

-МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

Чебанов Максим Олександрович

УДК 622.271.32/.33

ДИСЕРТАЦІЯ

**ОБҐРУНТУВАННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ
ПАРАМЕТРІВ ВИБОЮ ДРАГЛАЙНІВ ДЛЯ РОЗРОБКИ
ОБВОДНЕНИХ РОДОВИЩ ПРИ ВИЙМАЛЬНО-
НАВАНТАЖУВАЛЬНИХ РОБОТАХ**

184 – «Гірництво»

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ М.О. Чебанов

Науковий керівник
доктор технічних наук, професор
Собко Борис Юхимович

Дніпро 2021

АНОТАЦІЯ

Чебанов М.О. Обґрунтування оптимальних параметрів вибою драглайнів для розробки обводнених родовищ при виймально-навантажувальних роботах. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 184 – «Гірництво», - Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Міністерство освіти і науки України, Дніпро, 2021.

За результатами аналізу наукових джерел встановлено, що при зростаючому ринковому попиту на титан необхідно освоювати нові родовища з видобутку титанової руди. Перспективними родовищами для видобутку титанової руди в Україні, є розсіпні титан-рутил-ільменітові родовища, пласт корисної копалини яких знаходиться нижче лінії водоносного горизонту, що ускладнює видобуток рудних пісків. Такими є: Мотронівсько-Аннівська та Північно-Західна ділянки Малишевського родовища, Тарасівське і Стремигородське родовища, вони мають схожі складні гідрогеологічні умови залягання рудного піску, та обводнені не стійкі породи розкриву. Тому на практиці для розробки аналогічних родовищ знайшли застосування комплекси гірничотранспортного обладнання «драглайн+автосамоскид». Це обумовлено низьким питомим тиском екскаваторів драглайнів на ґрунт, та можливістю розробки водоносичених горизонтів. З аналізу практичних джерел продуктивність екскаваторів драглайнів при їх роботі в комплексі з автосамоскидами на 15-20% нижча ніж при їх роботі по безтранспортній технології видобутку, що в свою чергу суттєво впливає на собівартість видобутку. Підвищити продуктивність екскаваторів драглайнів при їх роботі з автосамоскидами можливо технічним, технологічним та організаційним способами. За роки практичних застосувань екскаваторів драглайнів з засобами транспорту, були розроблені технічні удосконалення екскаваторів. Тому перспективним способом для підвищення продуктивності екскаваторів драглайнів є технологічний аспект, а саме оптимізація робочих параметрів технологічних схем.

У зв'язку з цим в дисертаційній роботі вирішувалась актуальна науково-практична задача підвищення продуктивності комплексу гірничотранспортного обладнання «ЕШ+автосамоскид», за рахунок комплексного урахування впливу параметрів вибою та місця розташування екскаватора-драглайна в умовах обводнених порід розсипних родовищ.

Для досягнення мети були проаналізовані основні можливі схеми роботи екскаваторів драглайнів в комплексі з автосамоскидами в умовах обводнених розсипних родовищ, що дозволило визначити 16 технологічних схем роботи.

Розраховані та встановлені максимально та мінімально допустимі значення ширини заходки та висоти уступу за умовами безпеки для кожної із запропонованих схем. Це дало можливість встановити область значень параметрів вибою при яких можлива робота драглайнів в комплексі з автосамоскидами.

Був розроблений алгоритм для визначення кутів повороту драглайна при його роботі в комплексі з автосамоскидами, який дозволив визначати кути повороту драглайна при різних схемах його роботи.

Отримані формули для визначення загальних кутів повороту екскаватора драглайна, які дозволили встановити залежності між кутом повороту драглайна та параметрами вибою. Так загальний кут повороту змінюється пропорційно зміненню параметрів вибою, що розробляється. Тобто при збільшенні ширини заходки та висоти уступу, загальний кут повороту драглайна теж збільшується.

Проведені дослідження з встановлення раціонального місця розташування драглайна у вибої, та встановлено, що при значенні ширини заходки від $A=16,5$ до $A=43$ м положення екскаватора у вибої майже не впливає на загальний кут повороту. Однак для формування рівномірного профілю вибою, та забезпечення максимального огляду вибою при роботі машиніста, раціональним буде положення драглайна на відстані $0,5A$ від верхньої бровки уступу.

Проведений хронометраж роботи екскаватора драглайна ЕШ-10/50 в умовах Мотронівсько-Аннівського розсипу, це дозволило визначити метод розрахунку тривалості повороту драглайна, що в свою чергу дало можливість встановити вплив параметрів вибою на продуктивність драглайну.

Були встановлені залежності теоретичної продуктивності драглайна від параметрів вибою, які дозволили стверджувати, що параметри вибою безпосередньо впливають на продуктивність драглайна за рахунок впливу їх на кут повороту та безпосередньо на тривалість робочого циклу екскаватора. Встановлено, що при збільшенні висоти уступу та ширини заходки, при врахуванні загального кута повороту, теоретична продуктивність екскаватора зменшується від 24% до 43%. Загальний кут повороту був обраний як один з факторів впливу на продуктивність екскаватора драглайна.

Вперше досліджений вплив витрат часу на переміщення екскаватора у новий блок, що в свою чергу дозволило встановити залежність витрат продуктивності екскаватора від ширини заходки та висоти уступу. Це дало змогу стверджувати, що при збільшенні висоти уступу і ширини заходки, при врахуванні часу на переміщення, продуктивність драглайну збільшується, за рахунок зменшення витрат часу.

Виконаний аналіз впливу параметрів вибою на продуктивність екскаватора, за рахунок витрат часу на закуску уступу, який дозволив встановити, що значний вплив на втрату продуктивності при цьому має значення ширини заходки, при її збільшенні до $A=72\text{м}$ втрати зменшуються на 90%.

Втрати часу на переміщення екскаватора у новий блок та на закуску уступу, були обрані як фактори впливу на продуктивність драглайна.

Вперше встановлені формули визначення фактичної продуктивності драглайна з урахуванням трьох факторів: кута повороту на розвантаження, витрат часу на переміщення у новий блок та витрат часу на закуску уступу. Вони дозволили встановити залежність між параметрами вибою та фактичної

продуктивністю екскаватора, при його роботі за різними схемами в комплексі з автосамоскидами.

Вперше були отримані оптимальні значення ширини заходки екскаватора при врахуванні трьох факторів впливу на продуктивність екскаватора. Це дало змогу стверджувати, що максимальна продуктивність драглайна, при його роботі з розвантаженням в автосамоскид який знаходиться на рівні установки екскаватора та нижче рівня установки, буде при значенні ширини заходки відповідно $A_{onm}=22\div 32$ м та $A_{onm}=18\div 24$ м.

Встановлений вплив висоти уступу на фактичну продуктивність драглайна, який дозволив визначити раціональну висоту уступу при роботі драглайна в комплексі з автосамоскидами, що становить $H=10$ м, для всіх можливих схем.

Були проведені експериментальні дослідження по визначенню продуктивності драглайна в умовах Мотронівсько-Аннівського кар'єру, які дозволили встановити, що при зменшенні ширини заходки до оптимальних значень, продуктивність ЕШ-10/50 за зміну зростає на 1,8 % при схемі з розвантаженням в автосамоскид, що знаходиться на рівні установки екскаватора, та продуктивність зростає на 3,8 % при схемі з розвантаженням в автосамоскид, що знаходиться на нижньому майданчику.

Проведені техніко-економічні розрахунки дозволили встановити найбільш ефективні технологічні схеми роботи екскаватора драглайна в комплексі з автосамоскидом, це схеми з нижнім розвантаженням та розташуванням автосамоскиду по середині ширини заходки. Собівартість видобутку 1 м^3 розкривних порід при застосуванні цих схемах склала $C=45,84$ грн/ м^3 , що нижче на 3 % від існуючої. Застосування технологічної схеми з нижнім розвантаженням дозволяють зменшити витрати на розкрив на 79,65 млн грн/рік, при $Q_{\text{розкриву}}=13,5 \text{ млн.м}^3/\text{рік}$, для умов Мотронівського ГЗК.

Виконані дослідження дозволили розробити та впровадити методику підвищення продуктивності драглайна, за рахунок раціонального значення

висоти уступу та ширини заходки, яка дозволяє отримувати оптимальні параметри вибою екскаватора.

За результатами дослідження були розроблені рекомендації по вибору раціональних схем роботи екскаваторів драглайнів при навантаженні автосамоскидів для Мотронівсько-Аннівського кар'єру, з врахуванням показника ступеня концентрацій гірничих робіт в кар'єрі, вони дозволили встановити, що найбільш ефективною є схема роботи драглайна з нижнім розвантаженням в автосамоскид, що розташовується по середині ширини заходки, та розміщенням драглайна на відстані $0,5A$ від верхньої бровки.

Ключові слова: драглайн, кут повороту, автосамоскид, ширина заходки, висота уступу, вибій, оптимальні робочі параметри, продуктивність екскаватора, технологічні схеми.

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

Статті у наукових фахових виданнях, включених до переліку наукових фахових видань України:

1. Собко Б.Е., Маевский А.М., Несвитаило Н.В., Чебанов М.А. (2013). Определение оптимальной ширины заходки экскаватора драглайна при работе его в комплексе с автосамосвалами. Збірник наукових праць НГУ, 43, 178-184.

Здобувач розробив методику оптимізації параметрів вибою драглайнів, що працюють в комплексі з автосамоскидами.

2. Собко Б.Ю., Маєвський А.М., Чебанов М.О. (2015). Встановлення залежності кута повороту від ширини заходки та висоти уступу, при розвантажуванні драглайну у автосамоскид. Збірник наукових праць НГУ, 49, 81-86.

Здобувач встановив залежність втрат продуктивності экскаватора від ширини заходки та висоти уступу драглайна, при вийманні обводнених гірських порід.

3. Собко Б.Ю., Чебанов М.О. (2017). Безпечні параметри вибою экскаватора драглайна при навантаженні автосамоскидів. Збірник наукових праць НГУ, 52, 8 – 16.

Здобувач удосконалив методику визначення максимально та мінімально допустимих значень ширини заходки і висоти уступу драглайна при навантаженні автосамоскидів.

4. Собко Б.Ю., Чебанов М.О. (2018). Вплив фізико-механічних властивостей гірських порід на ширину заходки экскаватора драглайна при навантаженні автосамоскидів. Збірник наукових праць НГУ, 55, 112–119.

Здобувач дослідив та встановив вплив фізико-механічних властивостей обводнених гірських порід на параметри вибою драглайна при навантаженні автосамоскидів.

5. Чебанов М.О. (2020). Обґрунтування раціонального місця установки экскаватора драглайна у вибої при його роботі з автосамоскидами. Збірник наукових праць НГУ, 60, 143–149.

Статті у періодичних наукових виданнях інших держав, які входять до Організації економічного співробітництва та розвитку та/або Європейського Союзу, з наукового напрямку, за яким підготовлено дисертацію здобувача:

6. Sobko B.Yu., Laznikov O.M., Gaidin A.M., Chebanov M.O. (2015). Ways of mitigating environmental influence of developing Motronivsko-Annivska area of malyshevske deposit. Scientific Report on Resource Issues, Volume 1, 464-470.

Здобувач дослідив гідрогеологічні властивості розкривних порід Мотронівсько-Аннівського кар'єру.

Матеріали наукових конференцій:

7. Собко Б.Ю., Маєвський А.М., Несвітайло М.В., Чебанов М.О. (2015). Обґрунтування параметрів технологічної схеми роботи комплексів обладнання «ЕШ+автосамоскид» при розробці Мотронівсько-Аннівського кар'єру Вільногірського ГМК» Форум гірників 2015. Дніпропетровськ: РВК НГУ.

Здобувач обґрунтував оптимальні параметри технологічної схеми роботи драглайнів в комплексі з автосамоскидами.

8. Собко Б.Ю., Чебанов М.О. (2016). Розробка рекомендацій щодо вибору оптимального варіанту початку розкриття та розробки Мотронівсько-Аннівської дільниці Малишевського родовища. Форум гірників 2016. Дніпропетровськ: РВК НГУ.

Здобувач проаналізував раціональні варіанти розкриття Мотронівсько-Аннівської дільниці Малишевського родовища.

9. Собко Б.Ю., Чебанов М.О. (2018). Встановлення залежності ширини берми безпеки від фізико-механічних властивостей гірничої маси, що екскавується. Форум гірників 2018. Дніпропетровськ: РВК НГУ.

Здобувач провів аналіз фізико-механічних властивостей обводнених гірських порід розсипних родовищ та оцінив їх вплив на берму безпеки.

10. Собко Б.Ю., Чебанов М.О. (2019). Перспективы применения экскаватора драглайна в комплексе с автосамосвалами для разработки месторождений со сложными гидрогеологическими условиями. Инновационные технологии – ключ к успешному решению фундаментальных и прикладных задач в рудном и нефтегазовом секторах экономики РК: труды Сатпаевских чтений. Алматы: КазНИТУ имени Сатпаева.

Здобувач проаналізував переваги та недоліки застосування экскаваторів–драглайнів в комплексі з автосамоскидами при розробці обводнених розсипних родовищ.

ABSTRACT

Chebanov M.O. Substantiating optimal technological face parameters for draglines to mine water-bearing deposit in terms of extraction-loading operations. - Qualifying scientific work as a manuscript.

Thesis for a Degree of Candidate of Sciences in Engineering (Doctor of Philosophy) in specialty 184 - "Surface Mining" - National Technical University "Dnipro Polytechnic", Ministry of Education and Science of Ukraine, Dnipro, 2021.

According to the results of the analysis of scientific sources, it is established that the increasing market demand for titanium causes the necessity to develop new deposits for the titanium ore mining. Prospective deposits for the production of titanium ore in Ukraine are placer deposits of titanium-rutile-ilmenite, being below the aquifer line; that complicates the extraction of ore sands. These are: Motronivskyi-Annivskyi and Pivnichno-Zakhidnyi sites of Malyshevske deposit as well as Tarasivske and Stremygorodske deposits. They have similar complex hydrogeological conditions of ore deposit and unstable watered overburden. Therefore, in terms of practice, a complex of mining equipment "dragline + dump truck" has started to be applied for the development of such type of fields. That use is stipulated by low specific pressure of the dragline excavators on the soil and the possibility of developing water-bearing levels. Basing on the analysis of practical sources, the performance of dragline excavators during their operation in combination with dump trucks is by 15-20% lower than during their operation in terms of non-transport mining technology, which in turn affects significantly the production cost. Improvement of the performance of dragline excavators during their operation with dump trucks is possible in technical, technological, and organizational ways. For the years of practical application of dragline excavators with transport means, technical improvements of excavators have been developed. Therefore, a technological aspect is quite a promising way to improve the performance of dragline excavators, i.e. optimization of the operating parameters of technological schemes.

In this regard, the thesis deals with the solution of topical scientific and practical problem of increasing the productivity of a “dragline + dump trucks” mining and transporting complex by means of comprehensive consideration of the face parameters and excavator-dragline positioning.

To achieve this goal, the main possible work schemes of dragline excavators in combination with dump trucks in terms of watered placer deposits have been analyzed, which has allowed determining 16 technological schemes of operation.

The maximum and minimum permissible values of the bench mined width and bench height under the safety conditions have been calculated and established for each of the proposed schemes. It has made it possible to set the range of values of face parameters, in terms of which the operation of draglines in combination with dump trucks is possible.

An algorithm for determining the rotation angles of a dragline operation in combination with dump trucks has been developed, making it possible to determine the rotation angles of a dragline in its different operation schemes.

Formulas to determine total rotation angles of a dragline excavator have been obtained to establish the relationship between the dragline rotation angle and the face parameters. Thus, the total rotation angle changes in proportion to the change in the parameters of the face being developed. That is, as the bench mined width and bench height increase, the total angle of dragline rotation is also increases.

To establish a rational dragline location in the working face, certain studies have been carried out to determine that the excavator position in the working face has almost no effect on the overall angle of rotation, if the value of the bench mined width is from $A = 16.5$ to $A = 43$ m. However, to create a uniform profile of the face and to ensure maximum inspection of the face during the driver’s operation, it would be rational to position a dragline at a distance of $0.5A$ from the top edge of the bench.

The time studies of the excavator EIII-10/50 operation in terms of Motronivskyi-Annivskyi placer deposit has allowed determining the method of calculation of the dragline turn duration, which in its turn has made it possible to establish the influence of the working face parameters on the dragline performance.

Dependencies of the theoretical dragline performance from the face parameters have been determined, helping to state that the face parameters affect directly the dragline performance due to their effect on the rotation angle and influence directly on the cycle duration of excavator operation. It has been found that along with the increasing bench height and working face width, taking into account the rotation angle, theoretical excavator productivity decreases from 24% to 43%. The overall rotation angle was chosen as one of the factors affecting the dragline excavator performance.

The effect of time spent for excavator movement to a new unit has been investigated for the first time. In its turn, it has helped establish the dependence of excavator productivity losses upon the bench width and bench height. That has made it possible to argue that as the bench height and the bench width increases, the dragline performance increases as well due to the reduced time losses.

An analysis of the working bench parameters impact on the excavator performance at the expense of time spent for the bank slope work has been performed. The analysis has helped identify that in this context the value of the working bench width affects significantly the productivity loss: if the value increases up to $A = 72\text{m}$, losses are reduced by 90%.

Time losses to move the excavator to a new block and to the bank slope work were selected as the factors affecting the dragline performance.

For the first time, formulas for determining actual dragline productivity have been established, taking into account three factors: rotation angle for unloading, time losses for moving to a new block, and time losses for the bank slope work. They have made it possible to determine the relations between the face parameters and actual performance of the excavator, when working according to different schemes in combination with dump trucks.

For the first time, optimum values of the excavator width have been obtained, taking into account three factors affecting the excavator performance. That has made it possible to claim that the maximum dragline performance, when working with a dump truck that is at the level of the excavator's natural ground and below the natural

ground, will be at the bench mine width value of $A_{opt} = 22 \div 32$ m and $A_{opt} = 18 \div 24$ m respectively.

The influence of the bench height on the actual dragline performance has been specified. It has allowed determining the rational bench height while dragline working in combination with dump trucks, which is $H=10$ m, for all possible schemes.

Experimental studies were conducted to determine the dragline performance in terms of Motronivskyi-Annivskyi open pit. They have helped establish that along with bench width decreasing down to optimal values, the EIII-10/50 performance per shift increases by 1.8% in terms of the scheme with unloading into dump trucks, located at the level of the excavator natural ground, and productivity increases by 3.8% in terms of the scheme with unloading into a dump truck located on the lower site of the bench.

The performed technical and economic calculations have made it possible to identify the most effective technological schemes of a dragline excavator operation in combination with a dump truck. Those schemes are with the lower unloading and the location of a dump truck in the middle of the bench mined width. The prime cost to extract 1 m³ of overburden when using these schemes was $C = 45.84$ UAH/m³, being by 3% lower than the existing one. The application of the technological scheme with the lower unloading allows reducing the costs of opening by 79.65 mln UAH/year (in terms of Motronivskyi mining and processing works).

The performed research has allowed developing and implementing the technique of increasing the dragline productivity owing to rational values of the bench height and bench mined width, making it possible to obtain optimum parameters of the working bench face.

According to the research results, recommendations have been elaborated concerning the selection of rational technological schemes of dragline excavator operation during dump trucks loading for the Motronivskyi-Annivskyi open pit, taking into account the indicator of the concentration of mining operations within the open pit. The findings have helped state that in terms of Motronovskyi open pit,

a dragline with lower unloading into a dump truck located in the middle of the bench mined width and dragline location at the distance of $0.5A$ from the top edge is the most efficient scheme.

Keywords: dragline, turning angle, dump truck, bench mined width, bench height, face, optimal parameters, excavator performance, time loss, operation scheme.

ЗМІСТ

ВСТУП	17
1. СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ	22
1.1. Гірничо-геологічні умови залягання обводнених розсипних родовищ титану в Україні.....	22
1.2 Особливості розробки обводнених розсипних родовищ України	33
1.3. Огляд досліджень з теорії та практики застосування екскаваторів драглайнів в комплексі з автосамоскидами.....	36
1.4. Аналіз досліджень та напрямів з обґрунтування раціональних параметрів вибою роботи екскаваторів драглайнів.....	41
1.5. Ціль, задачі та методи дослідження	47
2. ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ВИБОЮ ЕКСКАВАТОРА ДРАГЛАЙНА ПРИ НАВАНТАЖЕННЯ ГІРНИЧОЇ МАСИ В АВТОСАМОСКИДИ	48
2.1. Встановлення залежностей кутів повороту драглайна від параметрів вибою	48
2.1.1. Встановлення оптимальних значень параметрів вибою за умовами безпеки.....	51
2.1.2. Вплив фізико-механічних властивостей гірських порід на параметри вибоя екскаватора драглайна	60
2. 1.3. Визначення кута повороту у вибій та його вплив на загальний кут повороту екскаватора.....	64
2. 1.4. Встановлення залежностей зміни кута повороту драглайна на розвантаження від параметрів вибою та місця установки автосамоскида.....	70
2.2. Визначення раціонального місця установки екскаватора драглайна у вибої.....	79
2.3. Вплив кутів повороту на тривалість робочого циклу драглайна	84
Висновки до 2 розділу	90

3. ДОСЛІДЖЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СХЕМ РОБОТИ ЕКСКАВАТОРІВ ДРАГЛАЙНІВ ДЛЯ ДОСЯГНЕННЯ МАКСИМАЛЬНОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ	92
3.1. Встановлення залежностей продуктивності екскаваторів від параметрів вибою та місця установки автосамоскида	92
3.2. Оцінка впливу параметрів вибою на втрати продуктивності драглайна за рахунок витрачання часу на переміщення у новий блок	93
3.3. Оцінка впливу параметрів вибою на втрати продуктивності драглайна за рахунок витрачання часу на заукосу уступів	105
3.4. Оптимізація параметрів вибою драглайна при умові його максимальної продуктивності	110
3.5. Встановлення залежності фактичної продуктивності драглайна від параметрів вибою методом математичного аналізу	118
Висновки до 3 розділу	121
4. АПРОБАЦІЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ВИБОЮ ТА ТЕХНОЛОГІЧНИХ СХЕМ ДЛЯ КОМПЛЕКСІВ ОБЛАДНЕННЯ «ЕШ+АВТОСАМОСКИД»	123
4.1. Проведення експериментально-дослідницьких робіт з впровадження раціональних параметрів вибою екскаватора драглайна	123
4.2. Проведення техніко економічної оцінки запропонованих раціональних технологічних схем	126
4.3. Методичні рекомендації щодо застосування раціональних параметрів вибою та технологічних схем для комплексів обладнання «ЕШ+автосамоскид»	134
4.4. Розробка рекомендацій вибору раціональних схем роботи екскаватора драглайна при навантаженні автосамоскидів для Мотронівсько-Аннівського кар'єру	137
Висновки до розділу 4	144
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.	145
Список використаних джерел	147

Додаток А.....	157
Додаток Б.....	165
Додаток В.....	169
Додаток Г.....	171
Додаток Д.....	192
Додаток Е.....	194

ВСТУП

Актуальність теми. Україна багата корінними та розсипними родовищами титанових руд. На протязі багатьох років в Україні розроблялись розсипні родовища, корисна копалина яких знаходиться на невеликій глибині, а отже вони не потребували великих капіталовкладень та складних технологічних рішень видобутку. Однак потреба у титановій сировині зростає, що сприяє початку розробки розсипів з більш глибоким заляганням рудного пласту. Одним з таких є ділянка Мотронівсько-Аннівського розсипу Малишевського титан-цирконієвого родовища.

Родовище має складну гідрогеологічну структуру, руда представляє собою тонкозернистий-пісок пливун з малою водовіддачею. Така властивість рудного піску не дозволила використати відомі методи водовідливу та осушення гірських порід. Тому для розробки рудного пласту використовують засоби гідромеханізації з земснаряди. Однак при такій технології видобутку надрудний уступ залишається водонасичений та має слабку стійкість. Тому для розробки розкривних порід було прийнято рішення використовувати екскаватори-драглайни з безпосереднім розвантаженням в автосамоскид. Це зумовлено низьким питомим тиском на ґрунт драглайна.

При спільній роботі драглайна та автосамоскида, продуктивність екскаватора падає на 10-15%, в порівнянні з безтранспортною системою розробки. Параметри вибою екскаватора драглайна при роботі по безтранспортній системі відрізняються від параметрів вибою при роботі драглайна в комплексі з автосамоскидами. Технологічні схеми роботи драглайнів в комплексі з автосамоскидами потребують детального вивчення, та встановлення оптимальних параметрів вибою.

На підставі вищенаведеного, обґрунтування оптимальних параметрів вибою екскаваторів драглайнів при їх роботі в комплексі з автосамоскидами для підвищення продуктивності гірничотранспортного комплексу є сучасною та актуальною задачею.

Метою дослідження є підвищення продуктивності комплексу гірничотранспортного обладнання «драглайн + автосамоскид» при розробці обводнених порід, за рахунок оптимізації параметрів вибою екскаватора–драглайна та врахуванні місця його розташування.

Для досягнення поставленої мети сформульовано та вирішено наступні завдання:

1. Аналіз досліджень та напрямів з обґрунтування раціональних параметрів вибою екскаваторів–драглайнів.
2. Дослідження впливу параметрів вибою на продуктивність драглайну.
3. Встановлення оптимальних параметрів вибою екскаваторів–драглайнів при навантаженні автосамоскидів та розробці обводнених гірських порід.
4. Встановлення раціональних технологічних схем роботи драглайнів для досягнення максимальної продуктивності.

Об'єкт досліджень – процес виймально-навантажувальних робіт екскаватора-драглайна в комплексі з автосамоскидами.

Предмет досліджень: параметри вибою екскаватора-драглайна при розробці обводнених розкритих порід.

Методи досліджень. У роботі використаний комплекс теоретичних і експериментальних методів дослідження, а саме: математичне та графічне моделювання при встановленні залежностей продуктивності драглайна від параметрів вибою; математичної статистики при аналізі експериментальних даних хронометражу; математичний аналіз функції при визначенні оптимальних параметрів вибою; метод варіації похідної для визначення достовірності залежності ширини заходки від продуктивності драглайну; техніко-економічний аналіз для вибору раціональної технологічної схеми роботи екскаваторів драглайнів в комплексі з автосамоскидами.

Наукові положення, що захищаються у дисертації:

1. Раціональна технологічна схема роботи драглайна в комплексі з автосамоскидами оцінюється та обирається, передбачаючи зменшення тривалості робочого циклу, при спільному врахуванні положення автосамоскида під навантаження і «центру мас вибою», який знаходиться в

центрі вибою для схем з розвантаженням на рівні стояння екскаватора, та знаходиться в центрі двох рівних частин умовно поділеного вибою для схем з нижнім розвантаженням.

