з лівої сторони складає 141 градус, максимальний – 152 градуси, а з правої сторони мінімальний становить – 150 градусів, а максимальний – 159 градусів. У середньому кут робочої зони (сектор виймання) для екскаватору обернена лопата становить 56 градусів, а повороти в ліву або праву сторону 151 градус. Максимальний кут повороту за найдовшою траєкторією становить 208 градусів.

Отже, знаючи про кути повороту робочого обладнання від вибою до місця розвантаження можна дослідити і визначити час, що витрачає екскаватор на ці маніпуляції.



Рис. 3. Розміщення працівника що розбиває породи гідромоніторами в бункері напівмобільної збагачувальної установки

Таблиця 1

Кути повороту ківша при виймально-навантажувальних роботах у вибої

Точка розміщення вісі екскаватору	Відстань між точками, м	Мінімальний кут лівої сторони	Сектор виймання	Мінімальний кут з правої сторони	Максимальний кут лівої сторони	Максимальний кут правої сторони
т1	0	141	21	-	162	-
т2	5	152	49	159	201	208
т3	10	149	61	150	210	211
т4	15	152	56	152	208	208
т5	20	151	57	152	208	209
т6	25	150	59	151	209	210
т7	30	-	26	151	-	177
Медіана значення		151	56	151,5	208	208,5

Спостереження за роботою екскаватора дозволили встановити, що в середньому при розвороті на 180 градусів екскаватор витрачає 11 секунд на переміщення ківша з вибою до місця розвантаження. Що шляхом інтерполяції дозволяє нам визначити час із встановлених кутів повороту при роботі екскаватора у вибої при вийманні бурштинової маси.

Графічно таблицю 1 можна переглянути на рис. 4, яка показує зміну кута повороту ківша в різних точках розміщення екскаватора.