2. Максимальна продуктивність драглайна, забезпечується при врахуванні кута повороту екскаватора, часу переміщення у новий блок та часу на заукоску уступу, а також оптимальних значень ширини заходки для схем з верхнім та нижнім розвантаженням, і раціональному значенні висоти уступу.

Наукова новизна одержаних результатів:

вперше:

- визначені кути повороту драглайну при навантаженні автосамоскидів, з врахуванням «центру мас вибою», та встановлено, що загальний кут повороту змінюється пропорційно зміні ширини заходки та висоти уступу, це дає змогу регулювати кут повороту та безпосередньо тривалість циклу змінюючи параметри вибою;

- встановлена залежність втрат продуктивності екскаватора від ширини заходки та висоти уступу драглайна, при вийманні обводнених гірських порід, за рахунок витрат часу при переміщенні екскаватора у новий блок та втрат часу на заукоску уступу;

- розроблено методику оптимізації параметрів вибою драглайнів які працюють в комплексі з автосамоскидами, для підвищення їх продуктивності з урахуванням трьох факторів: кута повороту на розвантаження, втрат часу на переміщення у новий блок та втрат часу на заукоску уступу.

удосконалено:

- алгоритм визначення кутів повороту драглайна при його роботі в комплексі з автосамоскидами, що дозволяє використовувати його для всіх типів драглайнів з урахуванням різних технічних параметрів екскаваторів;

- методику визначення максимально та мінімально допустимих значень ширини заходки і висоти уступу, при роботі екскаватора драглайна в комплексі з автосамоскидами, при розробці обводнених гірських порід;

дістало подальшого розвитку:

- дослідження впливу фізико-механічних властивостей обводнених гірських порід розсипних родовищ на параметри вибою драглайна, при його роботі в комплексі з автосамоскидами;

- дослідження з встановлення раціонального місця розташування драглайна у вибої, при його роботі в комплексі з автосамоскидами, враховуючи кут повороту екскаватора на розвантаження.

Практичні значення отриманих результатів роботи полягають у наступному:

1. Розроблено програмний алгоритм для встановлення раціональних параметрів вибою екскаватора–драглайна при його роботі в комплексі з автосамоскидами, за умови його максимальної продуктивності.

2. Розроблено рекомендації щодо вибору раціональних схем роботи екскаватора–драглайна при навантаженні автосамоскидів, та встановлено оптимальні параметри вибою для забезпечення максимальної продуктивності екскаватора, що дозволяє отримати річний економічний ефект у розмірі 12,8 млн грн/рік за рахунок зменшення витрати на розкриття на 1,6 грн/м³, при об'ємі розкриття 13 млн м³/рік, для умов Мотронівського ГЗК.

Впровадження результатів роботи. Запропоновані методичні рекомендації щодо встановлення раціональних параметрів вибою екскаватора драглайна при його роботі в комплексі з автосамоскидами, для підвищення його продуктивності, передані в проектний інститут ТзОВ «Гірхімпром» для використання в робочих проектах будівництва та експлуатації обводнених розсипних родовищ корисних копалин.

Рекомендації з вибору раціональних схем роботи екскаватора-драглайна при навантаженні автосамоскидів, та встановленню оптимальних параметрів вибою впроваджені на Мотронівському ГЗК.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Обраний напрям досліджень пов'язаний з науковою програмою ДВНЗ «НГУ» (НТУ «Дніпровська політехніка») відповідно до плану НДР Міністерства освіти і науки України за темами: «Розробка екологізберігаючих технологій видобування корисних копалин і гірничотехнічної рекультивації,

спрямованих на ефективне використання постгірничопромислових територій» (№ держреєстрації 0116U004621, 2016–2017 р.), в якій автор брав участь як виконавець; «Наукове обґрунтування методологічної, технологічної, екологічної і правової бази вилучення корисних компонентів з техногенних родовищ України» (№ держреєстрації 0116U004619, 2016–2017 р.), в якій автор брав участь як виконавець; «Обґрунтування новітніх технологічних рішень освоєння родовищ корисних копалин у контексті сталого розвитку гірничовидобувних регіонів» (№ держреєстрації 0120U102078, 2020 – 2022 р.), в якій автор бере участь як виконавець.

Особистий внесок здобувача полягає у формулюванні мети, науково практичної задачі роботи, обґрунтуванні наукових положень та наукової новизни за результатами досліджень, обґрунтуванні оптимальних параметрів вибою екскаваторів-драглайнів, розробці рекомендацій щодо вибору раціональних схем роботи екскаваторів-драглайнів в комплексі з автосамоскидами.

1. СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1. Гірничо-геологічні умови залягання обводнених розсипних родовищ титану в Україні

Мінерально-сировинна база титану в Україні представлена різними за масштабом оруднення і генезису родовищами, які знаходяться на різних стадіях геологічного вивчення. Основні ресурси зосереджені у великих ільменітових і ільменіт-рутил-цирконієвих розсипних родовищах.

Промислове вилучення титану переважно з ільменіту - FeTiO_3 (36,8% заліза, 31,6% кварцу, 31,6% титану) і рутилу - TiO_2 (60% титану, 40% кварцу). Згідно з інформацією відділу геології корисних копалин Інституту геологічних наук НАНУ, в цілому ресурси титанових руд України оцінюються потенційно в 20%, а затверджені запаси знаходяться в межах 7-12% від світових запасів [90].

В Україні є чотири основні зони титан-цирконієвих розсипів (рис. 1.1.): Придніпровська, Приазовська, Харківсько-Сумська, Азово-Причорноморська.

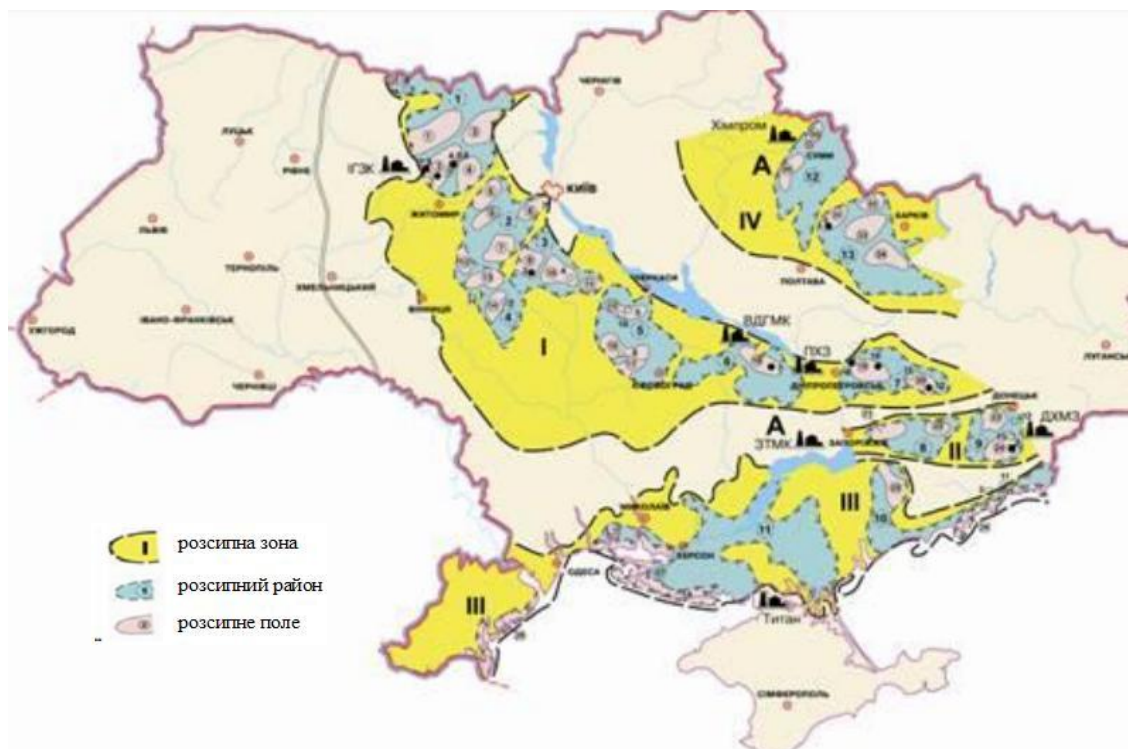


Рис. 1.1 Мапа титан-цирконієвих розсипів України. Розсипні зони: I – Придніпровська, II – Приазовська, III – Азовсько-Причорноморська, IV – Харківсько-Сумська [13]

На сьогодні в Україні розвідано 26 родовищ титанових руд, що мають комерційні запаси, а крім них - ще 48 родовищ, запаси і ресурси яких оцінені попередньо і складають, умовно, «базу запасів титану країни».

Іршанська група розсипних родовищ була розвідана в 1951 році, та почала розроблятися у 1956 році. Розробку родовищ виконують відкритим способом. Перспективними родовищами на сьогодні є: Ушицьке, Іванівське, Злобицьке, Паромівське, Правобережне, Ставищанське, Красноріченське, Торчинське.

Межиріченське родовище розташовується у Володарсько-Волинському районі Житомирської області, між селами Ісаківка, Томащівка та Ємилівка. Воно межує з Тростянецьким родовищем. Основну частку розкривних порід, до 65%, складають дрібнозернисті та середньозернисті кварцові піски, інша частина розкривних порід представлена супісками, до 18%, вторинними каолінами, до 10%, та суглинками до 7%. Середня потужність розкриття 8,5 м.

Рудний пласт складається на 55% з піщаних вторинних каолінів, також на 38 % з середньозернистих кварцових каолінових пісків, та на 7 % з грубозернистих кварцових каолінових пісків з гравієм та галькою кварцу. Рудні піски мають середню потужність 6,7 м. Вміст ільменіту у рудних пісках нерівномірний і коливається від 12,9 до 116,3 кг/м³, середнє значення вмісту ільменіту в руді 79,2 кг/м³.

Тростянецьке родовище розташовується у Житомирській області в межах Володарсько-Волинського та Черняхівського районах, на відстані 7 км від залізничної станції Нова Борова. Воно граничить з Межирічанським родовищем, Букінським родовищем на сході та Селищанським розсипом на півночі.

Корисна копалина на 25 % складається з пісків, на 25 % з вторинних каолінів, на 45 % з первинних каолінів та на 5 % з жорстви кори вивітрювання. Середня потужність рудного пласту 7,3 м, з вмістом ільменіту в середньому 113,5 кг/м³. Максимальна глибина залягання рудного покладу складає 37 м, а середня потужність розкривних порід 8,3 м.

На сьогодні розробка родовища знаходиться на стадії проекту, який передбачає відкритий спосіб видобутку із застосуванням гідротранспорту для розмиву рудних навалів.

Тарасівське рутил-циркон-ільменітове родовище розташовується у Київській області в Володарському районі. Родовище входить у групу прибережно-морських розсипів на північно-східному схилі Українського щита. Рудний поклад знаходиться в осадових товщах полтавської світи сарматського ярусу, так як і у Малишевському родовищі, тому вони є аналогічними за будовою. Рудний пісок родовища представлений категоріями В+С₁+С₂, загальним об'ємом 136,9 млн м³, та вміщає 763,5 тис. т ільменіту, 1859 тис. т лейкоксену, 889 тис. т рутилу, 994 тис. т циркону, 489,5 тис. т силіманіту і дистену, та 54,7 тис. т ставроліту. Середній вміст важкої фракції в руді складає 2,2-2,4 %. Розкривні породи представлені глинами та суглинками, з середньою потужністю 18,5 м.

Бирзулівське родовище знаходиться в Новомиргородському районі Кіровоградської області. Воно представлено корою вивітрювання Корсунь-Новомиргородського габро-анортрозитового плутону. Максимальна потужність кори вивітрювання 45 м. Вміст ільменіту у розсипі досягає 267 кг/м³. Розсип має довжину близько 5 км та ширину 900 м, та складається з двох частин: нижньої та верхньої. Верхня частина представлена прибережно-морськими утвореннями нижньо-крейдового періоду з вмістом ільменіту до 758 кг/м³, а нижня частина представляє алювіально-девілюальні поклади смелянської товщі з вмістом ільменіту до 585 кг/м³. Середня потужність розкривних порід 22 м, а рудного пласта 6,9 м. Виробництво на Бирзулівському родовищі стартувало в квітні 2012 року з номінальною потужністю 185 тис. т ільменіту на рік, та збільшено до 270 тис. т в 2013 році, розробку веде компанія «Велта».

Лікарівське родовище розташоване на південь від с. Лікареве Новомиргородського району Кіровоградської області, в 6 км на схід від діючого ГЗК, Бирзулівського родовища ільменітових розсипних руд та

фактично є східним продовженням цього родовища. 22 серпня 2017 року компанія «Велта» отримала спеціальний дозвіл на користування надрами. Після отримання всіх дозвільних документів на базі Лікарівського родовища планується будівництво гірничо-збагачувального комплексу номінальною потужністю 110 тис. т ільменітового концентрату на рік. [91]

Торчинське апатит-ільменітове родовище [14] знаходиться у Житомирській області в межах Черняхівського, Коростишівського та Радомишльського району. Рудний пласт має довжину 11 км та ширину до 9 км. Руда представлена трьома видами порід: вивітраним габро, жорсткою та первинним каоліном, які мають середню потужність відповідно 1,5 м, 3,6 м, та 7 м. Середня потужність розкривних порід складає 16,7 м, а рудного пласту – 11 м. Вміст ільменіту у руді від 30 до 180 кг/м³, а апатиту 12-16 кг/м³. Також в ільменіті присутній скандій і ванадій.

Федорівське апатит-ільменітове родовище знаходиться у Житомирській області в межах Черняхівського району, ні відстані 30 км від Іршанського ГЗК. Рудний поклад простягається у північно-східному напрямку на 3,6 км та має ширину 250-500 м. Корисна копалина має вміст ільменіту 2 - 4 %, та апатиту – 0,5 – 1 %. Розкривними породами представлені сучасними і неогеновими суглинисто-глинистими покладами середньою потужністю 11-32 м в північній і 9,6 м в південній частині.

Стремигородське родовище апатит-ільменітових руд знаходиться у Житомирській області в межах Коростенського району, та примикає до південної ділянки села Діброва. Руда представлена значними покладами діоксиду титану і пентаоксиду фосфору, переважна частина яких знаходиться в скельних рудах, а менша в корі вивітрянню.

На базі Стремигородського родовища планується побудувати кар'єр, з капітальним обсягом розкриття - 12,3 млн м³, з яких 10,4 млн м³ складуть розкривні породи та 1,9 млн м³ каолінові руди. Передбачається видобуток руди: каолінової – 8,8 млн т, вивітреного габро - 11,9 млн т, кристалічного габро – 113,5 млн т.

Однак є складнощі при розробці родовища, найбільша з них полягає у складних гідрогеологічних умовах. За результатами розвідувальних робіт середня питома вага мінерального скелету руди становить $1,27 \text{ т/м}^3$. Щільність каоліну становить $2,6 \text{ т/м}^3$, пористість $0,51 \%$, та вологість 40% . Це зумовлює перехід каолінів в текучу консистенцію, бо як відомо глинисті породи переходять у цю консистенцію при 35% вологості [28]. Тому після розкриття покрівлі пісків можливе випинання і розрідження каолінів, що може призвести до опливання рудних каолінів.

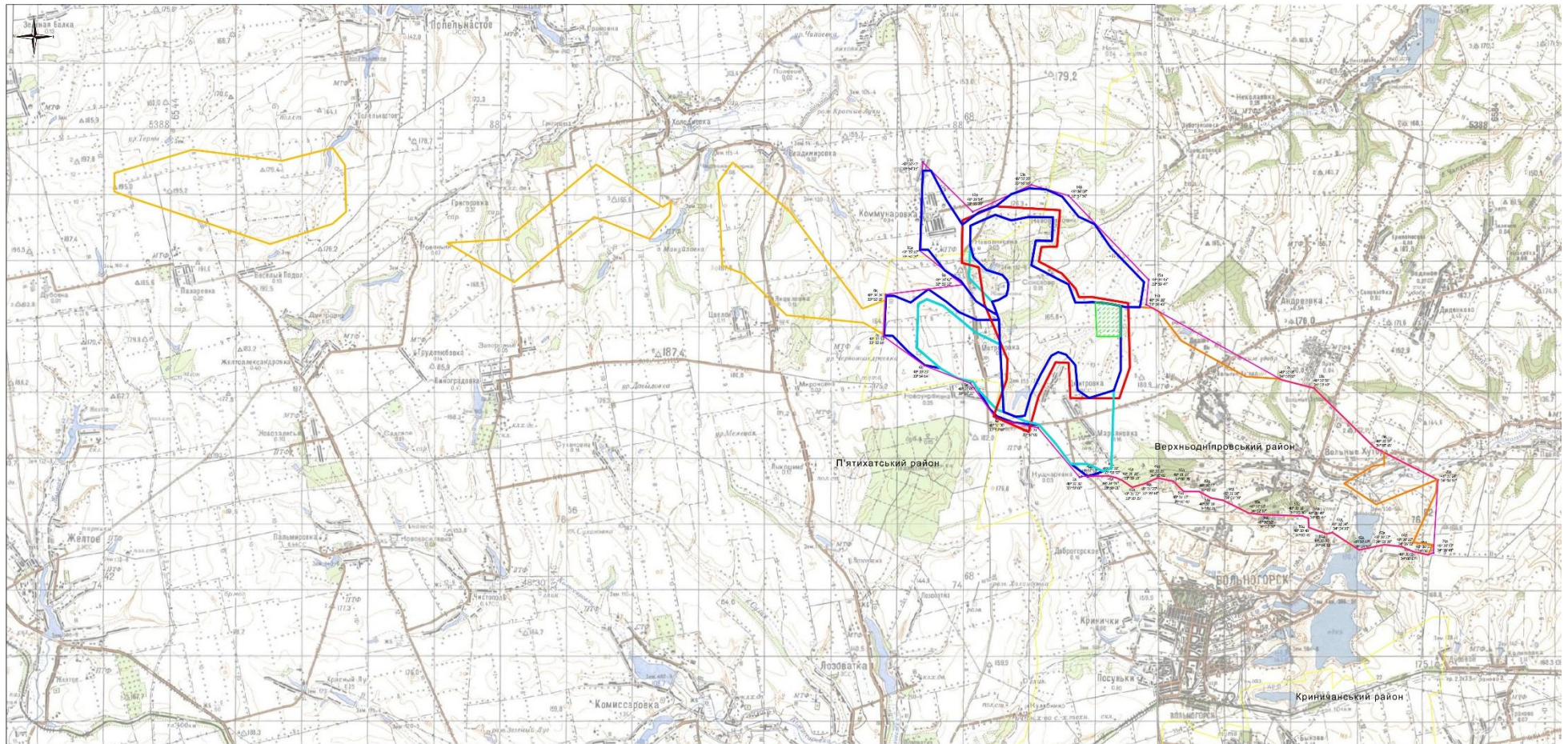
Стремигородське родовище являється одним з найбільших титанових родовищ в світі, однак складні гірничо-геологічні та гідрогеологічні умови родовища, потребують застосування ефективних комбінованих систем видобутку, які будуть спиратися на врахування інженерно-геологічних властивостей порід розкриву та руди.

Малишевське титан-цирконієве родовище представлено трьома основними ділянками: Східною, Мотронівсько-Аннівською та Північно західною (рис 1.2.). Родовище розташоване у Дніпропетровській області в межах Верхньодніпровського і П'ятихатського районах.

Малишевське родовище відносять до прибережно-морських піщаних відкладень сарматського ярусу неогену й піщаних відкладень полтавської серії нижнього неогену – верхнього палеогену. Нижче рудоносних пісків залягають піщано-глинисті осадові утворення палеогену, кора вивітрювання й кристалічні породи Українського кристалічного щита.

Розкривні породи родовища представлені сарматськими зеленувато-сірими глинами й четвертинними червоно-бурими глинами, червоно-бурими й лісовидними суглинками. Загальна потужність цих порід становить $2\text{-}10 \text{ м}$ у балках, та $60\text{-}65 \text{ м}$ на вододілах.

Східну ділянку родовища розробляє Вільногірський гірничо-металургійний комбінат (ВГМК). Гірничотехнічні умови експлуатації ділянки є сприятливими для відпрацювання відкритим способом покладів сарматського ярусу.



УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ:












	Контур ліцензійної площі відповідно до спеціального дозволу на користування надрами № 3640 від 31 грудня 2004 року		Контур підрахунку залишкових запасів категорії С ₁ в межах ліцензійної площі		Місце положення кар'єру
	Граничні адміністративних районів		Контур підрахунку залишкових запасів категорії С ₁ поза межами ліцензійної площі		
	Контур підрахунку запасів:		Контур гірничого відносу		
	Контур підрахунку балансових запасів категорії С ₁		Автомобільні дороги		
	Контур підрахунку запасів з незначним промисловим значенням категорії С ₁				
	Контур підрахунку позабалансових запасів категорії С ₁				

Рис. 1.2. Ситуаційний план Малишевського родовища

Потужність продуктивних рудних пісків сарматського ярусу коливається від 2 до 20 метрів.

Основна частина запасів рудних пісків приурочена до трьох стрічкообразних, паралельних між собою покладів в сарматському горизонті: I і II Середньої і Південної. Поклади мають ширину від 150 - 200 (I Середня) до 400 - 650 метрів (II Середня та Південна), які розділені між собою безрудними зонами, шириною 100 - 300 метрів. По простяганню рудні поклади розчленовані повністю або частково стародавньо-четвертичними балочними розмивами, які знищили (вимили) близько 20% початково утворених запасів розсипів родовища.

Потужність промислового пласта пісків в зоні відпрацювання становить: I Середні поклади - 9,7 м, II Середні поклади - 16,1 м, Південні поклади - 14.6 м.

Середня потужність (геологічна) розкривних порід по I Середнім покладам 43,9 м, II Середнім покладам - 33,5 м, Південним покладам – 42,9 м.

Об'ємна маса порід розкриву коливається від 1,54 (палево-жовті лесовидні суглинки) до 2,05 (глина зеленувато-сіра сарматського ярусу), середня - 1,90; рудних пісків в сирому вигляді - 2,0 т / м³, в перерахунку на суху масу - 1,86 т / м³.

Рудні піски складаються з кварцу (45-90%, в середньому 75%), мінералів глини (5-50%, в середньому 20%) і різних важких рудних мінералів (кількістю 1-30% в середньому 5-6%, з питомою вагою > 2,9 т / м³): лейкоксенізованого ільменіту, лейкоксена, рутилу, циркону, дистен-силіманіту, ставроліту, турмаліну, хроміту.

Основними мінералами, що мають промислову цінність, є ільменіт, рутил, циркон, в незначних кількостях дистен-силіманіт, ставроліт, а з легкої фракції кварц, як формувальна, скляна і будівельна сировина.

Гідрогеологічні умови відпрацювання покладів сарматського ярусу родовища відкритим способом є сприятливими, рівень підземних вод знаходиться нижче горизонту дна кар'єра ВГМК.

Мотронівсько-Аннівський розсип (МАР) розташований на відстані 10 км від кар'єру ВГМК. Розсип розробляється Мотронівським гірничо-збагачувальним комбінатом.

Промислове оруднення приурочено до верхньої частини відкладів полтавської серії міоцену. Руда представлена кварцовим глинистим піском, який складається на 80-87 % із кварцу та на 12-19% з глинистих мінералів. Вміст легкої фракції 4 %, важкої 96 %.

На території родовища поширені (рис.1.3): 1) безнапірний водоносний горизонт у легких лесовидних суглинках четвертинного віку, і 2) безнапірний водоносний комплекс у неоген-палеогенових відкладах - пісках сарматського і полтавського віку та підстиляючих відкладах.

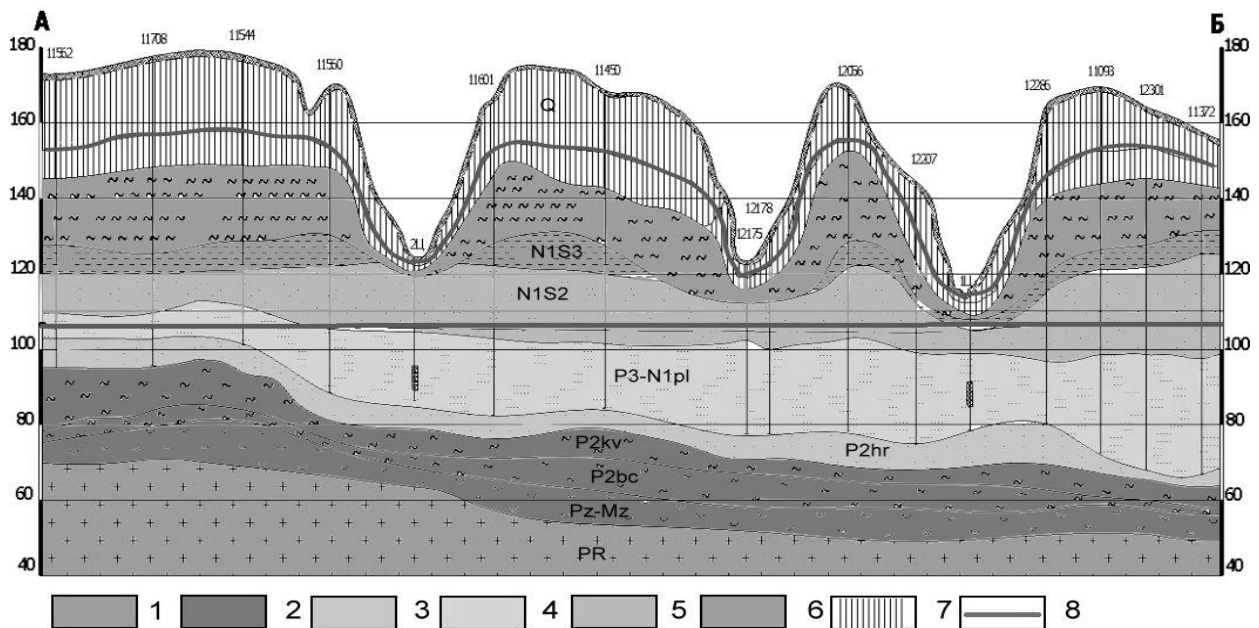


Рис. 1.3. Геологічний розріз Мотронівсько-Аннівської ділянки. За матеріалами «Центрукргеології» [92]. 1-породи кристалічного фундаменту, 2-відносно водотривкі породи кори вивітрювання, бучацького і київського ярусів, 3-піски харківського ярусу, 4-піски полтавської серії, 5-піски сарматського ярусу, 6-водотривкі глини, 7-суглинки лесовидні і родючий шар, 8-рівень підземних вод.

У першому від поверхні водоносному горизонті рівень води залягає на глибинах від 2,5 до 12 м, поверхня дзеркала ґрунтових вод повторює рельєф. Потужність зони насичення від 0.4 до 10-11 м, найчастіше 2-5 м. Вода має мінералізацію від 1 до 3 г/л, її використовують для місцевого водопостачання. Коефіцієнт фільтрації суглинків в середньому дорівнює 0,07 м/добу. Живлення водоносного горизонту забезпечується атмосферними опадами в періоди, коли опади переважають над випаровуванням. Річна норма інфільтрації становить 10 мм.

Рудний шар має практично горизонтальне розташування у масиві (рис 1.3.). Потужність рудних пісків коливається від 3 до 24 м, та має середнє значення 11,2 м.

Підстилаючим водотривом служать загіпсовані важкі суглинки і глини четвертинного віку та верхнього сармату. У балках глини розмиті, що обумовлює стік ґрунтових вод до тальвегів балок, де вони живлять води в алювіально-делювіальних утвореннях, а через них з'єднуються з водоносним комплексом у пластах, що залягають нижче.

Водоносний комплекс у неоген-палеогенових відкладах складається з нижньої частини шару пісків сарматського ярусу, пісків полтавської серії та з піщано-глинистих відкладів харківського ярусу. Рівень води знаходиться на відмітках 100-110 м, тобто на 1-11 м вище покрівлі рудного шару. Обводнена тільки нижня частина пісків сарматського ярусу [92].

У роботі [28] було проведе дослідження по встановленню інженерно-геологічних властивостей порід розсипу. Так для глинисті породи розкриву поділені на 8 інженерно-геологічних елементів (ІГЕ). Та встановлено, що жовто-бурі, красно-бурі та сіро-зелені глини є водотривким ложем четвертинного водонасиченого горизонту, що обумовлює їх велику вологість та властивість переходити в текучу консистенцію при досягненні вологості 0,35 і більше. Фізико-механічні параметри гірничих порід Мотронівського розсипу приставлені у табл. 1.1.

Також були встановлені інженерно-геологічні властивості пісків сарматського ярусу і рудних пісків полтавського ярусу. Так пісок сарматського ярусу у зруйнованому вигляді має щільність $1,4 \text{ г/см}^3$, пористість $0,46$, та визначається як легкорозмокаємий. Пісок полтавської серії, в тому числі і руда, згідно з інженерно-геологічною класифікацією порід за грунолометричним складом відноситься до пилюватих легких суглинків, та мають признаки пливунних порід [4]. Обводнені піски під дією градієнту фільтрації на ділянках височування води в бортах кар'єру деформуються шляхом опливання. В результаті утворюються ніші, які провокують обвали товщі пісковика, що залягають вище товщі водонасиченого шару[5].

У роботі [48] була проведена геомеханічна оцінка стійкості робочого борта Мотронівського кар'єра з урахуванням складної структури, властивостей порід і навантажень від гірничо-транспортного встаткування. На підставі встановлених залежностей фізико-механічних характеристик порід від ступеня їх вологості в роботі були визначені значення коефіцієнту запасу стійкості борту кар'єру з урахуванням обводнення гірського масиву. При цьому, прогнозне обвалення масиву і розвиток зсувних явищ виникає при вологості порід $W_0 = 16\%$. Це дає змогу стверджувати, що розкривні породи мають низьку несучу здатність.

Базуючись на дослідження наведених в роботі [28], видобуток рудного піску Мотронівського ГЗК виконується за допомогою земснарядів, а розкривні породи розробляються екскаваторами-драглайнами, які мають питомий тиск на ґрунт від $0,98$ до $1,1 \text{ кг/см}^2$.

1.2. Особливості розробки обводнених розсипних родовищ України

За походженням розсипні родовища поділяють на континентальні і прибережно-морські. Розсипні родовища континентального походження були сформовані в процесі розмиву кори вивітрювання корінних магматичних порід поверхневими водами, і являють собою алювій. Це обумовлює складну

структуру родовищ. Морські розсипи мають більш однорідний гранулометричний склад, та менш складну поверхню покрівлі і підшови.

Основну розробку розсипних родовищ титану в Україні виконують такі підприємства як: Вільногірський ГМК, Іршанський ГЗК і Мотронівський ГЗК.

Іршанський ГЗК є найстарішим підприємством з видобутку титану в Україні. В його склад входять 7 родовищ, три з яких розробляються на сьогоднішній день - Лемненське (розсип Ш), Верхньо-Іршанське (Гацьківська ділянка), Іршанське (Шершнівська ділянка) [15].

За період існування для видобутку руди на Іршанському ГЗК застосовувались різноманітні технологічні схеми видобутку.

Рудні піски групи Іршанських родовищ як правило обводнені, тому на початку видобутку застосовувалась технологічна схема яка передбачала проведення розкривних робіт за допомогою драглайнів ЕШ-10/60, та видобуток руди драгою «ІЗТМ», на якій отримувався черновий концентрат. Драглайн працював за безтранспортною системою, яка полягала в переєкскавації розкривних на ефельні відвали, які були утворені драгою. Для транспортування чорного концентрату використовували плавучий пульпопровід.

В процесі роботи була використана транспортна система видобутку за допомогою роторних комплексів. Вона передбачала проведення розкриву роторним екскаватором, з подальшим внутрішнім відвалоутворенням з-за допомогою відвалоутворювача. Видобуток рудного піску проводився драглайном, з розміщенням руди у тимчасові штабелі, які після обезвоження розроблялись роторним екскаватором, та за допомогою стрічкового конвеєру подавались на збагачувальну фабрику.

На сьогодні розкривні роботи на кар'єрах здійснюються за ускладненою безтранспортною системою розробки з застосуванням екскаватора-драглайна ЕШ-11/70.

У зв'язку з мінімальним відведенням земель під гірничі роботи, укладання розкривних порід на неробочий борт кар'єра не виконується, що обумовлює

розміщення розкривних порід або відразу в вироблений простір кар'єру, за умови наявності цього простору, або розміщення розкривних порід спочатку на робочий борт кар'єру з подальшою їх переєкспедицією.

Видобувні роботи проводяться екскаваторно-гідравлічним способом з розмивом попередньо розпушених рудних пісків екскаватором. Відповідно до технології розкривних робіт, екскаватор ЕШ-11/70 розкриває видобувний уступ на якому розташовується забійна ґрунтова насосна (землесосна) установка і гідромонітор для розмиву рудних пісків. Видобувні екскаватори пересуваються по покрівлі пласта по дузі з радіусом, рівним радіусу розвантаження ковша екскаватора.

По довжині фронту, уступ розбивається на видобувні блоки, на кожному з яких в процесі просування фронту встановлюється гідромоніторна установка для розмиву руди і приймальний зумпф.

Нижня частина рудного пласту обводнена, тому воду, що поступає в кар'єр, акумулюють у зумпфи та відкачують насосами і скидають у систему оборотного водопостачання, або гідромережу.

Вільногірський гірничо-металургійний комбінат виконує розробку Східної ділянки Малишевського родовища відкритим способом.

Запаси руди на Східній ділянці Малишевського родовища зосереджені в трьох паралельних покладах: I Середній поклад, II Середній поклад і Південний поклад.

Відпрацювання Східної ділянки родовища проводиться кар'єром № 7, з протяжністю фронту гірничих робіт 1900 м.

Кар'єр має центральне розкриття, тобто розрізна траншея проходила по центру кар'єрного поля по безрудних міжпокладній зоні, між II Середнім і Південним покладами, що має ширину близько 250 метрів. Центральний розтин є оптимальним, забезпечує видобувні роботи на двох ділянках кар'єра № 7: «Північ» і «Південь».

На ділянці «Північ» проводиться відпрацювання I Середнього і II Середнього покладів, з протяжністю фронту гірничих робіт 1100 метрів по

денній поверхні. На ділянці «Південь» відпрацьовується Південний поклад, з протяжністю фронту гірничих робіт 800 метрів.

Через наявність великих балок, потужність порід розкриття коливається від 3,0 до 56,0 метрів, складаючи в середньому 35,2 м, в тому числі на ділянці «Північ» - 31,5 м, на ділянці «Південь» - 42,5 м. Нижчі позначки тальвегом балок - 100 - 110 м, позначки вододілів - 160 - 165 м. Тому поточний коефіцієнт розкриття може змінюватися в межах від 0,5 до 5,0 м³ / м³.

На ділянці «Північ» видобувні роботи проводяться на I і II Середніх покладах трьома екскаваторами ЕШ-10/50 і одним екскаватором ЕШ-6/45. Екскаватори, розташовуючись на покрівлі рудного уступу, виконують розробку рудних покладів з нижнім черпанням, з безпосередньою навантаженням рудних пісків в автомобілі БелАЗ-7548 (в/п 45 т і BELL B60E (в/п 55 т). Автосамоскидами рудні піски транспортуються на рудний склад пересувної пульпонасосної станції (I черга), що знаходиться в південному торці ділянки «Північ» на позначці покрівлі рудного уступу. Далі, шляхом гідромоніторного розмиву (ГМД- 250), пульпа, що утворюється ґрунтовими насосами, по пульповоду подається на збагачувальну фабрику.

На ділянці «Південь» видобувні роботи проводяться на Південному покладі екскаваторами ЕШ-6/45 і ЕШ-10/50. Екскаватори, розташовуючись на покрівлі рудного уступу, виконують розробку рудних покладів нижнім черпанням, з безпосереднім навантаженням рудних пісків в автосамоскиди. Автосамоскидами рудні піски транспортуються на рудний склад пересувної пульпонасосної станції (II черга), що знаходиться в північному торці ділянки «Південь» на позначці покрівлі рудного уступу. Далі, шляхом гідромоніторного розмиву утворюється пульпа, вона ґрунтовими насосами по пульповоду подається на збагачувальну фабрику [8].

На Мотронівському ГЗК за рахунок складних гідрогеологічних умов розсипу, а саме пливунними властивостями руди та обводненими розкритими породами, використовується транспортна система видобутку руди з застосуванням земснарядів. Вона передбачає безпосередній видобуток

руди земснарядом та транспортування її на транспортну фабрику пульпопроводом. При використанні даної технологічної схеми видобутку рудний пласт затоплений.

Як вказувалось раніше розкривні породи обводнені та мають слабку стійкість, особливо надрудний уступ який змочується за рахунок води рудного пласта. Тому для розкриву використовують екскаватори драглайни ЕШ-10/50 з безпосереднім розвантаженням в автосамоскиди Cat-778 та БелАЗ-7555. Комбінація такого гірничотранспортного комплексу була обумовлена низьким питомим тиском на ґрунт, який дозволяє відпрацьовувати водонасичені породи розкриву.

Таким чином, ми бачимо, що на сьогодні для видобутку титанової руди в складних гідрогеологічних умовах застосовуються комплекси гірничотранспортного обладнання «ЕШ+автосамоскид», бо використання інших екскаваторів не можливе по причині великого питомого тиску на ґрунт. Однак ці комплекси мають значні недоліки, основним з яких є менша продуктивність драглайну в порівнянні з його роботою по безтранспортній технології. Тому питання підвищення продуктивності екскаваторів-драглайнів при їх роботі в комплексі з автосамоскидами, є актуальним.

1.3. Огляд досліджень з теорії та практики застосування екскаваторів драглайнів в комплексі з автосамоскидами

Вперше, на практиці, використання екскаваторів-драглайнів для навантаження в транспортні засоби, було здійснено в 1953-1955 рр. на Батурінському вугільному розрізі. Так для навантаження вугілля та породи використовувався драглайн ЕШ-1, з об'ємом ковша 4 м³, розвантаження здійснювалася в думпкери вантажопідйомністю 50 т.

У 1960 р технологія прямого навантаження обводнених розкривних порід екскаваторами ЕШ-6/60 в залізничні думпкери була освоєна при проходці розрізних траншей на будівництві Сарбайського кар'єра [12]. Там же, в 1964 р зроблена спроба застосування драглайнів з місткістю ковша 6 і 14 м³ на

безпосередньому навантаженні підірваних скельних порід і руди в думпкари ВС-95 і ВС-100. При цьому на ЕШ-6/60 з метою зменшення зони розвантаження ковша була зменшена довжина розвантажувального каната. На ЕШ-14/75 демонтували один проліт трубчастої конструкції в головній частині стріли, в результаті чого довжина її зменшилася до 55 м [86].

На Михайлівському кар'єрі, починаючи з другого півріччя 1962 року, екскаватори ЕШ-4/40 також почали використовувати для навантаження обводнених розкривних порід безпосередньо в залізничні думпкари. У 1967 р для цього почали застосовувати ЕШ-10/60 і ЕШ-10/50.

У 1975 р на Михайлівському кар'єрі була впроваджена нова на той час технологічна схема відпрацювання північного борту драглайном ЕШ-10/50 (модернізований ЕШ-10/70) з навантаженням гірничої маси безпосередньо в автосамоскиди БелАЗ-540 і БелАЗ-548. Впровадження нової технології на розкривних роботах дозволило збільшити висоту уступів, підвищити продуктивність виймальних-навантажувального і транспортного обладнання, а також вирішити питання прибортового дренажу і стійкості уступів [24]

Проте, конструктивні особливості робочого обладнання драглайна, головним чином, гнучка підвіска ковша і наявність зони його "саморозвантаження", пред'являли підвищені вимоги до кваліфікації машиніста і істотно знижували ефективність навантажувальних робіт, а отже і продуктивність екскаватора в порівнянні з роботою по безтранспортній схемі.

Технологічну схему з використанням ЕШ-10/50 в комплексі з автосамоскидами БелАЗ-540 застосовували на Грушевському кар'єрі Марганецького ГЗК для відпрацювання обводнених ділянок родовища. Продуктивність драглайна становила 1691 тис. м³/рік відповідно при коефіцієнті використання 0,61.

У Кіровоградському рудоуправлінні вогнетривких глин для розробки нижніх розкривних уступів кар'єра "Лівобережний" модернізували драглайн ЕШ-4/40 для навантаження породи в автосамоскиди БелАЗ-540. Модернізація

полягала в установці в середній частині стріли додаткового блоку проходження через нього підйомного каната. Для збільшення продуктивності екскаватору встановлювали ківш ємністю 6 м³. При куті повороту екскаватора до 100 град, тривалість робочого циклу складала 36 с.

Модернізований екскаватор ЕШ-10/40 застосовувався на руднику Кіровоградського рудоуправління більше двох років. За цей час навантажено в автосамоскиди близько 1 млн м³ розкривних порід. [27]

Крокуючі драглайни в комплексі з залізничним транспортом застосовувалися для відпрацювання дуже обводнених осадових порід Лавриківського родовища Полтавського ГЗК. Для відпрацювання порід щільністю до 2 т/м³ використовувалися ЕШ-6/45, понад 2 т/м³ - ЕШ-10/50 на базі екскаватора ЕШ-10/70А. Це забезпечило збільшення висоти уступів, що розробляються. Також за рахунок паралельного проведення дренажних виробок для осушення, створювалися безпечні умови роботи всього гірничо-транспортного устаткування. Драглайни дозволяли забезпечити заоткоску уступів під заданим кутом, що підвищувало їх стійкість[40].

Відомі випадки використання екскаваторів-драглайнів для безпосереднього навантаження гірської маси в транспортні засоби циклічної дії на вугільних кар'єрах. Так, на розрізі "Морозівський" виробничого об'єднання "Олександріввугілля" ЕШ-6/60 і ЕШ-5/45 використовувалися на завантаженні вугілля в залізничні вагони. При цьому екскаватор встановлювався з максимальним наближенням до залізничної колії, щоб траєкторія руху ковша при розвантаженні наближалася до поздовжньої осі вагону. Середня продуктивність драглайнів по гірничій масі становила 143 тис.м³/місяць, а середня тривалість циклу на навантаження вагонів становила 42,3 с замість 37,4 с при укладанні породи у відвал. Збільшення тривалості циклу при навантаженні вугілля у вагони пояснюється зменшенням площі розвантаження, обмеженими параметрами вагона, і залежить від кваліфікації машиніста екскаватора [9].

В сучасній Україні драглайни в комплексі з автосамоскидами застосовуються на Мотронівському, Єристівському, Іршанському гірничо-збагачувальних комбінатах та Вільногірському ГМК.

На Мотронівському кар'єрі застосовується схема роботи драглайна з нижнім черпанням і розвантаженням в автосамоскид, що розташовується на рівні установки екскаватора (рис. 1.4) Автосамоскид розташовується поблизу запобіжного валу, який попередньо відсипає екскаватор.

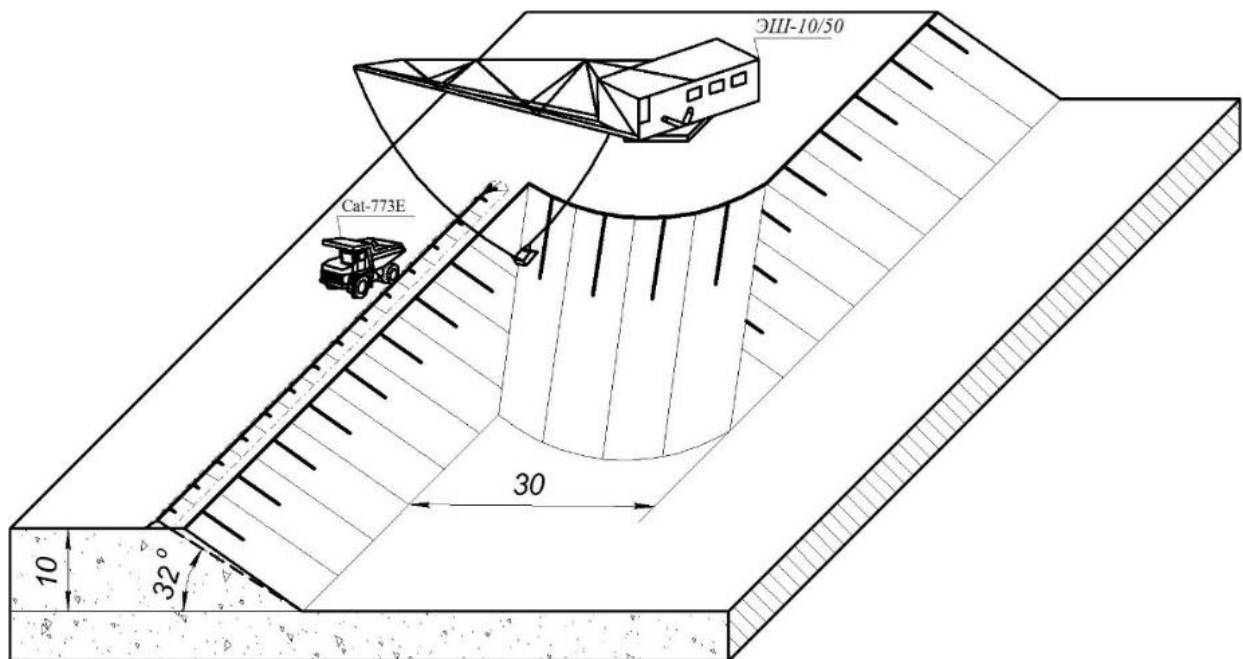


Рис.1.4. Схема вибою драглайна з нижнім черпанням та розвантаженням в автосамоскид, що знаходиться на рівні стояння екскаватора

Єристівський кар'єр розробляє родовище залізистих кварцитів. При розкритті родовища з'явилася необхідність використання екскаваторів драглайнів в комплексі з автосамоскидами, так як м'які розкриті гірничі породи водонасичені, тому застосування кар'єрних екскаваторів на гусеничному ході небезпечно.

В якості виймально-навантажувального обладнання для розробки м'яких порід розкриття використовуються екскаватори ЕШ-14/50. Розвантаження розкритих порід здійснюється безпосередньо з вибою в автосамоскиди Cat-

789С вантажопідйомністю 180 т. При цьому, застосовується технологічна схема роботи драглайна з нижнім черпанням і розвантаженням в автосамоскид який розташовується на нижній площадці уступу (рис 1.5.). Під навантаження автосамоскид розташовується по середині ширини заходки екскаватора, і на безпечній відстані від вибою.

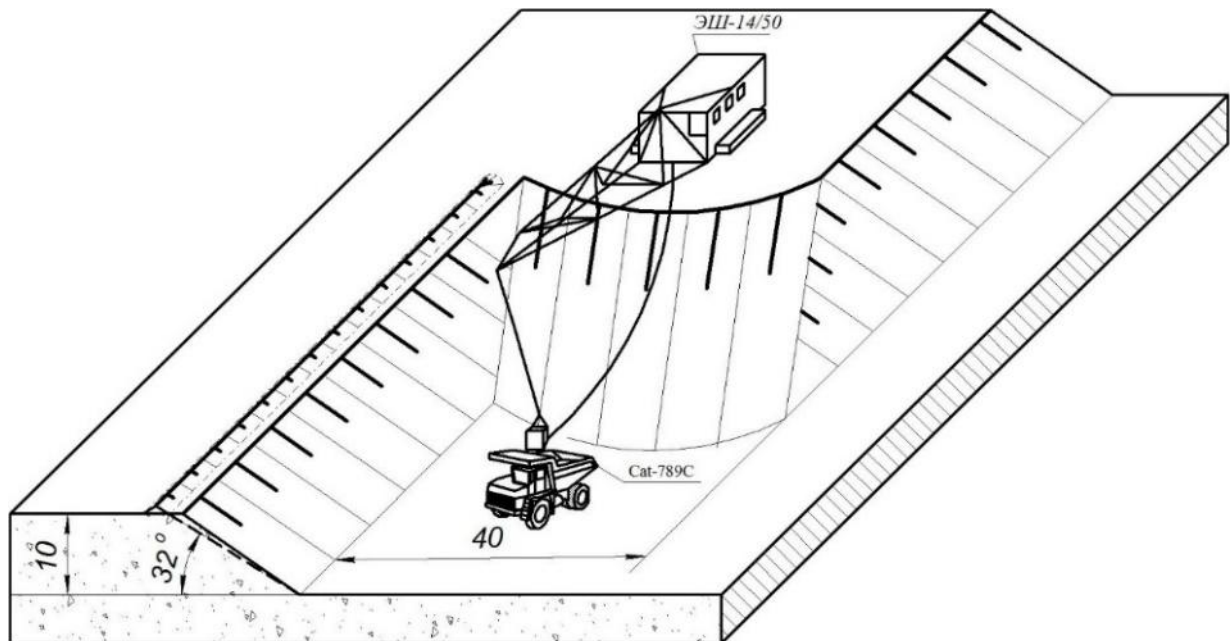


Рис.1.5. Схема вибою драглайна з нижнім черпанням та розвантаженням в автосамоскид, що знаходиться на нижній площадці уступу

Аналіз виробничого опиту застосування драглайнів для навантаження гірської маси в транспортні засоби дає змогу стверджувати, що найбільш перспективним та ефективним обладнанням для роботи в комплексі з екскаваторами-драглайнами є автосамоскиди. Однак, при цьому продуктивність драглайнів падає на 10-15% порівняно з бестранспортною схемою роботи. Тому необхідне більш глибоке вивчення та подальше вдосконалення схем роботи комплексів «ЕШ+автосамоскид», для підвищення їх продуктивності.

В роботі [3] запропонована класифікація способів підвищення ефективності застосування драглайнів в комплексі з транспортом. Вона

розроблена з урахуванням впливу технічних, технологічних і організаційних факторів.

Технічними факторами є модернізація обладнання та розробка нових винаходів. Основною модернізацією робочого обладнання були технічні рішення, які передбачають внесення в конструкцію ковша додаткових тягових або підвісних канатів, які давали можливість стабілізувати розгойдування ковша під час розвантаження. Також були розроблені кілька варіантів перевантажувальних бункерів. Але при роботі драглайна в комплексі з автосамоскидами на розкривних обводнених горизонтах, бункери виявилися неефективні через їх велику металоємність і необхідність систематичного пересування. Ефективне використання бункерів - перевантажувачів показало себе лише на вугільних розрізах. Так як з їх допомогою істотно скорочувалися втрати вугілля, за рахунок зменшення просипів при навантаженні автосамоскидів.

Для підвищення ефективності використання екскаваторів драглайнів в комплексі з автосамоскидами, необхідно більш глибоко вивчити технологічні фактори. Так перспективним напрямком є оптимізація параметрів вибою екскаватора для різних технологічних схем, з урахуванням різних факторів, таких як кут повороту драглайна, час переступання і час на заукоску уступу. Оптимізація параметрів вибою дасть можливість підвищити продуктивність драглайна.

1.4. Аналіз досліджень та напрямів з обґрунтування раціональних параметрів вибою роботи екскаваторів драглайнів

Основна більшість наукових робіт, які досліджують технології з використанням екскаваторів-драглайнів, були присвячені області використання і обґрунтування параметрів технологічних схем при безтранспортній системі розробки (БСР).

Робота екскаваторів-драглайнів, при БСР, безпосередньо пов'язана з розвантаженням порід у внутрішній відвал. Одним із основних параметрів,

який впливає на продуктивність драглайна, є тривалість робочого циклу, а його основну частку складає загальний час повороту. Він залежить від кута повороту, тому в наукових працях багато уваги приділяється саме куту повороту.

Авторами роботи [39] достатньо ретельно розглянуті питання обґрунтування параметрів ускладненої безтранспортної системи розробки (УБСР) та рекомендовані алгоритми їх розрахунку для різних технологічних схем роботи драглайнів. Основним критерієм оптимальності технічних рішень у роботі є досягнення максимальної виробничої потужності кар'єру.

У роботі [39] автори вперше послідовно враховують вплив параметрів вибою драглайна, на його продуктивність через кут повороту.

Кут повороту екскаватора для випадку нижнього черпання, при опрацюванні двох горизонтів, визначається за формулою

$$\varphi_{\Pi} = 90 + \arctan \frac{0,5A - 0,5 \cdot (H - H_{\text{в}}) \cdot \cot \beta - B_{\text{в}} + x}{B_{\text{в}} + 0,5B_{\text{в}} + 0,5 \cdot (H - H_{\text{в}}) \cdot \cot \gamma_{\text{з.н}}}, \text{ град}, \quad (1.1)$$

де H – максимальна висота уступу, м;

$H_{\text{в}}$ – максимальна висота верхнього підуступу, м;

$B_{\text{в}}$ – безпечна відстань від вісі екскаватора до верхньої бровки робочого майданчику нижнього розкривного екскаватора, м;

$B_{\text{с}}$ – довжина робочого блоку, що відпрацьовується з одного місця стояння нижнім розкривним екскаватором, м;

x – величина підсіпки розкривного і видобувного уступу породами розкриву, що переєкскавуються в основний відвал, м;

$\gamma_{\text{з.н}}$ – кут укосу нижнього вибою екскаватора, град;

β – кут укосу відвального уступу, град.