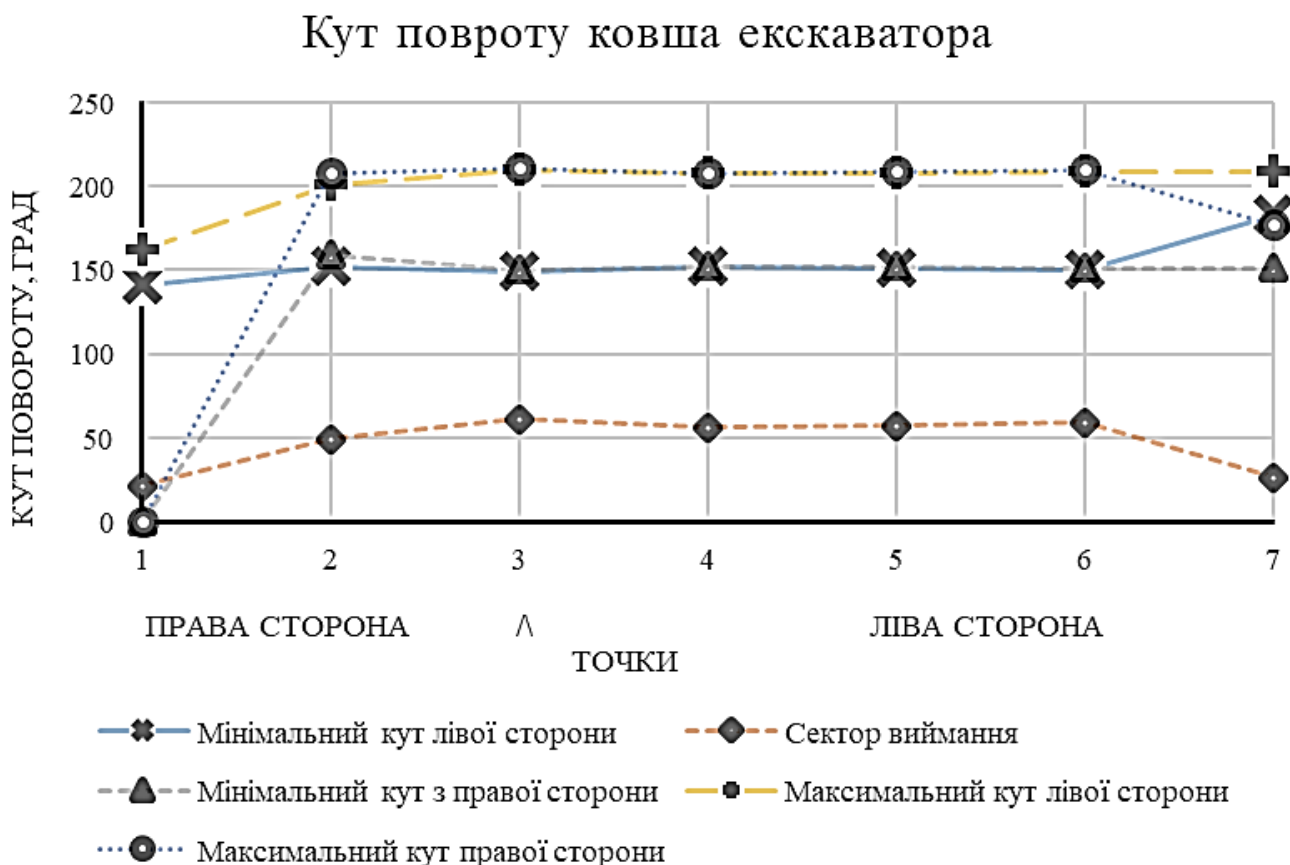


Рис. 4. Графік кутів повороту ківша при відпрацюванні вибою біля напівмобільної збагачувальної установки: ^ – межа між лівою та правою стороною повороту ківша від вибою до НЗУ; 1–7 – точки розміщення вісі екскаватора

В таблиці 2 наведені тривалість в секундах на виконання операції повороту ківша від вибою до НЗУ. Відповідно цей показник впливає на продуктивність виймально-навантажувального обладнання.

Уздовж фронту гірничих робіт на бурштиновому родовищі формуються секції (блоки) в межах яких розміщують бульдозери для підготовки ділянки до видобутку, видобувна ділянка з розміщенням виймально-навантажувального обладнання та переробної напівмобільної установки, а також секції для розміщення технічної води і гідровідвалів.

Таблиця 2

Тривалість повороту бази екскаватора в залежності від кута

Точка розміщення вісі екскаватору	Тривалість повороту бази з ківшем, секунд				
	Поворот з мінімальним кутом з лівої сторони	Сектор виймання	Поворот з мінімальним кутом з правої сторони	Поворот з max кутом з лівої сторони	Поворот з max кутом правої сторони
t1	8,6	1,3		9,9	
t2	9,3	3,0	9,7	12,3	12,7
t3	9,1	3,7	9,2	12,8	12,9
t4	9,3	3,4	9,3	12,7	12,7
t5	9,2	3,5	9,3	12,7	12,8
t6	9,2	3,6	9,2	12,8	12,8
t7	11,2	1,6	9,2	12,8	10,8
Медіана значення	9,2	3,4	9,3	12,7	12,7

Отже кожна видобувна секція (рис. 5) може бути облаштована з урахуванням робочих параметрів основного і допоміжного екскаватора, а також розмірів напівмобільної збагачувальної установки.