За приведеною формулою ми можемо побачити, що практично для усіх можливих змін параметрів вибою, кут повороту φ_{Π} , при розвантаженні екскаватора у внутрішній відвал, більше 90° . Це характерно для УБСР.

Однак автори роботи [39] не досліджують вплив параметрів вибою на кут повороту, а також тривалість робочого циклу драглайна. Це не дозволяє встановити область оптимальних значень параметрів A і H . Тому висновок

який стверджує, що продуктивність драглайна зменшується на 10 % при збільшенні ширини заходки A від 30 до 45 м, скоріш за всього буде відноситись не до збільшення кута повороту, а до зростання коефіцієнту переєкспавації.

За результатами досліджень оптимальної ширини заходки A , при УБСР на марганцеворудних родовищах, у роботі [78], автори зробили такі висновки, що зменшення ширини заходки драглайна призведе до зменшення коефіцієнта переєкспавації, що сприяє збільшенню виробничої потужності кар'єру та, відповідно, призводить до зниження собівартості розробки 1 м³ розкриву. З іншої сторони, зменшення ширини заходки призводить до додаткових переміщень екскаваторів уздовж фронту робіт та збільшенню питомої ваги площі заукоски по укосі розкривних уступів і передвідвалу, що збільшує невиробничі витрати часу і знижує продуктивність розкривного обладнання [78].

Позитивні і негативні фактори, які супроводжуються при зміні ширини заходки, свідчать про область її оптимальних значень. Виразом для знаходження цих значень є залежність $Q = f(A)$, вона визначається від мінімальних значень A , що дорівнюють 10...20 м до максимальних - 40...45 м. Але для більш чіткого визначення величини A_{opt} , автори повинні були врахувати вплив таких факторів, як тривалість робочого циклу драглайна, а також об'єм планувальних робіт, котрі також залежать від зміни ширини заходки.

Аналіз результатів досліджень роботи [78], дає змогу відзначити, що прийнятий автором критерій оптимальності, а саме досягнення максимальної виробничої потужності по корисній копалині дозволяє більш вірно визначити область оптимальних значень A . Однак питання спільної роботи екскаваторів-драглайнів та автосамоскидів не розглядаються.

Прийнятий автором роботи [78] критерій оптимальності, буде використаний у даній науковій роботі.

У роботі [79] дослідженні і обґрунтуванні параметри вибою драглайнів в умовах проходки траншей і каналів. Також для проходки вказаних виробок

викладені розрахункові методи вирішення задач по встановленню раціональних безтранспортних технологічних схем.

Як відмічають автори - визначення раціональної площі січення заходки екскаватора при найбільшій довжині переміщення, є важливим. Оскільки найбільша довжина переміщення впливає на можливу приймальну ємність зовнішнього відвалу, що розташовується на одному або двох бортах виробок, які проходяться. Також вводиться поняття куту робочого розвороту екскаватора φ , який представляє собою кут між віссю руху екскаватора та лінією, що з'єднує точку перетину верхньої бровки вибою з точкою положення екскаватора після пересування [79]. Але цей кут є тільки складовою частиною загального кута повороту драглайна на розвантаження, та кут робочого розвороту екскаватора впливає лише на приємну ємність відвалу, а не на продуктивність екскаватора, котра не розглядається у даній роботі.

Авторами роботи [79] звертається увага на кут укусу вибою, та його вплив на встановлення максимальної величини переміщення драглайна. Його рекомендується приймати за можливістю більш пологим. Цим досягається, по-перше, зменшення небезпеки обрушення вибою під навантаженням екскаватора, по-друге машиніст краще бачить вибій і, по-третє, умови експлуатації тягового каната поліпшуються, тому що в цьому випадку він менше зачіпається за верхню бровку укусу вибою [79].

У роботі [19] авторами відмічається, що кут повороту екскаватора-драглайна має значний вплив на його продуктивність.

Дослідження проводилось для умов кар'єру № 2 Південної дільниці Кінгісепського родовища фосфоритів, який розробляється по безтранспортній системі із перевалкою породи у вироблений простір. Авторами був встановлений вплив ширини заходки на продуктивність екскаватора ЕШ-15/90, за кутом його повороту. Як відзначають автори, для виявлення залежності зміни кута повороту драглайна від зміни ширини заходки графічним способом були заміряні середні кути повороту екскаватора. Беручи

за основу величину кута повороту екскаватора 22° при $A = 30$ м, визначалась зміна кута повороту від цієї величини, коли ширина заходки збільшувалася.

При цьому зміна величини річної продуктивності драглайна визначалася за даними роботи [79], із яких слідує, що при зміні кута повороту на 15° його продуктивності змінюється на 10%, це є занадто узагальненим твердженням. Враховуючи це, автори не встановлюють аналітичні або емпіричні залежності кута повороту драглайна від ширини заходки. Розглянуто лише те, що при розрахунках річної продуктивності екскаватора, необхідне врахування такої залежності. Для окремих випадків авторами встановлено, що при зміні ширини заходки від 30 до 42 м кут повороту збільшується на 31° , а продуктивності зменшується на 640 тис. м³/рік.

Авторами роботи [71] рекомендується визначати тривалість повороту за формулою:

$$t_{\Pi} = t_{\Pi.п} \cdot \frac{\beta}{\beta_{\Pi}}, \text{ с}, \quad (1.2)$$

де $t_{n.n}$ – паспортна тривалість повороту екскаватора, с;

β, β_n – фактичний і паспортний кути повороту екскаватора відповідно, град.

Такий методичний підхід має недолік, так як неможливо оцінити вплив параметрів вибою та місця установки транспортного засобу, на тривалість повороту t_n . Також автор не наводить формул, за якими може бути розрахований фактичний кут повороту екскаватора β .

Фактори що впливають на продуктивність екскаватора з точки зору спеціаліста-механіка, послідовно і ретельно розглянуті у роботі [17]. Приведені формули для розрахунку часу окремих операцій, з яких складається тривалість робочого циклу екскаватору. Також досліджено вплив кута повороту на тривалість повороту, та відзначається, що збільшення кута повороту тягне за собою майже пропорційне збільшення тривалості повороту. Але вплив параметрів забою, на зміну продуктивність драглайнів, не розглядається.

Авторами роботи [44] розглянута тривалість повороту і представлена методика її розрахунку за емпіричною формулою.

У роботі [84] ретельно розглянуті параметри схеми технології роботи комплексів «ЕШ + автосамоскид». Визначені оптимальні значення висоти уступу та ширини заходки, для Єристівського родовища залізистих кварцитів, при різних положеннях установки автосамоскида. Основним критерієм оптимальності стали рокові втрати продуктивності екскаваторів, за рахунок впливу трьох факторів: кута повороту, часу на крокування у новий екскаваторний блок та часу на заукоску уступу. Ретельно розглянутий вплив кута повороту на час поворот, та їх вплив на втрати річної продуктивності.

Однак в роботі [80] продуктивність екскаваторів-драглайн не стала основним критерієм оптимальності. Мінімальні втрати продуктивності вказують лише на існування оптимальних значень параметрів заходки, та це не значить що буде досягненні максимальна фактична продуктивність екскаваторів, при цих параметрах. Також дослідження кута повороту при технологічній схемі роботи драглайну з нижнім черпанням, та установкою автосамоскиду на рівні стояння екскаватору, неупереджені. Тому, що місце розташування драглайну було прийняте поблизу верхньої бровки уступу, як при БСР, а це збільшило кут повороту екскаватору на розвантаження.

Таким чином, проведені дослідження дозволили встановити наступне:

- основна більшість наукових робіт, які досліджують технології з використанням екскаваторів-драглайнів, були присвячені області використання і обґрунтування параметрів технологічних схем при безтранспортній системі розробки;

- в основній більшості робіт критерієм оптимальності для параметрів вибою визначаються втрати продуктивності драглайнів.

1.5. Ціль, задачі та методи дослідження.

Метою дослідження є підвищення продуктивності комплексу гірничотранспортного обладнання «драглайн + автосамоскид» при розробці обводнених порід, за рахунок оптимізації параметрів вибою екскаватора–драглайна та врахуванні місця його розташування.

Для досягнення поставленої мети сформульовано та вирішено наступні завдання:

1. Аналіз досліджень та напрямів з обґрунтування раціональних параметрів вибою екскаваторів–драглайнів.
2. Дослідження впливу параметрів вибою на продуктивність драглайну.
3. Встановлення оптимальних параметрів вибою екскаваторів–драглайнів при навантаженні автосамоскидів та розробці обводнених гірських порід.
4. Встановлення раціональних технологічних схем роботи драглайнів для досягнення максимальної продуктивності.

Об'єкт досліджень – процес виймально-навантажувальних робіт екскаватора-драглайна в комплексі з автосамоскидами.

Предмет досліджень: параметри вибою екскаватора-драглайна при розробці обводнених розкритих порід.

Методи досліджень. У роботі використаний комплекс теоретичних і експериментальних методів дослідження, а саме: математичне та графічне моделювання при встановленні залежностей параметрів вибою на продуктивність драглайну; математичної статистики при аналізі експериментальних даних хронометражу; математичний аналіз функції при визначенні оптимальних параметрів вибою; метод варіації похідної для визначення достовірності залежності ширини заходки від продуктивності драглайну; техніко-економічний аналіз для вибору раціональної технологічної схеми роботи екскаваторів драглайнів в комплексі з автосамоскидами.

2. ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ВИБОЮ ЕКСКАВАТОРА ДРАГЛАЙНА ПРИ НАВАНТАЖЕННЯ ГІРНИЧОЇ МАСИ В АВТОСАМОСКИДИ

2.1. Встановлення залежностей кутів повороту драглайна від параметрів вибою

Для встановлення залежностей кутів повороту екскаватора-драглайна від параметрів вибою, а саме ширини заходки та висоти уступу, були розглянуті основні схеми їх роботи в комплексі з автосамоскидами. Основною схемою роботи драглайнів є розробка вибою з нижнім черпанням, так як при складних гідрогеологічних умовах схема робота з верхнім черпанням (рис. 2.1) та розвантаженням гірничої маси в автосамоскиди дуже ускладнена [64].

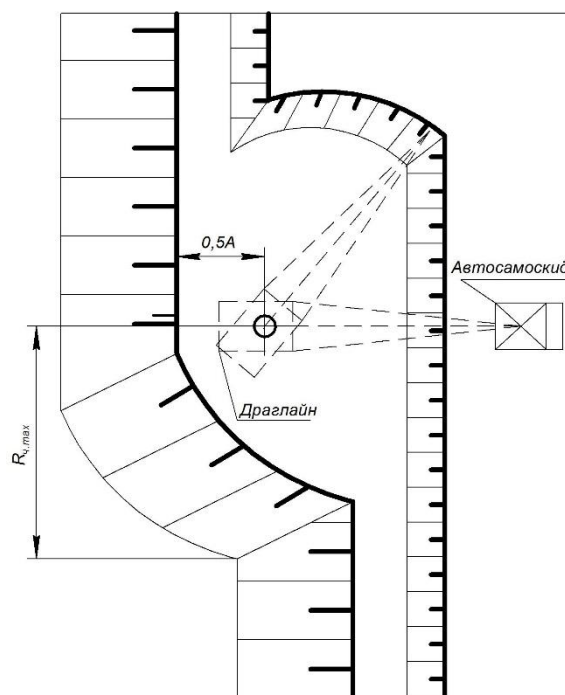


Рис.2.1. Схема роботи екскаватора драглайна з верхнім та нижнім черпанням

Важливими параметрами які впливають на роботу драглайна є відстані від верхньої бровки уступу до місця розташування екскаватора, та місце установки автосамоскидів під навантаження. Основні схеми роботи драглайнів з розвантаженням гірничої маси у автосамоскиди наведені на схемі 2.2, та систематизовані в вигляді табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Основні технологічні схеми роботи комплексів екскаваторів - драглайнів та автосамоскидів

№ схеми	Рівень розміщення автосамоскиду відносно екскаватора	Положення екскаватора в вибої	Положення автосамоскида відносно кута повороту екскаватора на розвантаження
1	Розміщення на рівні стояння екскаватора	На відстані 0,5А від верхньої бровки уступу	Положення 1
2			Положення 2
3			Положення 3
4			Положення 4
5		На безпечній відстані B_1 від верхньої бровки уступу	Положення 1
6			Положення 2
7			Положення 3
8			Положення 4
9	Розміщення нижче рівня стояння екскаватора	На відстані 0,5А від верхньої бровки уступу	Положення 5
10			Положення 6
11			Положення 7
12			Положення 8
13		На безпечній відстані B_1 від верхньої бровки уступу	Положення 5
14			Положення 6
15			Положення 7
16			Положення 8

Згідно з умовами застосування комплексів обладнання «ЕШ+автосамоскид», а саме розробкою обводнених родовищ, обираємо схему з нижнім черпанням, так як верхнє черпання в обводнених породах дуже ускладнене. Схеми роботи екскаватора драглайна в комплексі з автосамоскидами характеризують два основних фактори: місце розташування екскаватора у вибої та місце положення автосамоскида під навантаження. Так схеми поділимо на дві основні групи:

1. Розташування автосамоскиду на рівні стояння екскаватору. Тобто у положенні 1, 2, 3 та 4 (верхнє навантаження).

2. Розташування автосамоскиду нижчі рівня установки екскаватора, положення 5, 6, 7, 8 (нижнє навантаження).

Положення автосамоскиду характеризує його розташування у вибої відносно вісі установки екскаватора. Так положення 1, це розташування автосамоскиду поблизу запобіжного валу на мінімальній відстані від екскаватора. Положення 2, 3 та 4 характеризуються відношенням кута до вісі екскаватора як 90° , 135° , 180° відповідно. Положення 5, це розташування автосамоскиду по середині ширини заходки. Положення 6, 7 та 8 характеризуються кутом між віссю екскаватора та кузовом автосамоскида як 45° , 90° , 135° відповідно.

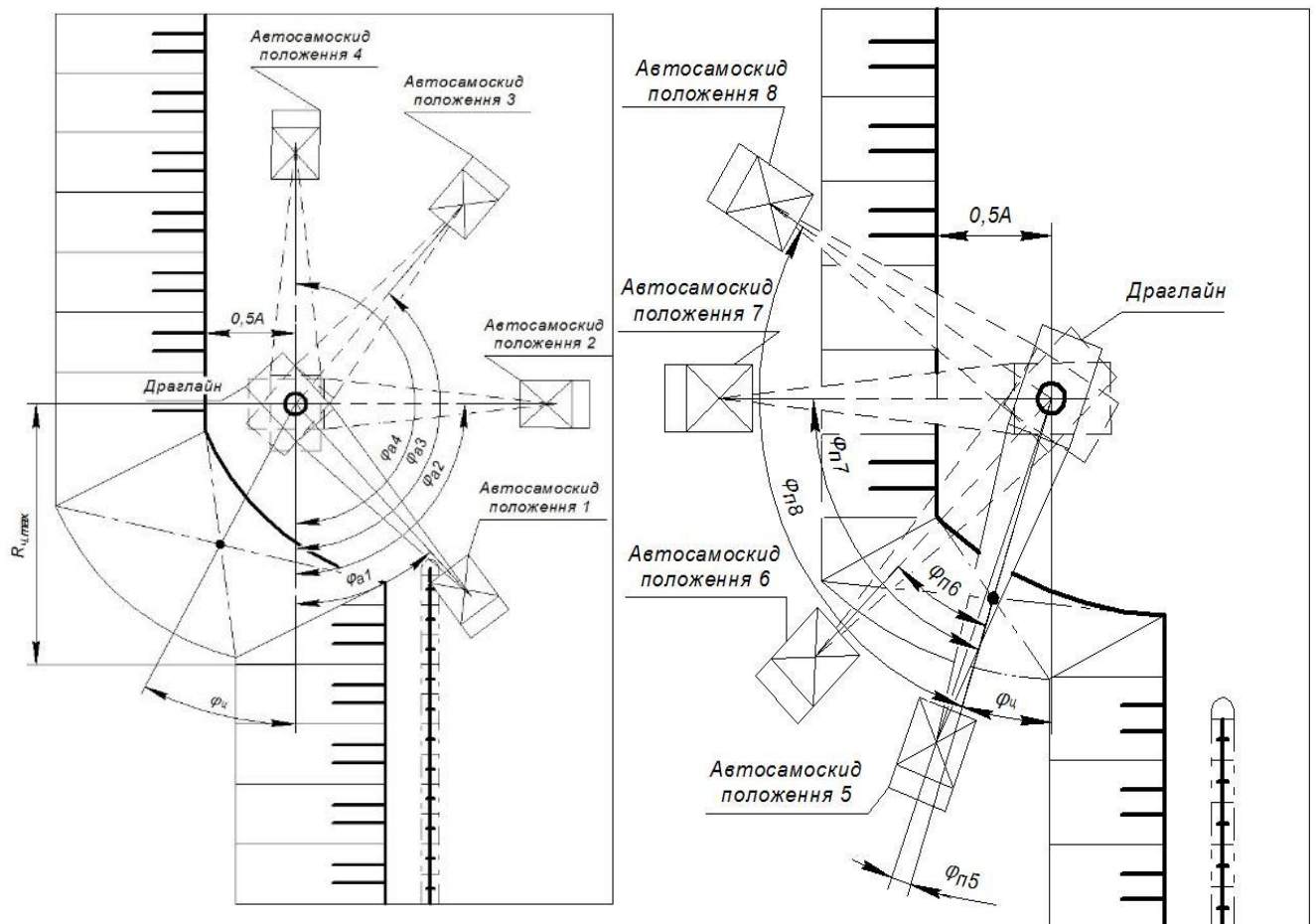


Рис.2.3. Схеми роботи екскаваторів драглайнів з розвантаженням гірничої маси в автосамоскид

Для розташування екскаватора у вибої обираємо два положення його відносно верхньої бровки уступу:

1. Розташування на безпечній відстані від верхньої бровки B_1 , що включає зону можливого обрушення та габаритні розміри кузова екскаватора.

2. Розташування по середині ширини заходки, тобто на відстані $0,5A$ від верхньої бровки уступу.

Проаналізувавши всі можливі положення драглайну та автосамоскиду отримано 16 схем їх можливої роботи.

Схеми розміщення екскаваторів на безпечній відстані від верхньої бровки уступу, та місцем розміщення автосамоскидів під завантаження приведені у Додатку А, рис.1.

2.1.1. Встановлення оптимальних значень параметрів вибою за умовами техніки безпеки

Для визначення мінімальних та максимальних параметрів вибою були розглянуті основні схеми роботи екскаватора драглайна та автосамоскида які застосовуються на розсипних родовищах. Для прикладу розглянемо обладнання яке працює на Мотронівському ГЗК, а саме екскаватори ЕШ-10/50 та автосамоскиди Cat 773E (55т) [66].

Проведемо визначення параметрів вибою роботи екскаватора при його розташуванні на відстані $0,5A$ (A – ширина заходки, м) від верхньої бровки уступу та розвантаженні породи в автосамоскид, що знаходиться на рівні установки драглайну (рис. 2.3.)

За умови максимальної ширини заходки.

При безтранспортній системі розробки, драглайн розташовується якомога ближче до верхньої бровки уступу, щоб була можливість розвантажувати гірничу масу у внутрішній відвал, за максимальним радіусом розвантаження. Це розташування обмежується бермою безпеки B_1 . Але при розгляді комплексів обладнання "ЕШ+автосамоскид", навпаки, драглайн потрібно розташовувати якомога ближче до автосамоскида, щоб зменшити кут повороту на розвантаження, тим самим зменшити тривалість робочого циклу.

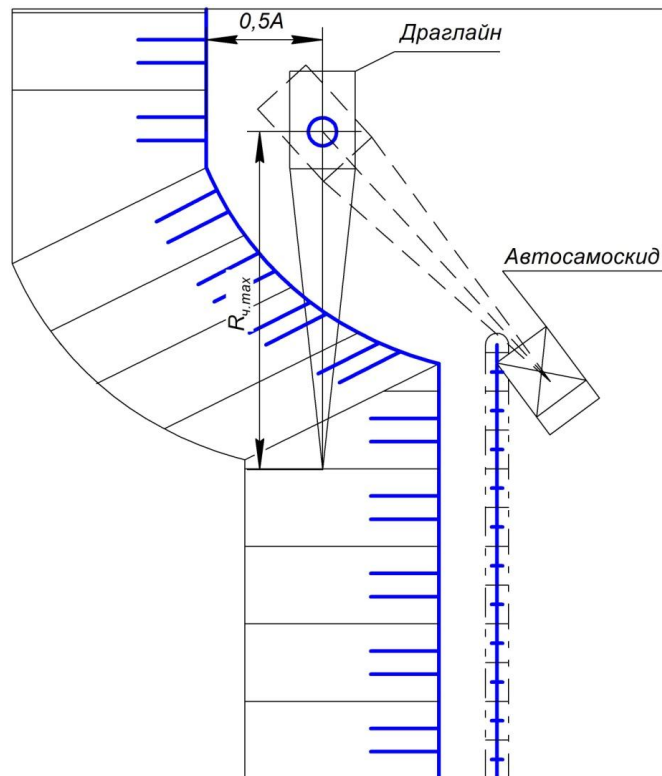


Рис. 2.3 Схема роботи драглайна з нижнім черпанням, та розвантаженням в автосамоскид, що розташований на рівні установки екскаватора

При цьому необхідно враховувати відстань від нижчої бровки уступу до осі екскаватора, вона не повинна перевищувати максимальний радіус черпання. Тому драглайн розташовують по середині ширини заходки. Тоді максимально можливу ширину заходки драглайна визначимо з нерівності:

$$0,5A_{max} + H_{min} \cdot ctg\alpha \leq R_{ч, max}, \text{ м}, \quad (2.1)$$

де $R_{ч, max}$ – максимальний радіус черпання, м. Для ЕШ-10/50 за технічної характеристикою $R_{ч, max} = 48$ м;

$H_{y, min}$ – мінімальна висота уступу, м. Приймаємо $H_{y, min} = 10$ м.

α – кут укосу робочого уступу, град.

Для фізико-механічних властивостей гірських порід Мотронівського кар'єру $\alpha = 40^\circ$.

З нерівності (2.1) визначаємо максимальну ширину заходки A_{max} :

$$A_{max} = 2 \cdot (R_{ч, max} - H_{min} \cdot ctg\alpha), \text{ м}, \quad (2.2)$$

$$A_{max} = 2 \cdot (48 - 10 \cdot 1,19) = 72 \text{ м.}$$

Приймаємо $A_{max} = 72 \text{ м.}$

За умови мінімальної ширини заходки.

За умовами техніки безпеки мінімальну ширину заходки визначимо за відомою формулою:

$$A_{min} = R_k + 1,5, \text{ м,} \quad (2.3)$$

де R_k – радіус обертання кузову екскаватора, м. Для ЕШ-10/50 $R_k = 15 \text{ м.}$

$$A_{min} = 15 + 1,5 = 16,5 \text{ м.}$$

За умови максимальної висоти уступу.

Максимальна висота уступу при нижньому черпанні буде дорівнювати максимальній глибині черпання драглайна $H_{ч. max}$. За технічною характеристикою ЕШ-10/50 вона складає 21 м. При цьому повинна дотримуватися умова:

$$R_{ч. max} \geq H_{y. max} \cdot \text{ctg } \alpha + B_1, \text{ м,} \quad (2.4)$$

де B_1 – безпечна відстань від верхньої бровки уступу до вісі екскаватора, м.

$$B_1 = z + r_{\delta} + a_1, \quad (2.5)$$

де z – ширина призми можливого обрушення, м.

$$z = H_{y. max} \cdot (\text{ctg } \alpha_y - \text{ctg } \alpha), \quad (2.6)$$

r_{δ} – радіус бази драглайна, м. Для ЕШ-10/50 $r_{\delta} = 5 \text{ м,}$

a_1 – безпечна відстань від верхньої бровки стійкого уступу до бази екскаватора, м (рис.2.4).

Якщо не дотримуватися даної умови можливе обвалення породи, що знаходиться у зоні призми можливого обрушення, що може призвести до зсунення драглайну із верхнього майданчика уступу під укіс.

Перетворимо нерівність (2.4) з врахуванням виразу (2.5):

$$R_{ч. max} \geq H_{y. max} \cdot \text{ctg } \alpha_y + r_{\delta} + a_1, \text{ м}$$

Звідси отримаємо:

$$H_{y.max} \leq \frac{R_{ч.max} - \alpha_1 - r_6}{\text{ctg } \alpha_y}, \text{ м} \quad (2.7)$$

Виходячи із фізико-механічних властивостей гірських порід Мотронівського кар'єру кут стійкого уступу буде дорівнювати ($\alpha_y = 32^\circ$)

$$H_{y.max} \leq \frac{48 - 5 - 2}{\text{ctg } 32^\circ} \leq 25,6 \text{ м.}$$

Таким чином, максимальна глибина черпання не перевищує значення максимальної висоти уступу за технікою безпеки, тому приймаємо максимальну висота уступу рівній максимальній глибині черпання ЕШ-10/50 $H_{y.max} = 21 \text{ м}$,

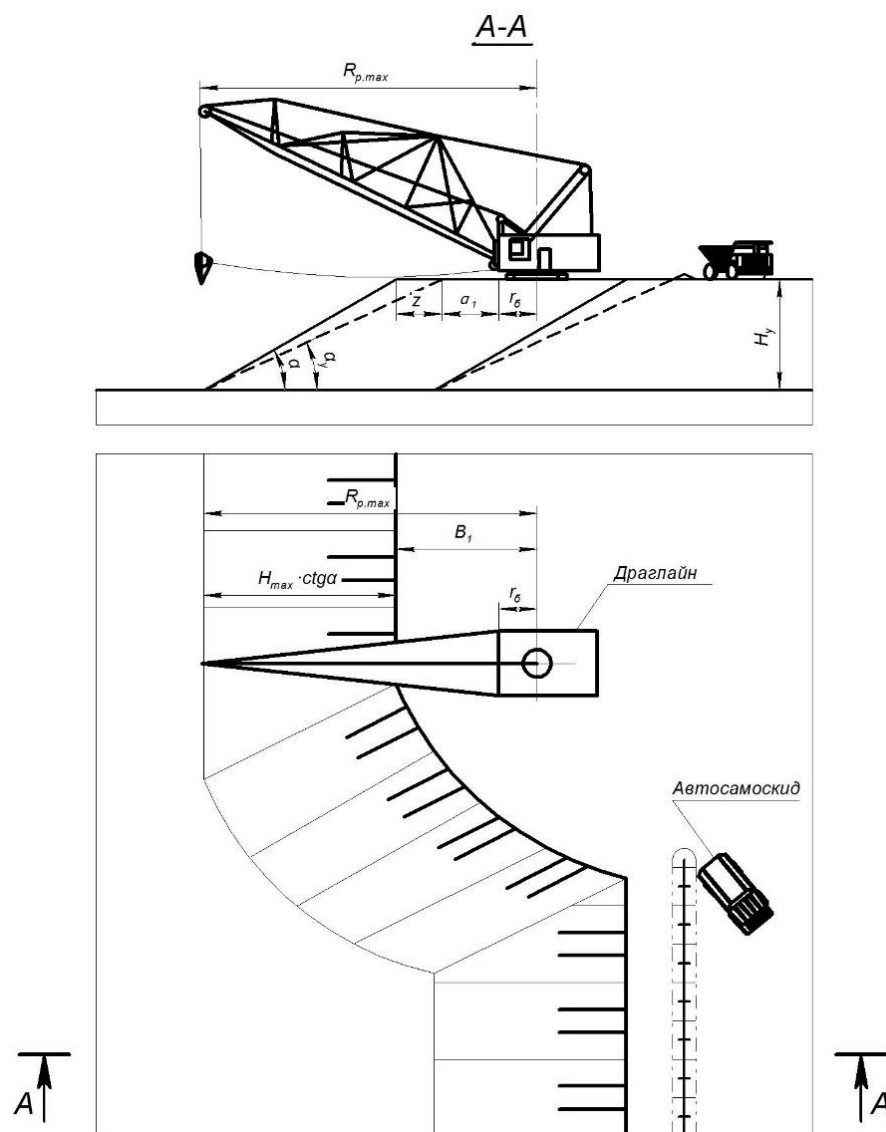


Рис.2.4. Схема для визначення максимальної висоти уступу драглайна при нижньому черпанні і розвантаженні на рівні стояння екскаватора За мінімальної висоти уступу.

Мінімальну висоту уступу приймаємо виходячи з технологічних параметрів розробки Мотронівського кар'єру, а саме середній потужності 9-11 м нестійких розкривних порід вона буде дорівнювати $H_{y.min}=10$ м. За меншої висоти уступу не раціональне використання екскаваторів-драглайнів ЕШ-10/50.

Розглянемо схему при розвантаженні драглайна в автосамоскид, що знаходиться нижче рівня установки екскаватора (рис. 2.5.)

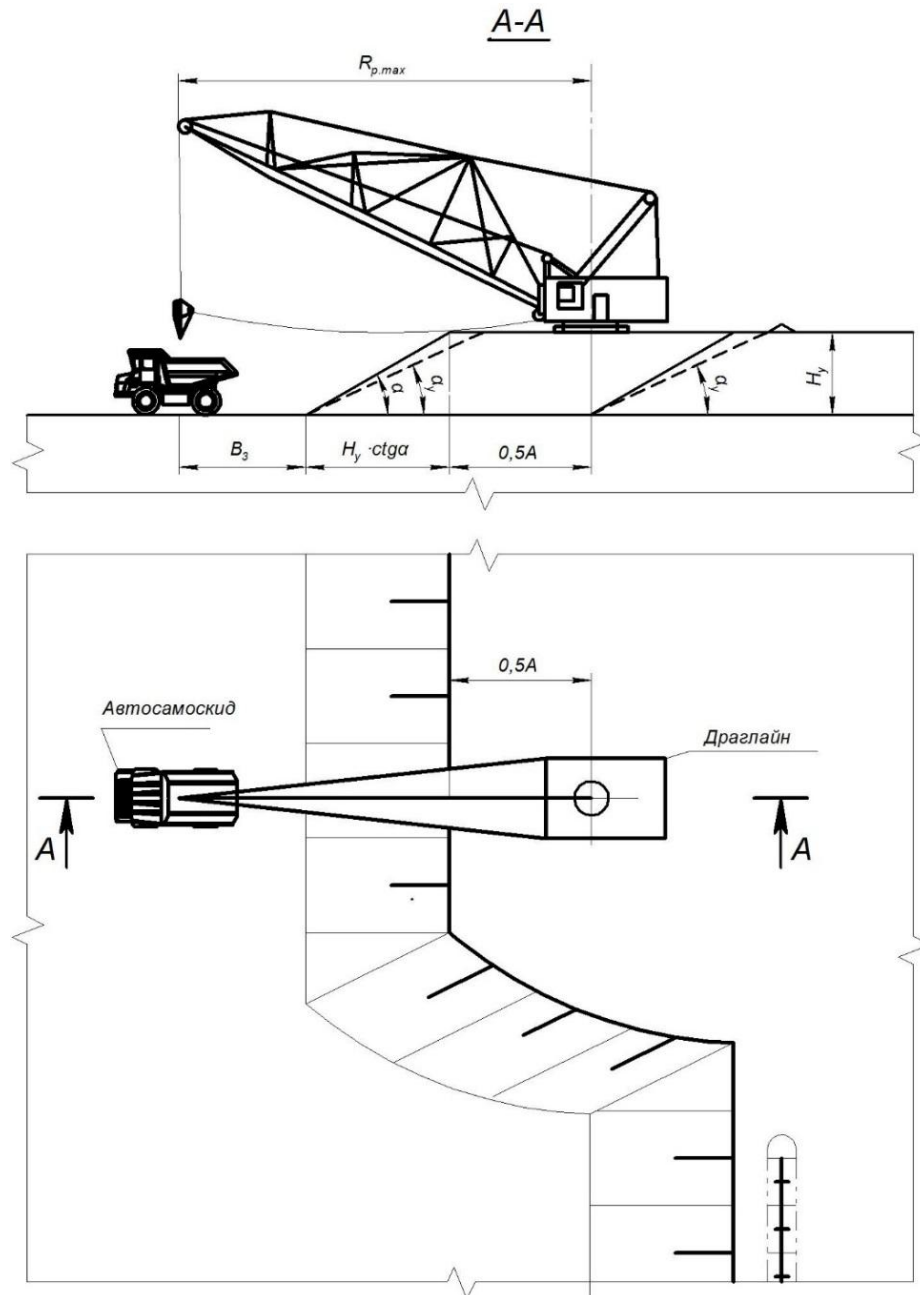


Рис.2.5. Схема роботи драглайна з нижнім черпанням та розвантаженням в автосамоскид, що знаходиться нижче рівня розміщення екскаватора

За максимальної ширини заходки.

Для визначення максимальної ширини заходки драглайна, необхідно врахувати, що найбільше її значення буде при найменшій висоті уступу. Тоді при розвантаженні у автосамоскид що знаходиться нижче рівня стояння екскаватора потрібно дотримуватись умови:

$$R_{ч.мах} \geq 0,5A_{мах} + H_{у.мін} \cdot \text{ctg} \alpha + B_3, \text{ м}, \quad (2.8)$$

де B_3 – безпечна відстань від нижньої бровки вибою до центру маси кузова автосамоскида (точки розвантаження ковша драглайна), м, $B_3 = 10$ м.

Виразивши з формули (2.8) максимальну ширину заходки, отримаємо:

$$A_{мах} = 2 \cdot (R_{ч.мах} - H_{у.мін} \cdot \text{ctg} \alpha - B_3), \text{ м}, \quad (2.9)$$

$$A_{мах} = 2 \cdot (48 - 10 \cdot 1,19 - 10) = 52 \text{ м}$$

За мінімальної ширини заходки.

Виходячи з умов техніки безпеки значення мінімальної ширини заходки повинно відповідати вимозі:

$$0,5A_{мін} \geq z + r_6 + a_1, \text{ м} \quad (2.10)$$

З виразу (2.10) отримуємо мінімальну ширину заходки:

$$A_{мін} = 2 \cdot (z + r_6 + a_1), \text{ м} \quad (2.11)$$

$$A_{мін} = 2 \cdot (4 + 5 + 2) = 20 \text{ м}$$

За умови максимальної висоти уступу.

Для розвантаження породи у автосамоскид що знаходиться нижче рівня стояння екскаватора, необхідно встановити екскаватор ближче до верхньої бровки уступу, щоб збільшити радіус розвантаження у автосамоскид. Тоді $B_1 = 0,5A$, (рис.2.6).

При розвантаженні у автосамоскид, що знаходиться нижче рівня стояння екскаватора, повинна також виконуватися вимога:

$$R_{р.мах} \geq B_3 + H_{у.мах} \cdot \text{ctg} \alpha + z + a_1 + r_6, \text{ м}. \quad (2.12)$$

Підставивши у вираз (2.12) рівняння (2.6), визначимо максимальну висоту уступу:

$$R_{p.max} \geq B_3 + H_{y.max} \cdot \operatorname{ctg} \alpha + H_{y.max} \cdot (\operatorname{ctg} \alpha_y - \operatorname{ctg} \alpha) + a_1 + r_6, \text{ м,}$$

$$H_{y.max} = \frac{R_{p.max} - B_3 - a_1 - r_6}{\operatorname{ctg} \alpha_y}, \text{ м} \quad (2.13)$$

$$H_{y.max} = \frac{48 - 10 - 2 - 5}{1.6} = 19 \text{ м}$$

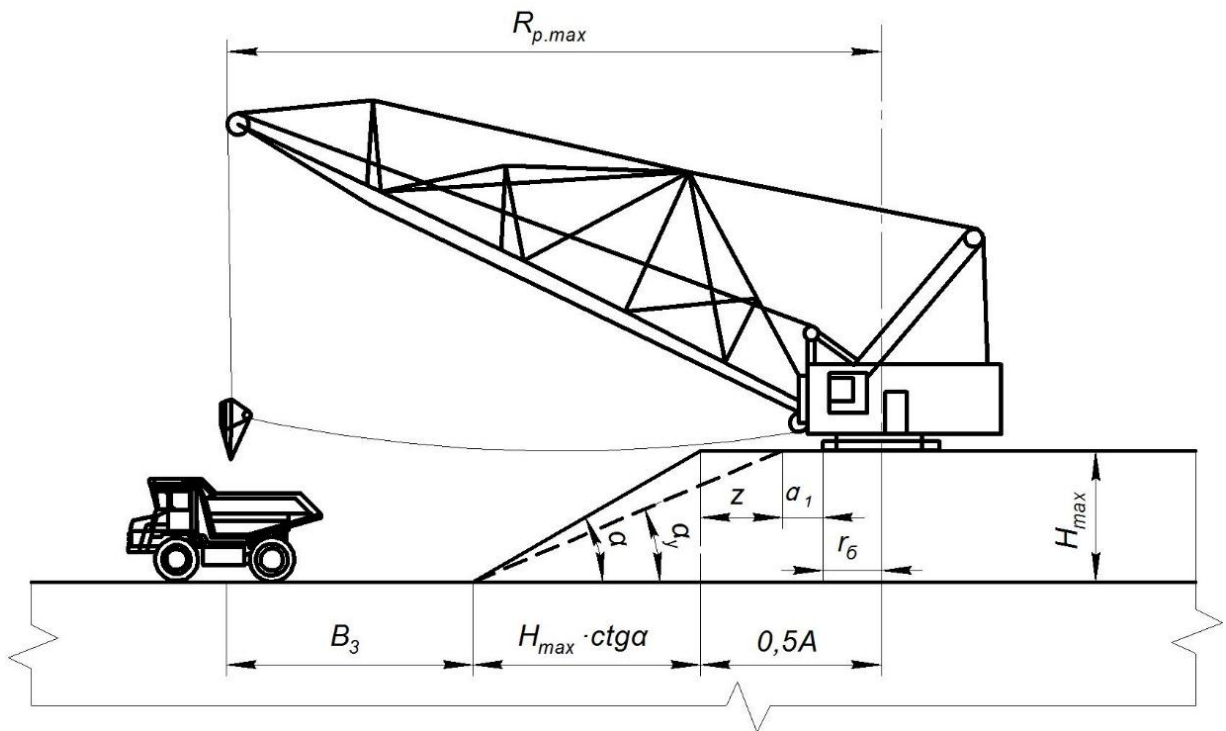


Рис.2.6. Схема для визначення максимальної висоти уступу драглайна при нижньому черпанні і розвантаженні нижче рівня його стояння

Визначимо параметри вибою драглайна при схемі роботи екскаватора з його розташування на безпечній відстані B_1 від верхньої бровки уступу та розвантаженні в автосамоскид що знаходиться на рівні установки драглайна (рис.2.7.)

За умови максимальної ширини заходки.

За умовами безпеки максимальна ширина заходки екскаватора, що працює по відміченій схемі, повинна відповідати вимозі:

$$A_{max} \leq R_{p.max} + B_1 - B_2, \text{ м,} \quad (2.14)$$

де B_2 – безпечна відстань від верхньої бровки уступу до центру мас кузова автосамоскида, м.

$$B_2 = z + c_1. \quad (2.15)$$

де c_1 – безпечна відстань від уявної верхньої бровки стійкого кута укосу уступу до центру маси кузова автосамоскида (точки розвантаження ковша драглайна), м. Для автосамоскиду Cat-773e приймаємо безпечну відстань $c_1 = 7$ м.

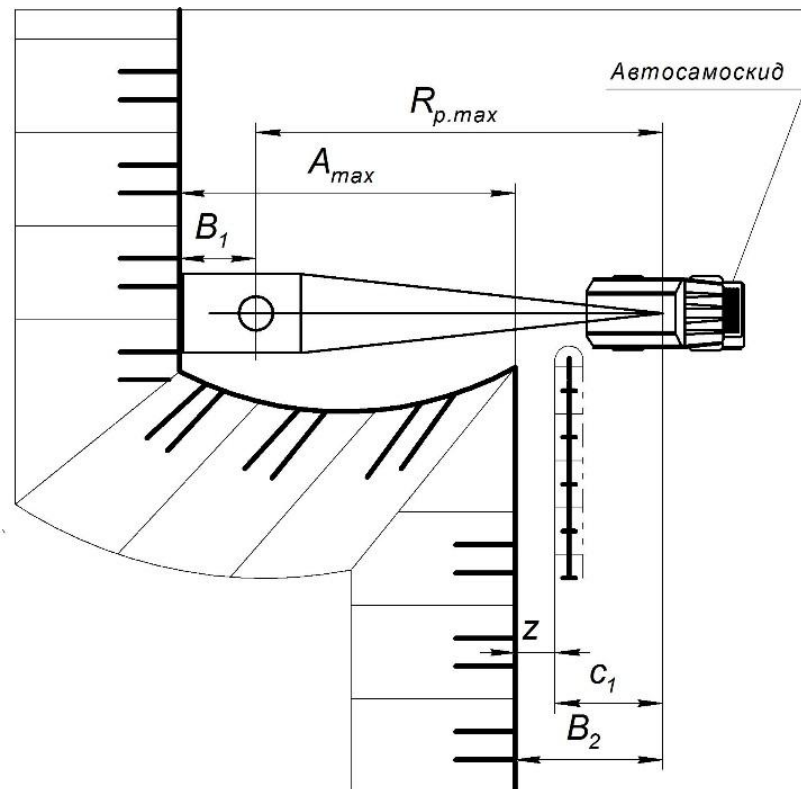


Рис.2.7. Схема для визначення максимальної ширини заходки драглайна при нижньому черпанні і розвантаженні порід в автосамоскид на рівні стояння екскаватора

Підставивши у вираз (2.14) формули (2.5) та (2.15) отримуємо:

$$A_{max} \leq R_{p.max} + z + a_1 + r_6 - c_1 - z, \quad (2.16)$$

$$A_{max} \leq 48 + 4 + 2 + 5 - 7 - 4 = 48 \text{ м.}$$

Розглянемо схему при розвантаженні в автосамоскид що знаходиться нижче рівня установки драглайна (рис.2.8).

При розвантаженні у автосамоскид, що знаходиться нижче рівня стояння драглайна, ширина заходки буде дорівнювати:

$$A_{max} \leq R_{p.max} + B_1, \text{ м}, \quad (2.18)$$

$$A_{max1} \leq 48 + 10 \cdot (\text{ctg } 40^\circ - \text{ctg } 32^\circ) + 7 \leq 59 \text{ м}.$$

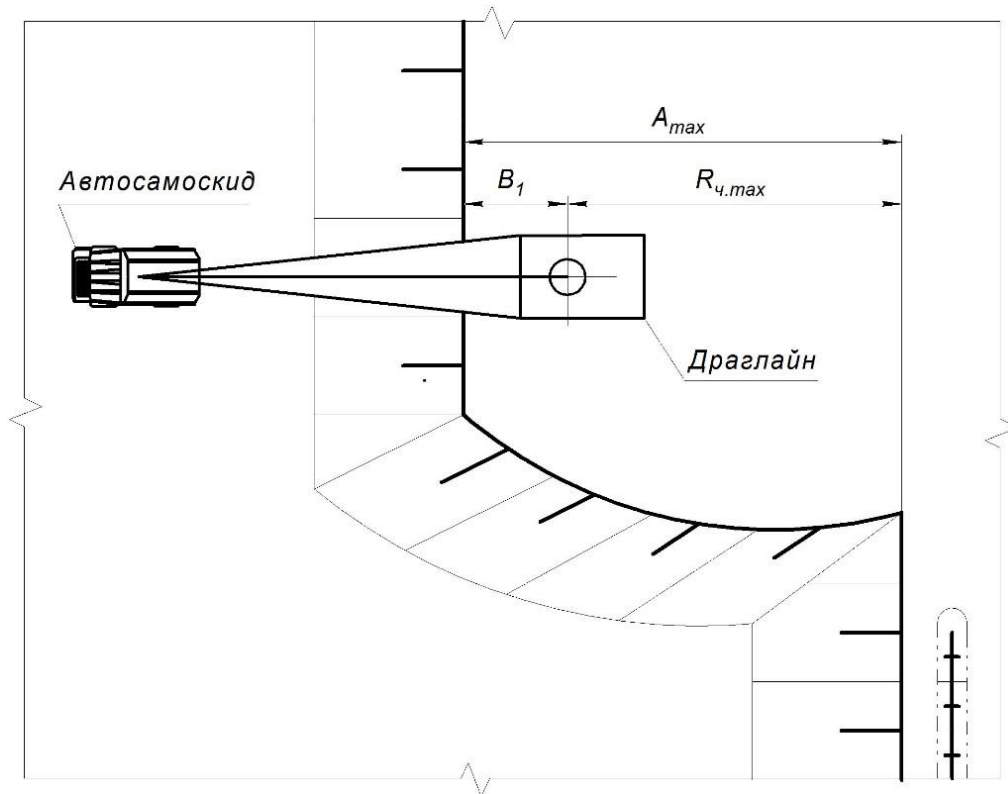


Рис.2.8. Схема для визначення максимальної ширини заходки драглайна при його розміщенні на відстані B_1 від верхньої бровки уступу і розвантаженні порід в автосамоскид, що знаходиться нижче рівні стояння екскаватора

Дослідивши схеми роботи екскаватора ЕШ-10/50, встановлені його максимально і мінімально допустимі параметри вибою за умовами техніки безпеки. При різних робочих схемах драглайна безпечні параметри вибою змінюються, тому важливо враховувати положення екскаватора та автосамоскида при проектуванні технологічних схем розробки гірських порід.

Для схем роботи гірничотранспортних комплексів ЕШ-10/50 та Cat 773E, розраховані максимальні та мінімальні значення висоти уступу та ширини заходки, за умовами безпеки.

При розміщенні екскаватора на відстані $0,5A$ від верхньої бровки уступу, та розвантаженні у автосамоскид на рівні установки драглайну значення ширини заходки та висоти уступів відповідно будуть мати значення: $A_{max} = 72$ м, $A_{min} = 16,5$ м, $H_{y.max} = 21$ м, $H_{y.min} = 10$ м; при розвантаженні нижче рівня стояння: $A_{max} = 52$ м, $A_{min} = 20$ м, $H_{y.max} = 19$ м, $H_{y.min} = 10$ м.

При розташуванні драглайна на безпечній відстані B_1 від верхньої бровки уступу та розвантаженні в автосамоскид, що знаходиться на рівні установки драглайну: $A_{max} = 48$ м, $A_{min} = 16,5$ м, $H_{y.max} = 21$ м, $H_{y.min} = 10$ м; при розвантаженні нижче рівня стояння: $A_{max} = 59$ м, $A_{min} = 20$ м, $H_{y.max} = 19$ м, $H_{y.min} = 10$ м.

2.1.2. Вплив фізико-механічних властивостей гірських порід на параметри вибою екскаватора драглайна

Складність видобутку гірських порід визначається їх фізико-механічними властивостями, такими як міцність, тріщинуватість, пористість, щільність, водонасиченість, стійкість тощо.

При дослідженні параметрів вибою комплексів обладнання екскаваторів драглайнів з автосамоскиди необхідно враховувати, що драглайн розробляє м'які породи та розпушені тверді породи, коефіцієнт міцності яких не перевищує 5 за шкалою проф. Протодьяконова М.М. [72]. Також важливим критерієм який визначає можливість видобутку породи драглайном, є питомий опір гірничих порід черпанню. Тому для досліджень були обрані гірські породи V-X категорії міцності та I категорії за трудністю екскавації, при цьому питомий опір черпанню порід не перевищує 100 кПа [72].

Одним з основних технологічних параметрів при навантаженні автосамоскида екскаватором драглайном, є безпосереднє місце розташування екскаватора у вибої. При розташуванні драглайна поблизу верхньої бровки уступу необхідно враховувати берму можливого обрушення гірських порід (берму безпеки).

Ширина берми безпеки на уступі визначається за наведеною формулою (2.6):

$$z = H_y \cdot (\operatorname{ctg} \alpha_y - \operatorname{ctg} \alpha), \text{ м}$$

Як бачимо з формули ширина берми безпеки залежить від робочого та стійкого кутів уступу. В свою чергу ці кути залежать від фізико-механічних властивостей гірських порід та їх стійкості. За даними інституту «Гіпроруда» [33], були обрані робочі і стійкі кути укосів уступів для різних гірських порід, що може розробляти екскаватор драглайн, та занесені до табл. 2.2.

Таблиця 2.2

Значення робочого та стійкого кута укосу уступів для
різних гірських порід

Гірські породи	Щільність гірничої маси природньої вологості в масиві, кг/м ³	Питомий опір черпанню, кПа	Стійкий кут укосу уступу, град	Робочий кут укосу уступу, град
Щільний рослинний ґрунт з корінням	1400	16-25	30	35
Пісок	1500		30	35
Супісок	1600		30	37
Пісок і рослинний ґрунт з щебнем або галькою	1650	30-100	35	45
Піски глауконітові, кварцево-полешпатові та інші	1800-2100		40	50
Лісовидний суглинок	1600		35	45
Окислені марганцево-піщані руди	1500		30	40
Гравій галька і щебінь розміром до 40мм	1750		30	40
Алевроліти	1500		35	45

Для визначення безпечних значень ширини заходки при різних видах гірських порід, розглянемо комплекс гірничого обладнання екскаватор - ЕШ-10/50 та автосамоскид - Cat 773e, при їх роботі за запропонованими технологічними схемами (див. п.2.1.1).

Щоб визначити максимальні та мінімальні значення ширини заходки драглайна, використовуємо алгоритм розрахунку для кожної з наведених схем, який запропонований у параграфі 2.1.1.

Мінімальна та максимальна висота уступу обрана за технічною характеристикою ЕШ-10/50, та за умовами безпечної розробки вибою, $H_{y.min} = 10$ м, $H_{y.max} = 21$ м. В залежності від висоти уступу змінюється ширина берми безпеки. Екскаватор драглайн завжди розташовується за межами берми безпеки, або на її межі. Однак при розрахунках максимальних та мінімальних значень ширини заходки за умовами безпеки, важливе врахування стійкого кута укусу та робочого, а отже і берми безпеки. Тому було визначено мінімальне та максимальне значення ширини берми безпеки відповідно для вибраних значень висоти уступу:

$$z_{min} = H_{y.min} \cdot (\text{ctg } \alpha_y - \text{ctg } \alpha) = 10 \cdot (1,73 - 1,42) = 3 \text{ м}$$

$$z_{max} = H_{y.max} \cdot (\text{ctg } \alpha_y - \text{ctg } \alpha) = 21 \cdot (1,73 - 1,42) = 6,4 \text{ м}$$

Розрахуємо максимально та мінімально допустиме значення ширини заходки для кожної з технологічних схем і всіх типів гірничих порід. Результати розрахунку занесені до табл. 2.3.

За даними наведеними у табл. 2.3 при схемах з розміщенням автосамоскидів на рівні стояння екскаватора, мінімально допустима ширина заходки за умовами безпеки не змінюється при різних видах гірських порід, і складає $A_{min} = 16,5$ м. Тому фізико – механічні властивості гірських порід не впливають на мінімальне значення ширини заходки при схемах з розміщенням автосамоскидів на рівні стояння екскаватора. Також при схемах роботи 5-8 максимально допустима величина ширини заходки не змінюється, та складає $A_{max} = 48$ м, це означає, що фізико - механічні властивості гірських порід не впливають на її значення.

Таблиця 2.3

Максимальні та мінімальні значення ширини заходки
екскаватора ЕШ-10/50

Гірські породи	Висота уступу, м		Берма безпеки, м		Ширина заходки, м							
					Схема 1-4		Схема 9-12		Схема 5-8		Схема 13-16	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
Щільний рослинний ґрунт з корінням	10	21	3,0	6,4	16,5	67,4	20,1	47,4	16,5	48,0	20,1	58,0
Пісок	10	21	3,0	6,4	16,5	67,4	20,1	47,4	16,5	48,0	20,1	58,0
Супісок	10	21	4,1	8,5	16,5	69,5	22,1	49,5	16,5	48,0	22,1	59,1
Пісок і рослинний ґрунт з щебнем або галькою	10	21	4,3	9,0	16,5	76,0	22,5	56,0	16,5	48,0	22,5	59,3
Піски глауконітові, кварцево-полешпатові й інші	10	21	3,5	7,4	16,5	79,2	21	59,2	16,5	48,0	21	58,5
Лісовидний суглинок	10	21	4,3	9,0	16,5	76,0	22,5	56,0	16,5	48,0	22,5	59,3
Окислені марганцево-піщані руди	10	21	5,4	11,3	16,5	72,2	24,8	52,2	16,5	48,0	24,8	60,4
Гравій галька і щебінь розміром до 40мм	10	21	5,4	11,3	16,5	72,2	24,8	52,2	16,5	48,0	24,8	60,4
Алевроліти	10	21	4,3	9,0	16,5	76,0	22,5	56,0	16,5	48,0	22,5	59,3

Максимальне значення ширини заходки $A_{max}=79$ м, при розробці більш щільних гірських порід, а саме пісків глауконітових. Та мінімальне значення ширини заходки $A_{min}=16,5$ м, для найменш щільних порід [67].