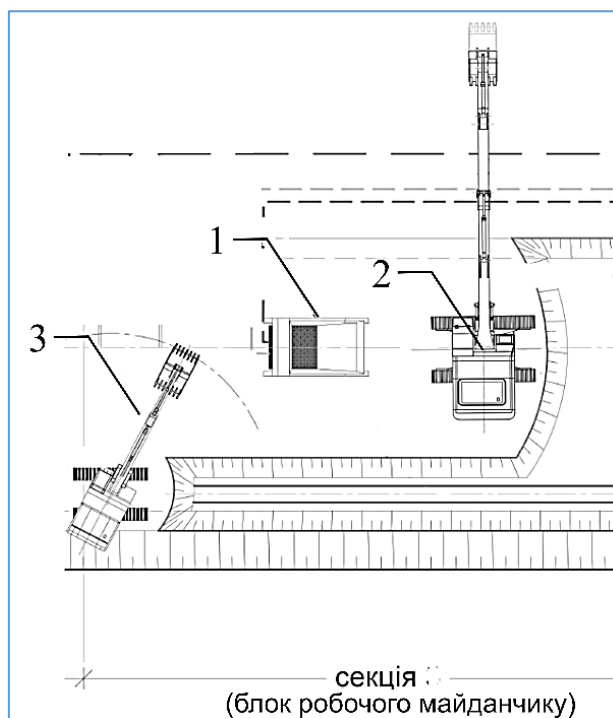


Рис. 5. Технологічна схема відпрацювання шару корисної копалини при застосуванні напівмобільної збагачувальної установки: 1 – напівмобільна збагачувальна установка; 2 – екскаватор з подовженою рукоятттю JCB 220 long reach; 3 – екскаватор допоміжний JCB 220 із звичайною рукоятттю

Відповідно до рис. 5 мінімальна довжина секції буде складати:

$$L_c = R_{p1} + C + L_{нзу} + R_{ч2} + R_{p2} + h_d \cdot \operatorname{ctg} \beta_d, \text{ м}$$

де: R_{p1} – радіус розвантаження (зони дії ківша) випереджувального екскаватора, м; C – безпечна зона між допоміжним екскаватором і напівмобільною збагачувальною установкою, м; $L_{нзу}$ – довжина напівмобільної збагачувальної установки, м; $R_{ч2}$ – радіус черпання екскаватору, м; R_{p2} – радіус розвантаження (зони дії ківша) екскаватора типу обернена лопата з подовженою рукояттю «long reach», м; h_d – висота розділової дамби, м; β_d – кут укосу дамби, градуси.

Згідно таблиці 2 та наведених параметрів напівмобільних збагачувальних установок Amber Wash-40, Amber Wash-80 та Amber King встановлено залежність зміни довжини секції відпрацювання при використанні екскаваторів JCB 220 зі звичайним робочим обладнанням та з подовженою рукояттю JCB 220 long reach (рис. 6). Розміри за довжиною Amber Wash-40 та Amber Wash-80 однакові.