2.1.3. Визначення кута повороту екскаватора у вибій та його вплив на загальний кут повороту екскаватора.

Загальний кут повороту визначається за формулою:

$$\varphi_n = \varphi_a \pm \varphi_{\text{ц}} + \varphi_y, \text{ град.} \quad (2.19)$$

де $\varphi_{\text{ц}}$ - кут повороту у вибій, град,

φ_a - кут повороту до автосамоскиду, град,

φ_y – кут, що залежить від місця установки автосамоскида під завантаження, і обмежується віссю, яка проходить через центр маси екскаватора і центр маси автосамоскида, що стоїть на мінімальній відстані до верхньої бровки вибою, град (рис. 2.2.).

Процес черпання гірничої породи екскаватором враховує в себе поступове відпрацювання всього профіля вибою, а отже місце черпання буде постійно змінюватися так само як і кут повороту драглайна. Тому для усереднення місць черпання у вибої, вводимо поняття центр мас вибою O_1 . Центр мас буде знаходитись на перетині діагоналей вибою (рис. 2.9, 2.10). Тоді кут повороту у вибій $\varphi_{\text{ц}}$ знаходиться між віссю екскаватора та центром мас вибою, тобто середнім місцем черпання.

Для визначення кута повороту у вибій розглянемо схеми роботи драглайна при розвантаженні гірничої породи в автосамоскид, та розміщенні автосамоскиду на рівні та нижче рівня стояння екскаватора.

1. Визначимо кут $\varphi_{\text{ц}}$ для випадку установки автосамоскида на рівні стояння драглайна.

Розглянемо схему роботи драглайна при його розташуванні на відстані $0,5A$ від верхньої бровки уступу (рис. 2.9.).

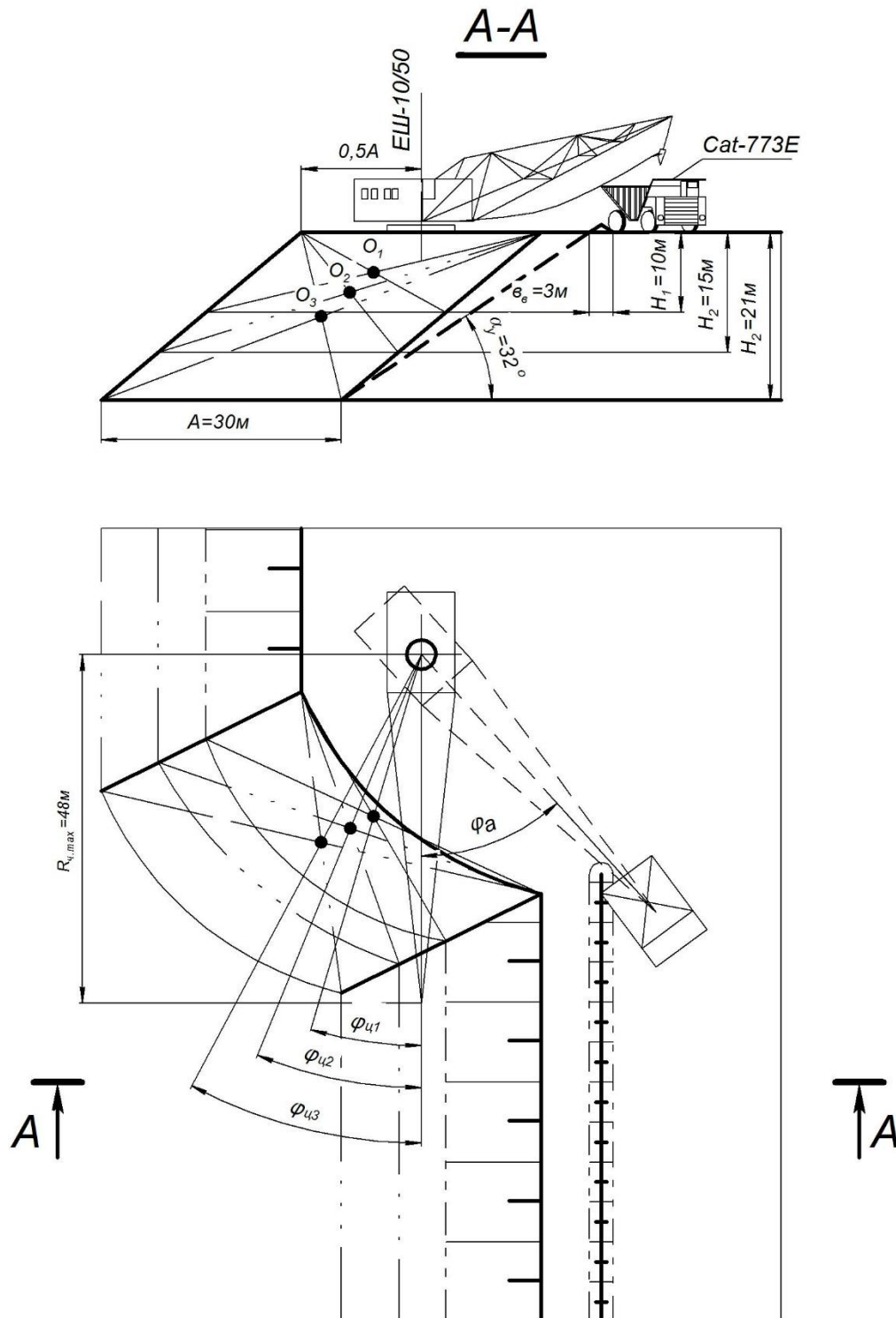


Рис. 2.9. Схема для визначення кута повороту драглайна при змінній висоті уступу, та розміщенні екскаватору по середині заходки

Для аналітичного визначення кута повороту драглайна у вибій необхідно вивести вираз, який би враховував необхідні параметри вибою, для цього використовуємо графоаналітичний метод та зворотні тригонометричні

функції. Сформуємо умовний прямокутний трикутник між віссю екскаватора та центром мас вибою, та виразимо катети трикутника між собою через тангенс кута. При цьому отримуємо вираз визначення кута повороту драглайна в сторону вибою:

$$\varphi_{\psi} = \operatorname{arctg} \frac{0,5 \cdot H \cdot \operatorname{ctg} \alpha}{l_{\text{бл}} + 0,5 H \cdot \operatorname{ctg} \alpha_y}, \text{ град} \quad (2.20)$$

де $l_{\text{бл}}$ – довжина блоку (разом із призмою можливого обрушення, безпечною відстанню до неї і радіусом бази драглайна), м.

$$l_{\text{бл}} = R_{\text{ч.маx}} - H \cdot \operatorname{ctg} \alpha_3, \text{ м} \quad (2.21)$$

де α_3 - кут укосу вибою драглайна. Він дорівнює куту стійкого укосу уступу $\alpha_3 = \alpha_y = 32^\circ$.

Перетворимо формулу (2.20) з врахуванням (2.21)

$$\varphi_{\psi} = \operatorname{arctg} \frac{0,5 \cdot H \cdot \operatorname{ctg} \alpha}{R_{\text{ч.маx}} - 0,5 \cdot H \cdot \operatorname{ctg} \alpha_3}, \text{ град.} \quad (2.22)$$

Як бачимо із формули (2.22) та схеми (2.9) кут повороту у вибій змінюється при збільшенні висоти уступу. Також ми бачимо, що ширина заходки не впливає на нього, це зумовлено тим що, центр мас завжди буде знаходитись на незмінній відстані від центру заходки на поверхні вибою, там де розташовується екскаватор.

Розглянемо схему роботи драглайна при його розташуванні на безпечній відстані B від верхньої бровки уступу (рис. 2.10.).

Аналогічно алгоритму отримання формули (2.20), виведемо формулу визначення кута повороту у вибій для схеми №5 (табл. 2.1). Однак при розташуванні екскаватора на безпечній відстані B_1 від верхньої бровки кут повороту у вибій φ_{ψ} може бути від'ємним від кута повороту до автосамоскида φ_a та може входити в його склад, це зумовлено збільшенням ширини заходки (рис. 2.9).

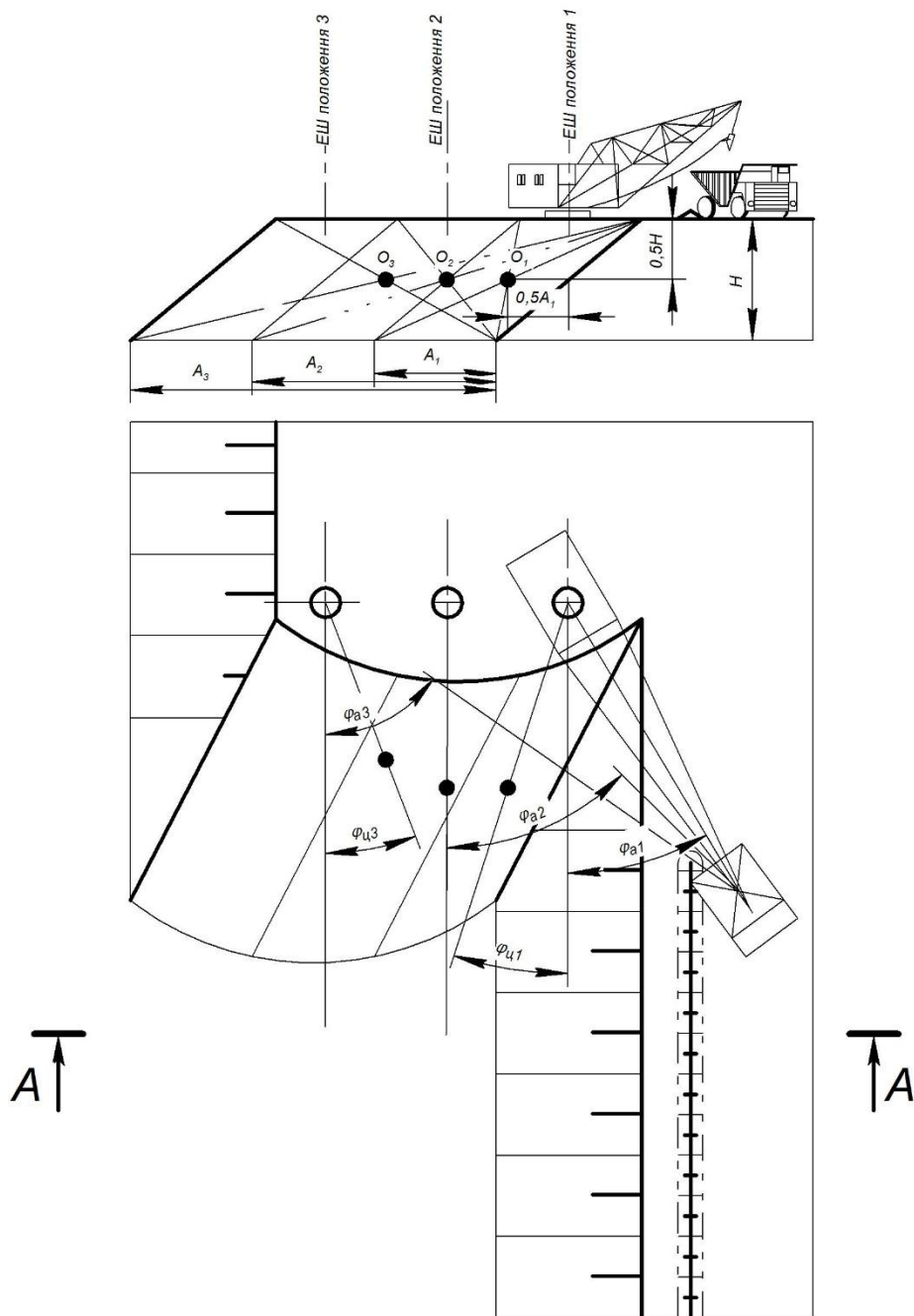
A-A

Рис. 2.10. Схема для визначення кута повороту драглайна при змінній ширині заходки, та розміщенні екскаватора на безпечній відстані B_1 від верхньої бровки уступу

Тому при умові, що $0,5A < B + 0,5H \cdot ctg\alpha$, кут $\varphi_{ц}$ не входить у кут повороту до автосамоскида φ_a , а при умові, що $0,5A > B + 0,5H \cdot ctg\alpha$, кут повороту у вибій $\varphi_{ц}$ входить у кут повороту до автосамоскида φ_a .

Для виключення появи від'ємних значень кута $\varphi_{ц}$ у чисельнику формули його визначення ставимо знак модуля.

$$\varphi_{ц} = \arctg \frac{|0,5A - B - 0,5H_y \cdot ctg \alpha|}{R_{ч. max} - 0,5 \cdot H_y \cdot ctg \alpha_3}, \text{ град.} \quad (2.23)$$

Перетворимо формулу (2.25) з врахуванням виразів (2.5), (2.6):

$$\varphi_{ц} = \arctg \frac{|0,5A - H_y \cdot ctg \alpha_y - r_{\sigma} - a + 0,5H_y \cdot ctg \alpha|}{R_{ч. max} - 0,5H_y \cdot ctg \alpha_3}, \text{ град} \quad (2.24)$$

2. Визначимо кут $\varphi_{ц}$ для випадку установки автосамоскида нижче рівня стояння драглайна (рис.2.11)

Відмінністю при виведенні формули для визначення кута повороту драглайна є те, що кут повороту до автосамоскида при схемах з розташуванням його нижче рівня стояння екскаватора та посередині ширини заходки, відсутній. Тому, що автосамоскид розташовується безпосередньо перед вибоєм драглайна, і кут повороту до автосамоскида входить до кутів повороту у вибій. Для врахування середнього місця черпання драглайна розділимо вибій на дві рівні частини, та встановимо два центри мас, які будуть знаходитись на перетині діагоналей половин вибою. Тоді загальний кут повороту буде складатися з двох кутів повороту у вибій $\varphi_{ц1}$ та $\varphi_{ц2}$.

$$\varphi_n = \varphi_{ц1} \pm \varphi_{ц2}, \text{ град} \quad (2.25)$$

Виведемо формули визначення кутів повороту у вибій опираючись на обернену тригонометричну функцію «arcsin», для цього побудуємо прямокутний трикутник між віссю екскаватора та центром мас вибою (рис 2.10 б), та отримаємо катети a і b , і гіпотенузу c , тоді $\varphi_{ц2}$ буде дорівнювати:

$$\varphi_{ц2} = \arcsin \frac{a}{c}, \text{ град} \quad (2.26)$$

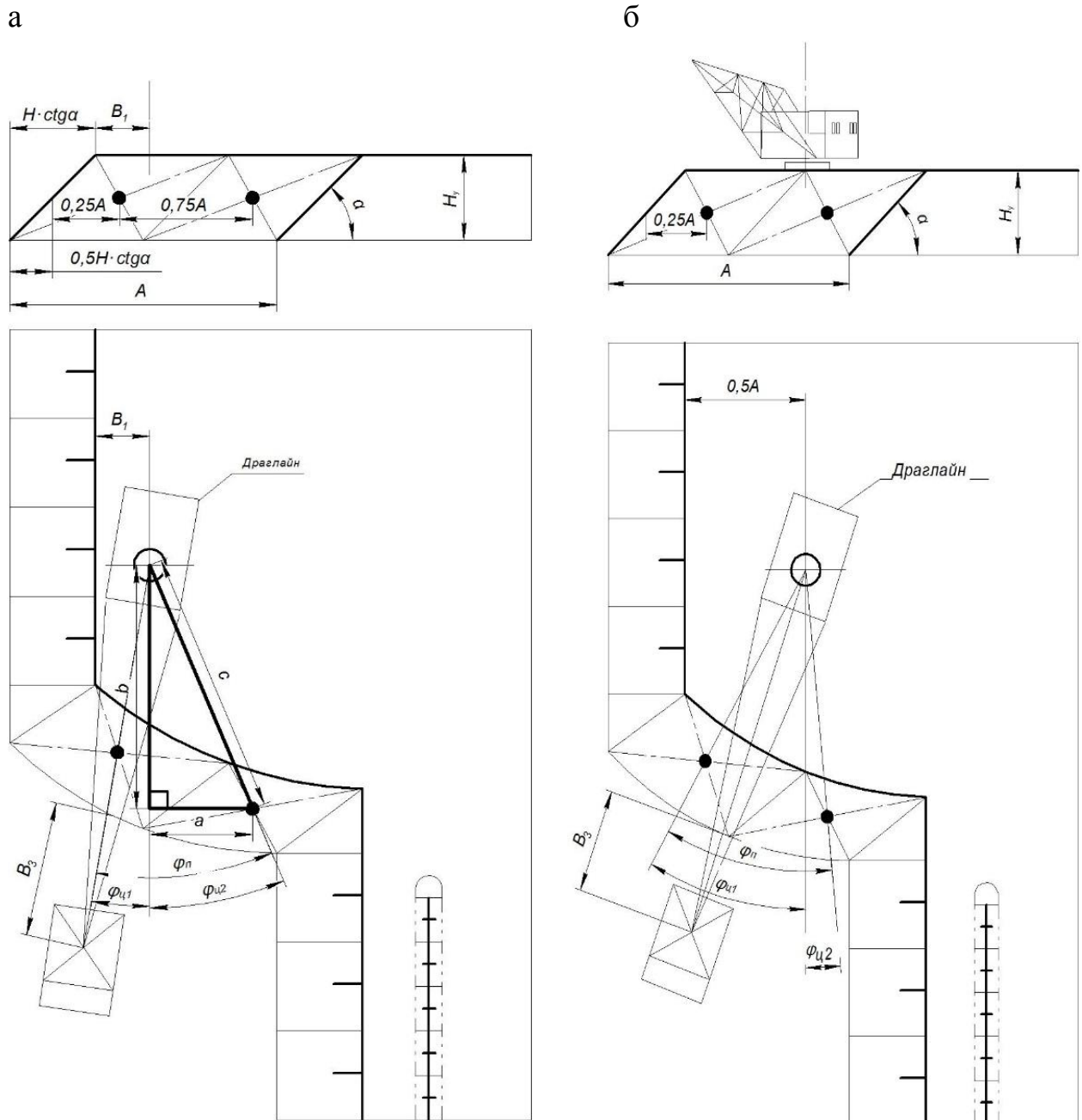


Рис. 2.11. Схеми для визначення кута повороту у вибій $\varphi_{ч}$ при установці автосамоскида нижче рівня стояння екскаватора

Треба врахувати, що центр маси кузова автосамоскида знаходиться на безпечній відстані B_3 від нижньої бровки айбою. Тому радіус черпання крокуючого екскаватора при схемі розвантаження у автосамоскид, що знаходиться нижче рівня стояння драглайну, буде дорівнювати:

$$R_{ч.нр} = R_{ч.мах} - B_3, \text{ м} \quad (2.27)$$

За допомогою параметрів вибоя виразимо катет a та гіпотенузу c :

$$a = 0,25 \cdot A - 0,5 \cdot H_y \cdot \operatorname{ctg} \alpha, \text{ м} \quad (2.28)$$

$$c = R_p - B_3 - 0,5 \cdot H_y \cdot \operatorname{ctg} \alpha_3, \text{ м} \quad (2.29)$$

Аналогічно виведемо формулу для визначення $\varphi_{ц1}$.

Підставимо значення (2.28) і (2.29) у вираз (2.26), отримаємо кути повороту у вибій при розташуванні драглайна на відстані $0,5A$ від верхньої бровки уступу:

$$\varphi_{ц1} = \arcsin \frac{0,25 \cdot A + 0,5 \cdot H_y \cdot \operatorname{ctg} \alpha}{R_p - B_3 - 0,5 \cdot H_y \cdot \operatorname{ctg} \alpha_3}, \text{ град} \quad (2.30)$$

$$\varphi_{ц2} = \arcsin \frac{|0,25 \cdot A - 0,5 \cdot H_y \cdot \operatorname{ctg} \alpha|}{R_p - B_3 - 0,5 \cdot H_y \cdot \operatorname{ctg} \alpha_3}, \text{ град} \quad (2.31)$$

Кути повороту у вибій при розташуванні драглайна на безпечній відстані B_1 від верхньої бровки уступу:

$$\varphi_{ц2} = \arcsin \frac{0,75 \cdot A - 0,5 \cdot H_y \cdot \operatorname{ctg} \alpha - B_1}{R_p - B_3 - 0,5 \cdot H_y \cdot \operatorname{ctg} \alpha_3}, \text{ град} \quad (2.32)$$

$$\varphi_{ц2} = \arcsin \frac{|B_1 + 0,5 \cdot H_y \cdot \operatorname{ctg} \alpha - 0,25 \cdot A|}{R_p - B_3 - 0,5 \cdot H_y \cdot \operatorname{ctg} \alpha_3}, \text{ град} \quad (2.33)$$

Отриманий алгоритм визначення кутів повороту драглайна використаємо для подальшого визначення кутів повороту у вибій, та розрахунку загального кута повороту.

2.1.4. Встановлення залежностей зміни кута повороту драглайна на розвантаження від параметрів вибою та місця установки автосамоскида

Для визначення загального кута повороту будемо використовувати формули (2.19) та (2.25). Аналізуючи їх ми бачимо, що кут повороту у вибій може мати знак мінус та плюс, це залежить від того, чи входить він до складу кута повороту до автосамоскида [65].

1. Визначимо загальний кут повороту драглайна на розвантаження при розташуванні автосамоскида на рівні його стояння.

Для схеми з розміщення екскаватора на відстані $0,5A$ від верхньої бровки уступу, кут повороту до автосамоскида визначаємо за формулою:

$$\varphi_a = \arcsin \frac{0,5 \cdot A + z + b_B + 0,5 \cdot b_a}{R_{ч.мах}}, \text{ град}, \quad (2.34)$$

де b_B - ширина запобіжного валу, м. Приймаємо $b_B = 3$ м,

b_a - ширина кузову автосамоскида, м. Приймаємо $b_a = 6$ м.

Як бачимо із формули (2.34) та схеми (рис.2.9) висота уступу майже не впливає на кут повороту до автосамоскида. Однак висота уступу впливає на значення ширини призми можливого обрушення z .

Кут повороту до автосамоскида збільшується при збільшенні ширини заходки, це можна розглянути на схемі (2.10), а також обґрунтувати тим, що при збільшенні ширини заходки відстань від автосамоскида до екскаватора також збільшується.

Підставимо формули (2.20; 2.34) у вираз (2.19), та отримаємо:

$$\varphi_n = \arctg \frac{0,5 \cdot H \cdot ctg \alpha}{R_{ч.мах} - 0,5 \cdot H \cdot ctg \alpha_3} + \arcsin \frac{0,5 \cdot A + z + b_B + 0,5 \cdot b_a}{R_{ч.мах}} + \varphi_y, \text{ град} \quad (2.35)$$

При розміщенні екскаватора на безпечній відстані B_1 від верхньої бровки уступу, кут повороту до автосамоскида буде дорівнювати:

$$\varphi_a = \arcsin \frac{A - B + z + b_B + 0,5 \cdot b_a}{R_{ч.мах}}, \text{ град} \quad (2.36)$$

Підставивши у вираз (2.33) формулу (2.5) отримаємо:

$$\varphi_a = \arcsin \frac{A - r_{\sigma} - a + b_B + 0,5 \cdot b_a}{R_{ч.мах}}, \text{ град} \quad (2.37)$$

При умові, що $0,5A < B + 0,5H \cdot ctg \alpha$, кут повороту у вибій φ_{ψ} не входить у кут повороту до автосамоскида φ_a , тому загальний кут на розвантаження розраховуємо за формулою:

$$\varphi_n = \varphi_a + \varphi_y + \varphi_{\psi}, \text{ град} \quad (2.38)$$

При умові, що $0,5A > B + 0,5H \cdot ctg \alpha$ кут φ_{ψ} входить у кут повороту до автосамоскида φ_a , тому:

$$\varphi_n = \varphi_a + \varphi_y - \varphi_u, \text{ град} \quad (2.39)$$

Тоді загальний кут повороту на розвантаження буде дорівнювати:

$$\varphi_n = \arcsin \frac{A - r_\delta - a + b_B + 0,5 \cdot b_a}{R_{u,max}} + \varphi_y \pm \operatorname{arctg} \frac{|0,5A - H_y \cdot \operatorname{ctg} \alpha_y - r_\delta - a + 0,5H_y \cdot \operatorname{ctg} \alpha|}{R_{u,max} - 0,5H_y \cdot \operatorname{ctg} \alpha}, \text{град} \quad (2.40)$$

Встановимо вплив ширини заходки на загальний кут повороту. Для цього розрахуємо значення φ_n при зміні ширини заходки від A_{min} до A_{max} для схем № 1, 2, 3, 5, 6, 7 (табл. 2.1). Висоту уступу приймем мінімальною $H_y = 10$ м. Результати розрахунку занесемо до табл. 2.4.

Таблиця 2.4

Значення кута φ_n при зміні ширини заходки A і прийнятій висоті уступу

$$H_y = 10 \text{ м}$$

Ширина заходки A , м	Загальний кут повороту драглайна на розвантаження φ_n , град					
	При розташуванні драглайна на відставні $0,5A$ від верхньої бровки			При розташуванні драглайна на відстані B_1 від верхньої бровки		
	Схема №1	Схема №2	Схема №3	Схема №5	Схема №6	Схема №7
1	2	3	4	5	6	7
16,5	33,43	78,43	123,43	35,2	80,2	125,2
18	34,42	79,42	124,42	35,8	80,8	125,8
20	35,75	80,75	125,75	36,5	81,5	126,5
22	37,10	82,10	127,10	37,3	82,3	127,3
24	38,47	83,47	128,47	38,2	83,2	128,2
26	39,86	84,86	129,86	39,1	84,1	129,1
28	41,27	86,27	131,27	40,0	85,0	130,0
30	42,70	87,70	132,70	41,1	86,1	131,1
32	44,16	89,16	134,16	42,2	87,2	132,2
34	45,64	90,64	135,64	43,4	88,4	133,4
36	47,16	92,16	137,16	45,0	90,0	135,0
38	48,70	93,70	138,70	46,7	91,7	136,7
40	50,28	95,28	140,28	48,7	93,7	138,7
42	51,91	96,91	141,91	51,2	96,2	141,2
44	53,57	98,57	143,57	54,2	99,2	144,2
46	55,29	100,29	145,29	58,4	103,4	148,4
48	57,06	102,06	147,06	65,2	110,2	155,2
50	58,90	103,90	148,90			
52	60,81	105,81	150,81			
54	62,81	107,81	152,81			
56	64,92	109,92	154,92			

Продовження табл. 2.4

1	2	3	4	5	6	7
58	67,14	112,14	157,14			
60	69,52	114,52	159,52			
62	72,09	117,09	162,09			
64	74,92	119,92	164,92			
66	78,11	123,11	168,11			
68	81,88	126,88	171,88			
70	86,76	131,76	176,76			
72	98,47	143,47	188,47			

Для встановлення чіткої залежності кута повороту від ширини заходки побудуємо графік залежності $\varphi_n = f(A)$ (рис. 2.12).