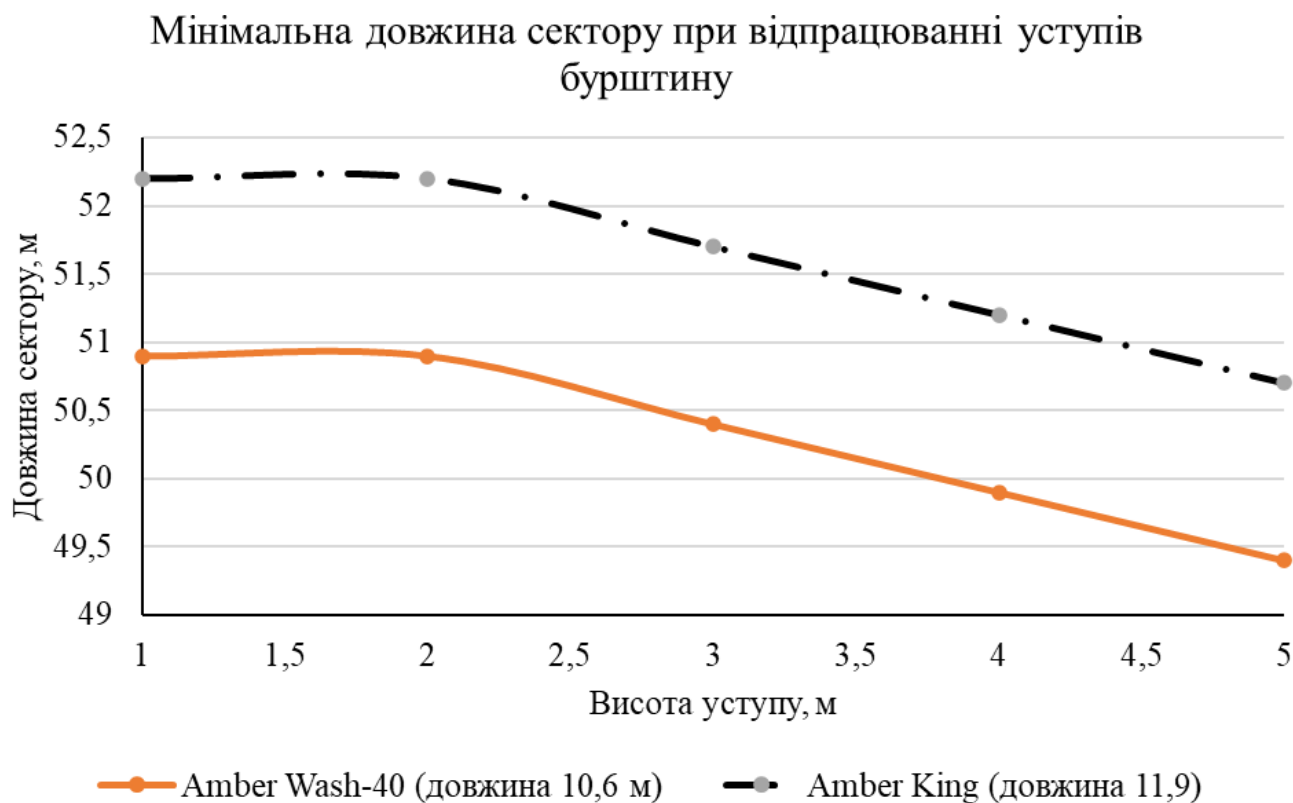


Рис. 6. Графічна залежність довжини робочої секції від висоти уступу та довжини напівмобільної збагачувальної установки

Графічна залежність на рис. 6 показує, що із збільшенням висоти уступу зменшується довжина мінімальної довжини секції і це пов'язано з тим, що збільшення висоти уступу веде до зменшення радіусу черпання екскаватора з подовженою рукояттю JCB 220 long reach. У той же час, радіус черпання і розвантаження допоміжного екскаватора залишається незмінним. Різна довжина напівмобільних збагачувальних установок також впливають на розміри робочої секції.

Висновки.

1. Дослідженні технологічні схеми роботи навантажувального обладнання, що дозволило отримати кути повороту бази екскаватора з ківшем від вибою до НЗУ. Мінімальний встановлений кут повороту бази з лівої та правої сторін – 151° , а сектор виймання у вибої становить – 56° . Максимальний робочий кут повороту за найдовшою траєкторією становить 208° .

2. Досліджена тривалість на виконання операції повороту ківша від вибою до НЗУ. Встановлено, що за мінімальною траєкторією ківш переноситься за 9,2 секунди, а з максимальною траєкторією – 12,7. Встановлено, що в залежності від позиції екскаватора відносно напівмобільної збагачувальної установки виникають сектори, в яких робота екскаватора заборонена, що пов'язано з технікою безпеки, і розміщенням на збагачувальній установці зверху обслуговуючого персоналу.

3. Визначена мінімальна довжина видобувної секції. Встановлено, із збільшенням висоти уступу з 1 метра до 5 зменшується мінімальна довжина секції з 52 м до 49 м і це пов'язано з тим, що збільшення висоти уступу веде до зменшення радіусу черпання екскаватора з подовженою рукояттю JCB 220 long reach.