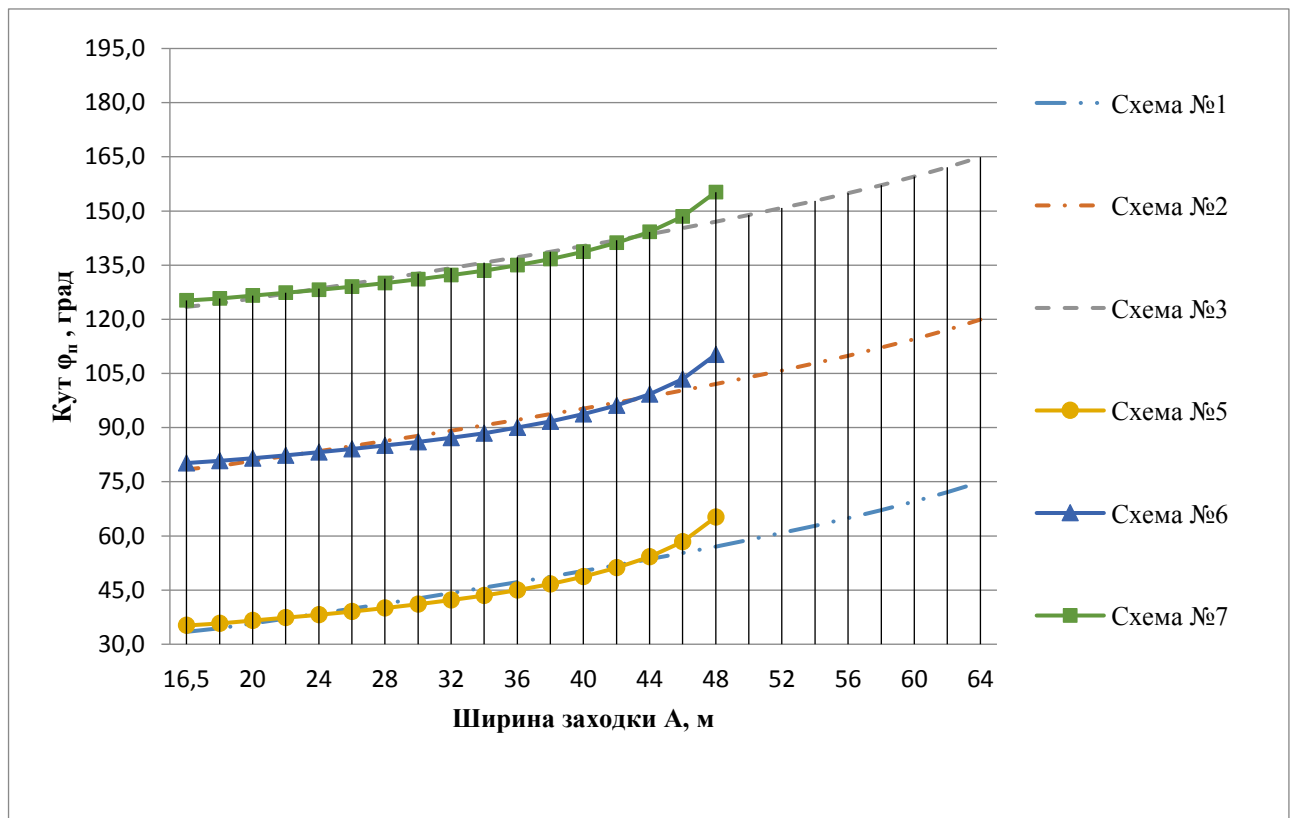


Рис. 2.12. Залежність кута φ_n від зміни ширини заходки A при висоті уступу $H = 10$ м

Як бачимо, із даних графіку (рис. 2.12), загальний кут повороту екскаватора на розвантаження пропорційно зростає в 3-чі при збільшенні ширини заходки в 3,9 раз для схем з верхнім розвантаженням і розташуванням

екскаватору по середині заходки (схеми №1, 2, 3), та кут повороту зростає в 1,9 рази при збільшенні ширини заходки у 2,9 раз для схеми з розташуванням екскаватора на відстані B_l від верхньої бровки (схеми №5, 6, 7)

Знайдемо значення загального кута повороту φ_n за формулами (2.37) та (2.40) при зміні висоти уступу від H_{min} до H_{max} і постійній ширині заходки $A_l = 30$ м. Це надасть змогу встановити вплив висоти уступу на загальний кут повороту. Дані розрахунку занесемо до табл. 2.5 і побудуємо графік залежності $\varphi_n = f(H)$ (рис. 2.13)

Таблиця 2.5

Значення кута φ_n при зміні висоти уступу H_y і прийнятій ширині заходки

$$A = 30 \text{ м}$$

Висота уступу H_y , м	Загальний кут повороту драглайна на розвантаження φ_n , град					
	При розташуванні драглайна на відстані $0,5A$ від верхньої бровки			При розташуванні драглайна на відстані B від верхньої бровки		
	Схема №1	Схема №2	Схема №3	Схема №5	Схема №6	Схема №7
10	42,70	87,70	132,70	41,1	86,1	131,1
11	43,72	88,72	133,72	43,1	88,1	133,1
12	44,78	89,78	134,78	45,3	90,3	135,3
13	45,87	90,87	135,87	47,6	92,6	137,6
14	47,00	92,00	137,00	49,9	94,9	139,9
15	48,17	93,17	138,17	52,4	97,4	142,4
16	49,39	94,39	139,39	54,9	99,9	144,9
17	50,64	95,64	140,64	57,6	102,6	147,6
18	51,93	96,93	141,93	60,3	105,3	150,3
19	53,27	98,27	143,27	63,1	108,1	153,1
20	54,66	99,66	144,66			
21	56,09	101,09	146,09			

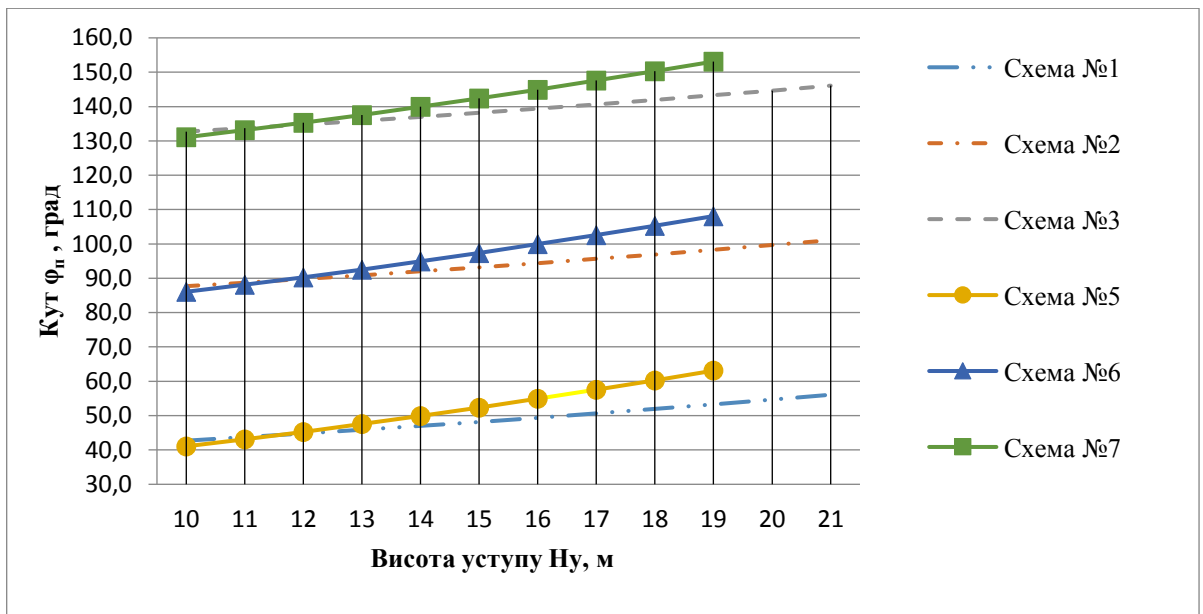


Рис. 2.13. Залежність кута φ_n від зміни висоти уступу при ширині заходки $A = 30$ м

Із кривих, наведених на графіку (рис. 2.13) ми бачимо, що кут повороту змінюється прямолінійно, тобто пропорційно збільшується при збільшенні висоти уступу, на 26 % для схеми з розташуванням екскаватора по середині заходки (схеми №1, 2, 3) і на 51 % для схеми з розташуванням екскаватора на відстані B_1 від верхньої бровки (схеми №5, 6, 7). Це дозволяє стверджувати, що висота уступу в значній мірі впливає на кут повороту.

2. Визначимо кут загальний кут повороту драглайна на розвантаження при розташуванні автосамоскида нижче рівня його стояння.

При установці автосамоскида під завантаження на нижньому майданчику уступу можливо суттєво зменшити кут повороту драглайна на розвантаження φ_n .

Розглянемо схему роботи драглайна при його розташуванні на відстані $0,5A$ від верхньої бровки уступу (схема №9) (рис. 2.11, б)

Для визначення загального кута повороту підставимо значення кутів повороту у вибір φ_{u1} та φ_{u2} у формулу (2.25). Врахуємо умови при яких φ_{u2} входить до складу φ_{u1} , тоді:

При умові, що $0,25A > 0,5H \cdot \text{ctg}\alpha$:

$$\varphi_{\Pi} = \arcsin \frac{0,25 \cdot A + 0,5 \cdot H_y \cdot \operatorname{ctg} \alpha}{R_p - B_3 - 0,5 \cdot H_y \cdot \operatorname{ctg} \alpha_3} + \arcsin \frac{|0,25 \cdot A - 0,5 \cdot H_y \cdot \operatorname{ctg} \alpha|}{R_p - B_3 - 0,5 \cdot H_y \cdot \operatorname{ctg} \alpha_3}, \text{ град (2.41)}$$

При умові, що $0,25A < 0,5H \cdot \operatorname{ctg} \alpha$:

$$\varphi_{\Pi} = \arcsin \frac{0,25 \cdot A + 0,5 \cdot H_y \cdot \operatorname{ctg} \alpha}{R_p - B_3 - 0,5 \cdot H_y \cdot \operatorname{ctg} \alpha_3} - \arcsin \frac{|0,25 \cdot A - 0,5 \cdot H_y \cdot \operatorname{ctg} \alpha|}{R_p - B_3 - 0,5 \cdot H_y \cdot \operatorname{ctg} \alpha_3}, \text{ град (2.42)}$$

Розглянемо схему роботи драглайна при його розташуванні на відстані B від верхньої бровки уступу (схема №13) (рис.2.10,а)

Загальний кут повороту визначається за формулою:

$$\varphi_{\Pi} = \arcsin \frac{0,75 \cdot A - 0,5 \cdot H_y \cdot \operatorname{ctg} \alpha - B_1}{R_p - B_3 - 0,5 \cdot H_y \cdot \operatorname{ctg} \alpha_3} + \arcsin \frac{|B_1 + 0,5 \cdot H_y \cdot \operatorname{ctg} \alpha - 0,25 \cdot A|}{R_p - B_3 - 0,5 \cdot H_y \cdot \operatorname{ctg} \alpha_3}, \text{ град (2.43)}$$

Знайдемо значення φ_n за формулами (2.41), (2.42), (2.43) при зміні ширини заходки від A_{min} до A_{max} і висоті уступу $H_y = 10$ м (табл. 2.6), та побудуємо графік залежності $\varphi_n = f(A)$ (рис. 2.14).

Таблиця 2.6

Значення кута φ_n при зміні ширини заходки A і прийнятій висоті уступу $H = 10$ м, автосамоскид знаходиться у по середині ширини заходки

Ширина заходки A , м	Кут φ_n при установці автосамоскида у положення 5, град		Ширина заходки A , м	Кут φ_n при установці автосамоскида у положення 5, град	
	Схема № 9	Схема № 13		Схема № 9	Схема № 13
16,5	16,14	15,93	40	39,88	40,71
8	17,62	17,34	42	41,98	43,44
20	19,60	19,23	44	44,10	46,37
22	21,58	21,14	46	46,24	49,59
24	23,49	23,08	48	48,39	53,19
26	25,57	25,04	50	50,57	
28	27,58	27,06	52	52,77	
30	29,60	29,12	54	55,00	
32	31,63	31,25	56	57,26	
34	33,67	33,45	58	59,54	
36	35,73	35,75	60	61,86	
38	37,80	38,16	62	64,22	

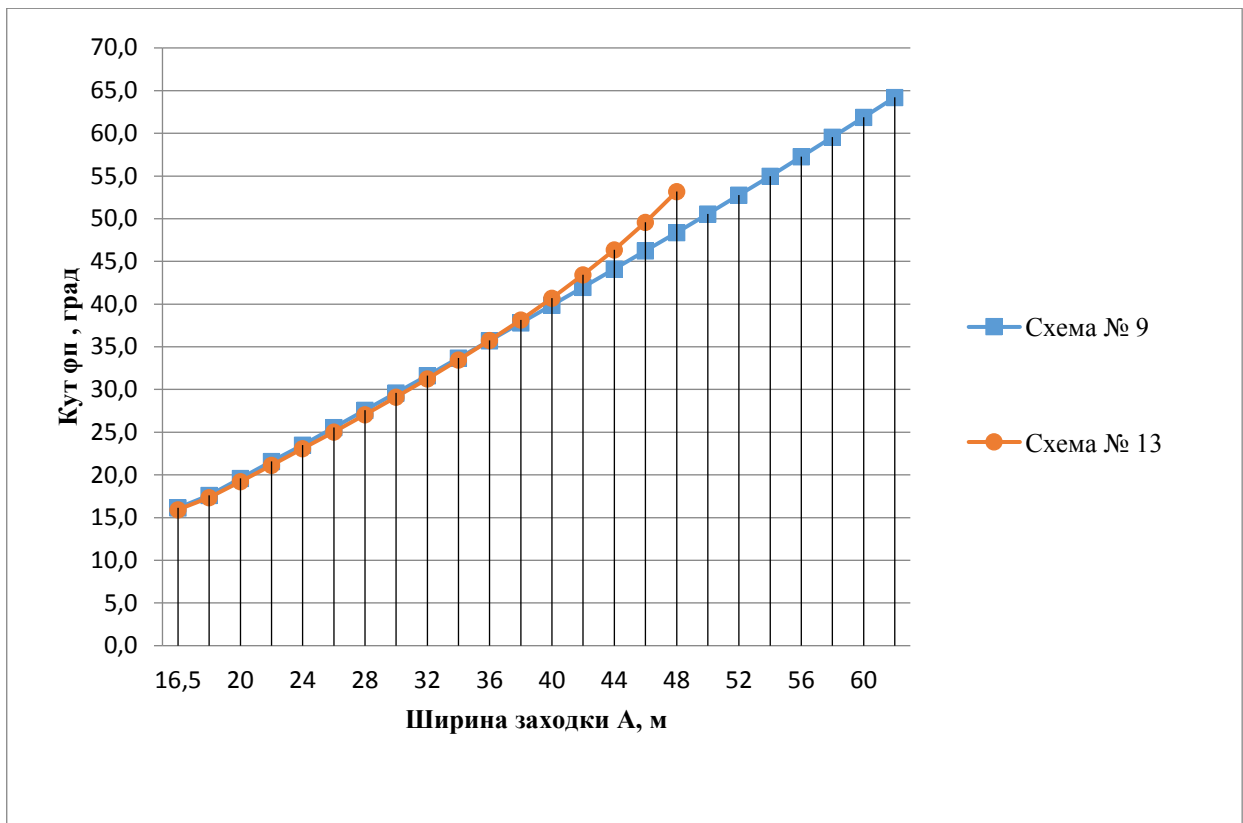


Рис. 2.14. Залежність кута φ_n від зміни ширини заходки A при установці автосамоскида по середині ширини заходки і висоті уступу $H = 10$ м

Із графіка видно, що при розташуванні автосамоскида нижче рівня установки драглайна кут повороту на розвантаження прямо пропорційно залежить від ширини заходки і змінює своє значення від $\varphi_n = 16,4^\circ$ при $A = 16,5$ м до $\varphi_n = 64,2^\circ$ при $A = 62$ м для схеми №9, та від $\varphi_n = 15,93^\circ$ при $A = 16,5$ м до $\varphi_n = 53,19^\circ$ при $A = 48$ м для схеми №13. Можна зробити висновок, що для схем з нижнім розвантаженням ширина заходки має великий вплив на загальний кут повороту драглайна.

Визначимо кут φ_n за формулами (2.41), (2.42), (2.43) при зміні висоти уступу від H_{min} до H_{max} (табл. 2.7) і побудуємо графічну залежність $\varphi_n = f(H)$ (рис. 2.14), за умови, що $A = 30$ м. Автосамоскид установлюється по середині ширини заходки на нижньому майданчику уступу (положення 5).

Таблиця 2.7

Значення кута φ_n при зміні висоти уступу H і ширині заходки $A=30$ м, автосамоскид у положенні 5

Висота уступу H_u , м	Загальний кут повороту φ_n , град	
	Схема № 9	Схема № 13
10	29,60	29,12
11	30,63	29,88
12	31,76	30,70
13	33,02	31,57
14	34,44	32,52
15	36,05	33,54
16	37,90	34,64
17	40,08	35,85
18	42,71	37,18
19	46,00	38,65
20	50,39	
21	57,09	

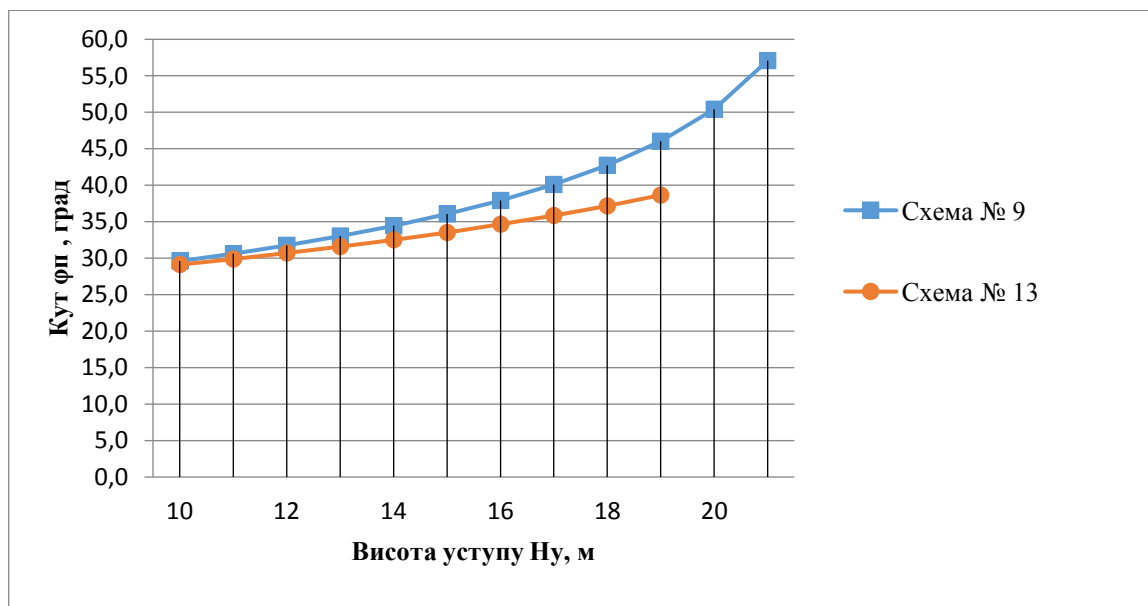


Рис. 2.15. Залежність кута φ_n від зміни висоти уступу H при ширині заходки $A_I = 30$ м і установці автосамоскида у положенні 5

Як бачимо кут повороту φ_n змінюється прямо пропорційно висоті уступу, тобто при збільшенні висоти уступу зростає і кут повороту від $\varphi_n = 29,6^\circ$ при

$H=10$ м до $\varphi_n = 57,09^\circ$ при $H=21$ м для схем № 9, від $\varphi_n = 29,12^\circ$ при $H=10$ м до $\varphi_n = 38,65^\circ$ при $H=19$ м для схеми №13 відповідно.

Розглянемо інші можливі положення автосамоскида під завантаження і виведемо для них формули визначення загального кут повороту драглайна на розвантаження φ_n :

3. Загальний кут повороту для схеми № 10, 11, 12 визначимо за формулою:

$$\varphi_{\Pi} = \arctg \frac{H_y \cdot \operatorname{ctg} \alpha + 0,5A}{R_p - B_3} - \arctg \frac{0,5 \cdot H_y \cdot \operatorname{ctg} \alpha}{R_{ч. \max} - B_3 - 0,5 \cdot H_y \cdot \operatorname{ctg} \alpha_3} + \varphi_y, \text{ град} \quad (2.44)$$

4. Загальний кут повороту для схеми № 14, 15, 16 визначимо за формулою:

При умові, що $0,5A < 0,5H \cdot \operatorname{ctg} \alpha + B_1$:

$$\varphi_{\Pi} = \arctg \frac{H_y \cdot \operatorname{ctg} \alpha + B_1}{R_p - B_3} - \arctg \frac{0,5 \cdot H_y \cdot \operatorname{ctg} \alpha}{R_{ч. \max} - B_3 - 0,5 \cdot H_y \cdot \operatorname{ctg} \alpha_3} + \varphi_y, \text{ град} \quad (2.45)$$

При умові, що $0,5A > 0,5H \cdot \operatorname{ctg} \alpha + B_1$

$$\varphi_{\Pi} = \arctg \frac{H_y \cdot \operatorname{ctg} \alpha + B_1}{R_p - B_3} + \arctg \frac{0,5 \cdot H_y \cdot \operatorname{ctg} \alpha}{R_{ч. \max} - B_3 - 0,5 \cdot H_y \cdot \operatorname{ctg} \alpha_3} + \varphi_y, \text{ град} \quad (2.46)$$

Значення кута повороту для схем № 10, 11, 12, 14, 15, 16 розраховані та занесені у додаток А п.2.

Проведені дослідження впливу параметрів вибою на кут повороту дозволили встановити, що при збільшенні ширини заходки та висоти уступу збільшується і кут повороту. Тому для подальших досліджень кут повороту приймається як один із можливих факторів оптимізації параметрів вибою.

2.2 Встановлення раціонального місця розташування екскаватора драглайна у вибої

Для встановлення раціонального місця розташування драглайна у вибої, розглянута технологічна схема роботи екскаватора з нижнім черпанням та

розвантаженням в автосамоскид, що знаходиться на рівні установки екскаватора (рис.2.16) [84].

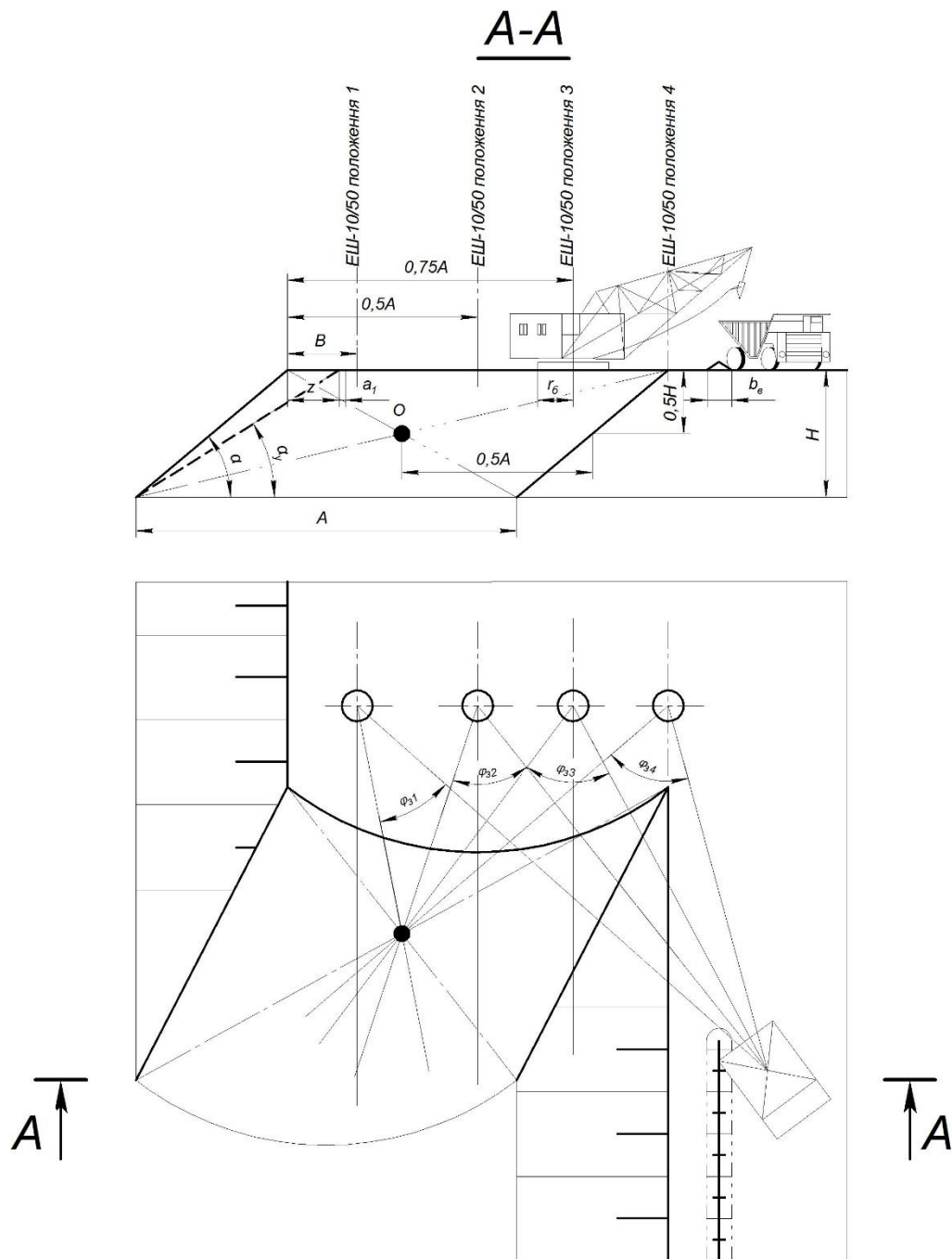


Рис.2.16. Схема роботи ЕШ-10/50 нижнім черпанням з розвантаженням в автосамоскид, при різних положеннях розташування екскаватора у вибої

Для дослідження прийнято чотири можливих положення екскаватора драглайна у вибої: 1 - на безпечній відстані B від верхньої бровки уступу; 2 - на відстані $0,5A$; 3 - на відстані $0,75A$; 4 - на відстані A (рис. 2.16.)