Перелік посилань

1. Ploshchadnoi, I.A., & Makarenko, D.E. (1988). *Geologiya i genezis yantarenosnikh otlozhenii Ukrainskogo Polesya*. Nauch. misl.
2. Ремезова, О.О. (2001). До питання про палеогеоморфологічні критерії пошуків родовищ бурштину на північному заході Українського щита. *Вісник Житомирського інж.-техн. ін-ту*, (19), 202–204.
3. Ковалевський, С.Б., & Ковалевський, С.С. (2019). Бурштинові копалини: історія вивчення, методи добування та вплив на лісові екосистеми. *Науковий вісник НЛТУ України*, (29(3), 56–59. <https://doi.org/10.15421/40290312>
4. *Мінеральні ресурси України* (2021). Державне науково-виробниче підприємство «Державний інформаційний геологічний фонд України».
5. Sobko, B.Yu., Lozhnikov, O.V., Chebanov, M.O., & Kardash, V.A. (2021). Substantiating rational schedule to load trucks using draglines while mining a pit of Motronivskyi MPP. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 4, 23–28. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2021-4/023>
6. Chebanov, M.O., Pcholkin, H.D., Makurin, A.A. & Lozhnikov, O.V. (2023). Substantiation of the technological parameters of bucket-wheel excavator forward trench when mining titanium deposits. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (5), 5–11. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2023-6/005>
7. Babets, Ye. K., Adamchuk, A. A., Shustov, O. O., Anisimov, O. O., & Dmytruk, O. O. (2020). Determining conditions of using draglines in single-tier internal dump formation. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 6, 5–14. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2020-6/005>
8. Анісімов, О. О., Гриценко, Л. С., Давіденко, Н. Д., Черняєва, О. В., & Сидоренко, І. К. (2023). Фактори, що впливають на продуктивність екскаваторно-автомобільних комплексів. *Технічна інженерія*, (1(91), 262–270. [https://doi.org/10.26642/ten-2023-1\(91\)-262-270](https://doi.org/10.26642/ten-2023-1(91)-262-270).
9. Sobko, B.Y. Laznikov, O.M., Haidin, A.M., & Lozhnikov, O.V. (2016). Substantiation of rational mining method at the Motronovsky titanium-zirconium ore deposit exploration. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 6, 41–49.
10. Adamchuk, A., Pavlychenko, A., Shustov, O., & Bondarenko, A. (2024). Research of land-saving schemes of mining the horizontal sedimentary mineral deposits. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1319(1), 012012. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1319/1/012012>

11. Symonenko, V., Hrytsenko, L., & Cherniaiev, O. (2016). Organization of non-metallic deposits development by steep excavation layers. *Mining of Mineral Deposits*, 10(4), 68–73. <https://doi.org/10.15407/mining10.04.068>
12. Symonenko, V. I., Haddad, J. S., Cherniaiev, O. V., Rastsvietaiev, V. O., & Al-Rawashdeh, M. O. (2019). Substantiating Systems of Open-Pit Mining Equipment in the Context of Specific Cost. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series D*, 100(2), 301–305. <https://doi.org/10.1007/s40033-019-00185-2>
13. Lozhnikov, O., & Malook, O. (2025). Justification the type size of a semi-mobile enrichment plants at the amber deposits mining. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1481(1), 012008. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1481/1/012008>

ABSTRACT

Purpose. To study the technological scheme of placing a backhoe excavator at the working site when extracting amber-containing mass with loading into a semi-mobile enrichment plant and to establish the operating parameters of the excavator, taking into account the trajectory of the excavator's movement and the location of the enrichment plant.

The methods. Analysis of the technological scheme of amber extraction, graphical construction of the operating scheme. Spatial modelling of the position of the extraction and loading equipment relative to the semi-mobile enrichment plant.

Findings. The technological schemes of loading equipment operation were studied, which made it possible to obtain the angles of rotation of the excavator base with a bucket from the working face to the semi-mobile enrichment plant. Graphical dependencies of the bucket rotation angles when working at the face near a semi-mobile enrichment plant were obtained, and the dependence of the change in the length of the section of the amber area when using JCB 220 excavators with a conventional boom and arm and with an extended JCB 220 long reach arm. The work is the first to determine the dependence of the section length on the length of semi-mobile enrichment plants of different capacities. It has been established that as the height of the ledge increases, the minimum length of the section decreases, and this is due to the fact that an increase in the height of the ledge leads to a decrease in the scoop radius of the excavator with an extended arm.

The originality. Technological schemes for the operation of equipment in amber extraction have been determined, which made it possible to study the angles of rotation of the excavator base with a bucket from the face to the semi-mobile enrichment plant. The mathematical dependence of the length of the section (block) when forming the working area with two excavators and the placement of a semi-mobile enrichment plant has been determined.

Practical implementation. The angles of rotation of the excavator base during amber extraction from the face were determined and the length of the section was established when using different types of semi-mobile enrichment plants. The justified parameters will enable the efficient use of extraction, loading, and processing equipment under the conditions of operating amber quarries.

Keywords: mining operations, technological development scheme, amber, technological parameters, semi-mobile enrichment plant, deposit development.

дата першого надходження статті до видання	02.07.2025
дата прийняття до друку статті після рецензування	03.08.2025
дата публікації (оприлюднення)	04.09.2025