Для розрахунку кута загального повороту у першому та другому положенні були обрані формули (2.35) та (2.40).

Аналогічно отримані формули для визначення загального кута повороту для 3 та 4 положення.

3 положення

$$\varphi_n = \operatorname{arctg} \frac{0,25 \cdot A + 0,5 \cdot H \cdot \operatorname{ctg} \alpha}{R_{ч. \max} - 0,5 \cdot H \cdot \operatorname{ctg} \alpha_3} + \operatorname{arcsin} \frac{0,25 \cdot A + z + b_B + 0,5 \cdot b_a}{R_{ч. \max}} + \varphi_y, \text{ град.} \quad (2.47)$$

4 положення

$$\varphi_n = \operatorname{arctg} \frac{0,5 \cdot A + 0,5 \cdot H \cdot \operatorname{ctg} \alpha}{R_{ч. \max} - 0,5 \cdot H \cdot \operatorname{ctg} \alpha_3} + \operatorname{arcsin} \frac{z + b_B + 0,5 \cdot b_a}{R_{ч. \max}} + \varphi_y, \text{ град.} \quad (2.48)$$

Для встановлення раціонального місця розташування драглайна у вибої, необхідно розрахувати загальний кут повороту для кожного положення екскаватора, при різній ширині заходки.

Обираючи діапазон значень ширини заходки для розрахунку, необхідно врахувати умови безпечної роботи драглайна та його максимально можливі робочі параметри при різних положеннях. Так для 1 та 2 положень мінімальні та максимальні значення ширини заходки для екскаватора ЕШ-10/50 були розраховані у параграфі 2.1.1. Аналогічно розрахунку визначимо максимальне значення ширини заходки для положення 3 та 4, з урахування максимально радіусу черпання:

3 положення:

$$A_{\max} = \frac{R_{ч. \max} - H_y \cdot \operatorname{ctg} \alpha}{0,75}, \text{ м;} \quad (2.49)$$

4 положення:

$$A_{\max} = R_{ч. \max} - H_y \cdot \operatorname{ctg} \alpha, \text{ м.} \quad (2.50)$$

Провівши розрахунки максимально допустимої ширини заходки для 3 та 4 положень розташування драглайна визначено, що при розміщенні екскаватора на відстані $0,75A$ від верхньої бровки уступу $A_{\max} = 48$ м, а при розміщенні на відстані A максимальна ширина заходки не повинна перевищувати $A_{\max} = 36$ м.

За отриманими формулами визначимо значення загального кута повороту для кожного з прийнятих положень екскаватора, при різних параметрах ширини заходки. Результати розрахунку приведені в табл. 2.8.

Таблиця 2.8

Загальний кут повороту драглайна при різному положенні розташування його у вибої, та змінній ширині заходки

Ширина заходки A , м	Загальний кут повороту φ_n , при розташуванні драглайна на відстані x від верхньої бровки, град				Ширина заходки A , м	Загальний кут повороту φ_n , при розташуванні драглайна на відстані x від верхньої бровки, град		
	$x=B$	$x=0,5A$	$x=0,75A$	$x=A$		$x=B$	$x=0,5A$	$x=0,75A$
16,5	35,18	33,43	33,78	34,03	46	58,41	55,29	52,89
18	35,75	34,42	34,76	34,98	48	65,23	57,06	54,18
20	36,53	35,75	36,06	36,23	50		58,90	
22	37,34	37,10	37,37	37,45	52		60,81	
24	38,18	38,47	38,67	38,66	54		62,81	
26	39,07	39,86	39,97	39,84	56		64,92	
28	40,02	41,27	41,27	41,00	58		67,14	
30	41,07	42,70	42,57	42,13	60		69,52	
32	42,22	44,16	43,86	43,24	62		72,09	
34	43,43	45,64	45,16	44,33	64		74,92	
36	44,99	47,16	46,45	45,40	66		78,11	
38	46,70	48,70	47,74		68		81,88	
40	48,71	50,28	49,03		70		86,76	
42	51,16	51,91	50,32		72		98,47	
44	54,24	53,57	51,61					

За отриманими розрахунками побудуємо графік залежності кута повороту від ширини заходки, для кожного з положень екскаватора у вибої (рис. 2.17).

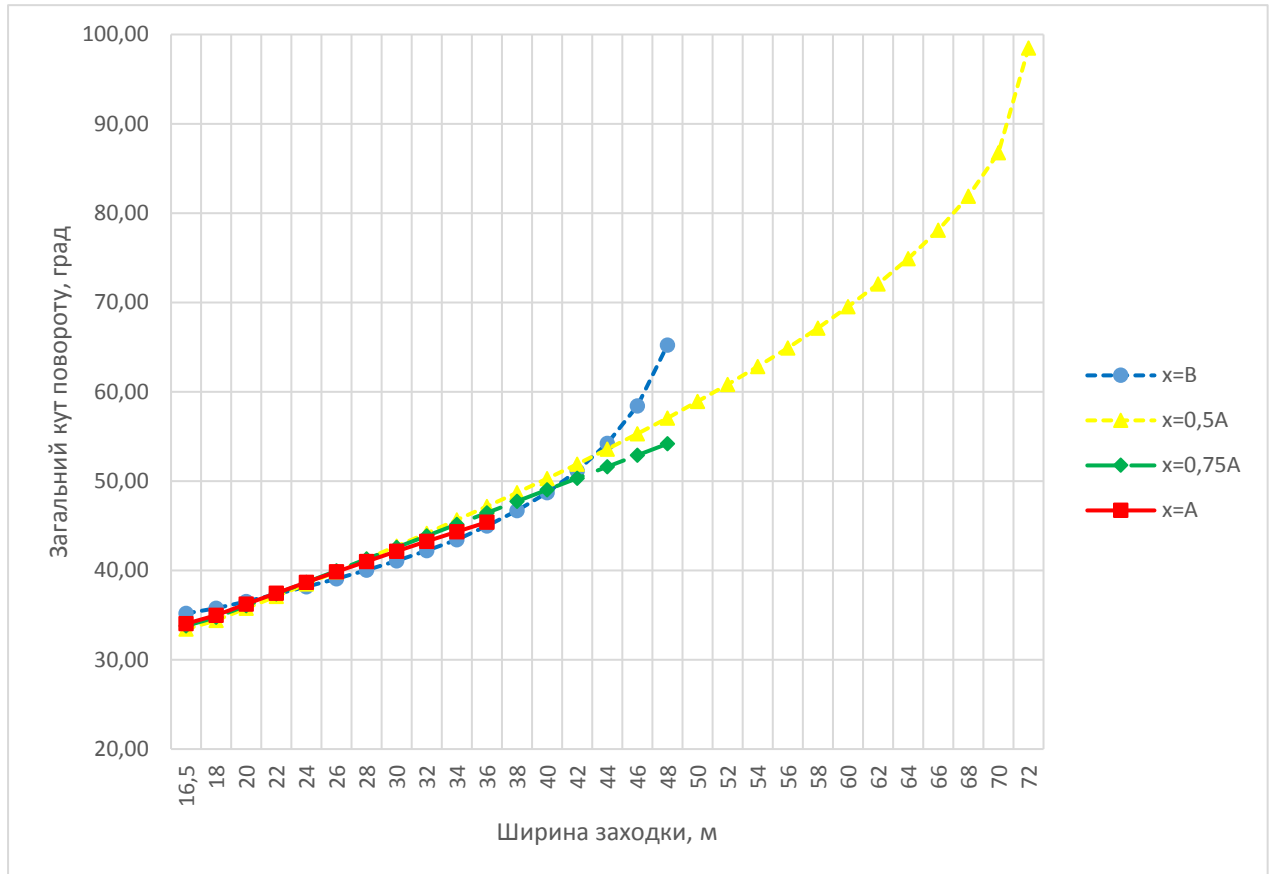


Рис. 2.17. Графік залежності загального кута повороту від ширини заходки

Із даних, що наведені на графіку рис. 2.16 ми бачимо, що при збільшенні ширини заходки загальний кут повороту також збільшується. При ширині заходки від 16,5 м до 43 м значення загального кута повороту при різних положеннях екскаватора мають розбіжності до 1° , це дуже не значна різниця. Тому можемо стверджувати, що при ширині заходки $A=16,5\div 43\text{ м}$ положення екскаватора майже не впливає на загальний кут повороту драглайна.

Провівши дослідження по визначенню раціонального місця розташування екскаватора драглайна ЕШ-10/50 при його роботі з автосамоскидами встановлено:

- при розміщенні драглайна на різній відстані від верхньої бровки уступу, значення максимально можливої для роботи ширини заходки відрізняються для кожного з положень. Так найбільше значення $A_{max} = 72\text{ м}$, можливе при розташуванні екскаватора на відстані $0,5A$ від верхньої бровки уступу. Також

$A_{max} = 48$ м можливе при розташуванні екскаватора на відстані B та $0,75A$, та $A_{max} = 36$ м на відстані A від верхньої бровки. Це обумовлено безпечною зоною поблизу верхньої бровки уступу, та максимальним радіусом черпання драглайна;

- при значенні ширини заходки від $A=16,5$ до $A= 43$ м положення екскаватора у вибої майже не впливає на загальний кут повороту. Однак для формування рівномірного профілю вибою, та забезпечення максимального огляду вибою при роботі машиніста, раціональним буде положення драглайна на відстані $0,5A$ від верхньої бровки уступу. Це також дає можливість працювати екскаватору драглайну при ширині заходки до 72 м, що більше ніж при інших положеннях його розташування.

2.3. Вплив кутів повороту драглайна на тривалість його робочого циклу

При застосуванні технологічної схеми із використанням екскаваторів-драглайнів та автосамоскидів, тривалість циклу складається із тривалостей окремих операцій, та визначається як їх сума:

$$t_{\text{ц}} = t_{\text{вр}} + t_{\text{к}} + t_{\text{о}} + t_{\text{н}} + t_{\text{приц}} + t_{\text{р}} + t_{\text{нз}} + t_{\text{з}}, \text{ с} \quad (2.51)$$

де $t_{\text{вр}}$ – час врзання ковша у вибій, с;

$t_{\text{к}}$ – час копання, с;

$t_{\text{о}}$ – час виводу ковша із вибою, с;

$t_{\text{н}}$ – час повороту на розвантаження, с;

$t_{\text{р}}$ – час розвантаження, с;

$t_{\text{нз}}$ – час повороту у вибій, с;

$t_{\text{з}}$ – час на закидання ковша, с;

$t_{\text{приц}}$ – час на прицілювання ковша перед розвантаженням, с.

Тривалість розвантаження ковшу екскаватора складається з подачі ковша до автосамоскида та безпосереднього розвантаження гірничої маси (рис. 2.18.).

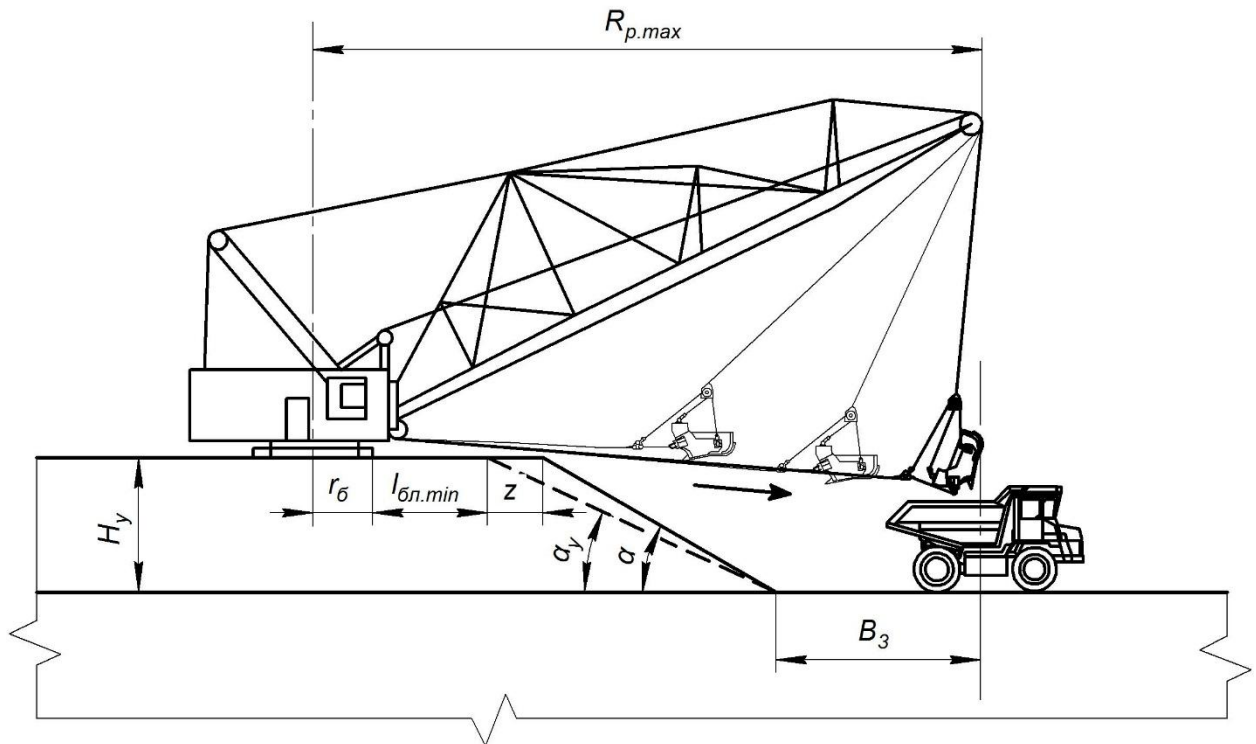


Рис.2.18. Схема подачі ковша до автосамоскида та розвантаження гірничої маси

Відомо, що при роботі машиніст екскаватора виконує деякі дії одночасно. Так одночасно виконуються такі дії як поворот екскаватора у вибій та закидання ковша, поворот до автосамоскиду та подача на розвантаження. Тому тривалість подачі ковша до автосамоскида входить у час повороту на розвантаження екскаватора драглайна.

З урахуванням виконання деяких дій одночасно перетворимо формулу (2.51), та отримаємо:

$$t_{\text{ц}} = t_{\text{вр}} + t_{\text{к}} + t_{\text{н}} + t_{\text{приц}} + t_{\text{р}} + t_{\text{нз}}, \text{ с}, \quad (2.52)$$

Для визначення тривалості циклу був виконаний хронометраж роботи драглайна ЕШ-10/50. Розвантаження виконувалось у автосамоскиди Cat-773E. Результати хронометражу занесені до табл. 2.9.

Таблиця 2.9

Хронометраж роботи екскаватора ЕШ-10/50 із розвантаженням у
автосамоскид Cat-773Е

Вид операції	Тривалість операції, с												Середня тривалість операції, с
	2	3	2	3	3	2	4	3	4	3	3	3	
Врізання ковша у вибій	2	3	2	3	3	2	4	3	4	3	3	3	2,92
Копання	8	7	6	10	7	8	9	8	10	8	7	7	7,91
Поворот на розвантаження	10	11	10,5	9,5	10	11	12	11	11	12	10	11	10,83
Прицілювання	2	2	2	3	2	2	3	2	2	2,5	2	2	2,20
Розвантаження	6	7	6,5	8	7	7	6,5	8	7	6,5	7	7,5	7
Поворот у вибій	11	12	11	13	12	11,5	12	11,5	10	12,5	11	12	11,63
Робочий цикл	39	42	38	46,5	41	41,5	46,5	43,5	44	44,5	40	42,5	42,49

Кут повороту буде впливати тільки на витрати часу на поворот, розвантаження і повернення ковша до вибою. Тоді всі інші дії складемо у загальну тривалість часу, та отримаємо:

$$t_{\text{сум}} = t_{\text{вр}} + t_{\text{к}} + t_{\text{приц}} + t_{\text{р}}, \text{ с}, \quad (2.53)$$

де: $t_{\text{вр}}$ – час врізання ковша у вибій, с;

$t_{\text{приц}}$ – час прицілювання ковша перед розвантаженням, с.

$t_{\text{к}}$ – час черпання, с;

$t_{\text{р}}$ – час на розвантаження, с.

Використовуючи дані хронометражу розрахуємо тривалість роботи циклу без врахування часу повороту отримаємо $t_{\text{сум}}=19,6 \text{ с}$.

Перетворимо формулу (2.52), з урахуванням рівняння загальної тривалості робочого циклу (2.53), та отримаємо:

$$t_{\text{ц}} = t_{\text{сум}} + \sum t_{\text{п}}, \text{ с} \quad (2.54)$$

Приймаємо, що час повороту у вибій дорівнює часу повороту на розвантаження, тоді отримаємо:

$$\sum t_{\Pi} = 2t_{\Pi}, \text{ с} \quad (2.55)$$

Для розрахунку тривалості повороту драглайна існують дві основні формули запропоновані проф. М.Г. Домбровським та акад. В.В. Ржевським. Встановимо залежність тривалості циклу від кута повороту для кожної з формул.

Визначимо тривалість повороту екскаватора за формулою, яку запропонував проф. М. Г. Домбровський [17].

$$t_{\Pi} = \frac{\omega_{max}^2 \cdot J \cdot (1,37 + \eta_{\Pi}^2)}{b \cdot N_{max} \cdot \eta_{\Pi}} + \frac{\varphi_{\Pi}}{\omega_{max}}, \text{ с}, \quad (2.56)$$

де ω_{max} – максимальна кутова швидкість повороту, рад/с;

J – момент інерції частин екскаватора, що обертаються, кг·м·с². За номограмою, представленою М.Г. Домбровським, величина J прямо залежить від маси екскаватора. Маса драглайна ЕШ-10/50 становить 630 т. Для цього екскаватору за номограмою $J_I = 4300 \text{ т} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2$.

η_n – ККД механізму повороту (0,82-0,85). Приймаємо $\eta_n = 0,85$;

b – коефіцієнт, що залежить від типу привода. Для багатомоторного електричного привода $b = 275$;

N_{max} – максимальна потужність поворотного механізму, к. с;

φ_n – кут повороту, рад. Приймаємо $\varphi_n = 60^\circ \approx 1,05 \text{ рад}$.

Виведення значень максимальної кутової швидкості повороту ω_{max} , моменту інерції частин екскаватора, що обертаються, J (у т·м²) і максимальної потужності поворотного механізму N_{max} представлено у додатку А, п. 3.

Визначимо тривалість повороту екскаватора-драглайна ЕШ-10/50 при зміні кута повороту від 10° до 180° (табл. 2.10) і побудуємо графічну залежність $\sum t_n = f(\varphi_n)$ (рис. 2.19).

Таблиця 2.10

Тривалість повороту крокуючого екскаватора ЕШ-10/50 при різних кутах повороту

Кут повороту φ_n , град	Кут повороту φ_n , рад	Тривалість повороту в одну сторону t_n , с	Загальна тривалість повороту $\sum t_n$, с
10	0,175	3,5	7,0
20	0,349	4,4	8,8
30	0,524	5,3	10,5
40	0,698	6,2	12,3
50	0,873	7,0	14,1
60	1,047	7,9	15,8
70	1,222	8,8	17,6
80	1,396	9,7	19,4
90	1,571	10,6	21,1
100	1,746	11,4	22,9
110	1,920	12,3	24,7
120	2,095	13,2	26,4
130	2,269	14,1	28,2
140	2,444	15,0	29,9
150	2,618	15,9	31,7
160	2,793	16,7	33,5
170	2,967	17,6	35,2
180	3,142	18,5	37,0

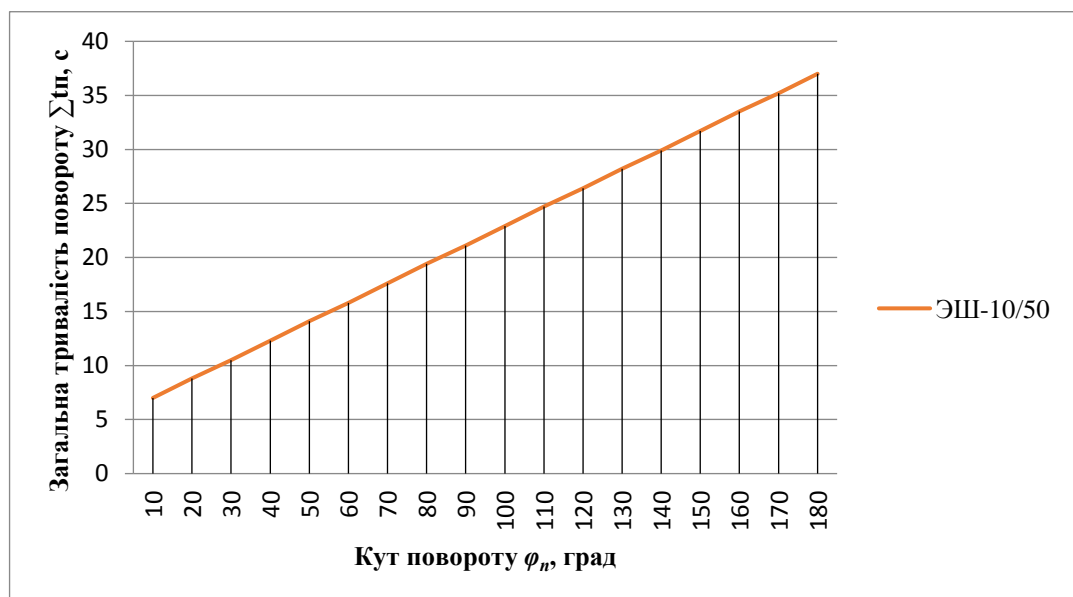


Рис. 2.19. Залежність тривалості повороту $\sum t_n$ від кута повороту φ_n для екскаватора ЕШ-10/50 (за формулою М. Г. Домбровського)

Із даних графіка видно, що час повороту $\sum t_n$ логічно збільшується із збільшенням кута повороту φ_n від $\sum t_{n.min1} = 7,0$ с, при $\varphi_n = 10^\circ$ до $\sum t_{n.max1} = 37,0$

с, с при $\varphi_n = 180^\circ$. Можна зробити висновок, що значення тривалості повороту є досить заниженими і не відповідають практичним даним, отриманим за допомогою хронометражу.

Визначимо тривалість повороту екскаватора емпіричною формулою, запропонованою акад. В.В. Ржевським [43].

$$t_{\Pi} = \left(0,5 + \frac{2,5}{E}\right) \cdot \sqrt[3]{\frac{(103E-300)^{5/3} \cdot \varphi_n^2}{E}}, \text{ с} \quad (2.57)$$

Розрахунок тривалості повороту екскаватора ЕШ-10/50 проведемо при зміні кута повороту від 10° до 180° (табл. 2.11) і побудуємо графік залежності $\sum t_n = f(\varphi_n)$ (рис. 2.20).

Таблиця 2.11

Тривалість повороту екскаватора-драглайна ЕШ-10/50 при різних кутах повороту

Кут повороту φ_n , град	Кут повороту φ_n , рад	Тривалість повороту в одну сторону t_n , с	Загальна тривалість повороту $\sum t_n$, с
10	0,175	4,2	8,5
20	0,349	6,7	13,5
30	0,524	8,8	17,6
40	0,698	10,7	21,4
50	0,873	12,4	24,8
60	1,047	14,0	28,0
70	1,222	15,5	31,0
80	1,396	16,9	33,9
90	1,571	18,3	36,7
100	1,745	19,7	39,3
110	1,920	21,0	41,9
120	2,094	22,2	44,4
130	2,269	23,4	46,8
140	2,443	24,6	49,2
150	2,618	25,8	51,5
160	2,793	26,9	53,8
170	2,967	28,0	56,0
180	3,142	29,1	58,2

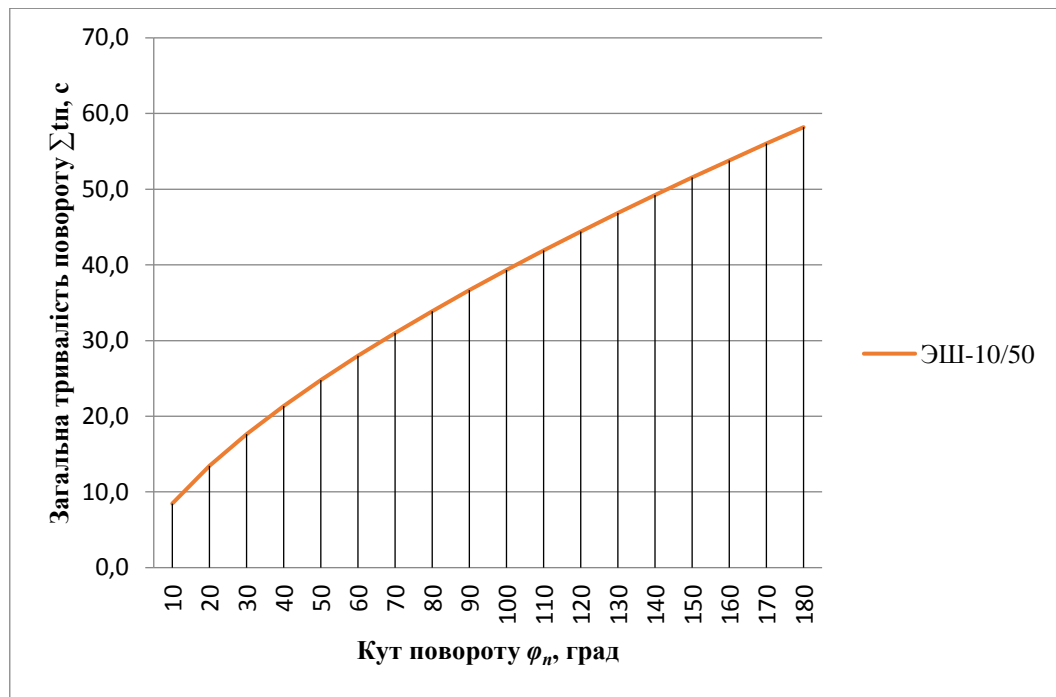


Рис. 2.20. Залежність тривалості повороту t_n від кута повороту φ_n для екскаватора ЕШ-10/50 (за формулою акад. В.В. Ржевського)

Як бачимо із даних графіка (рис. 2.20), час повороту гіперболічно зростає при збільшенні кута повороту від $\sum t_{n.min1} = 8,5$ с, при $\varphi_n = 10^\circ$ до $\sum t_{n.max1} = 58,2$ при $\varphi_n = 180^\circ$.

Для подальших розрахунків будемо використовувати формулу визначення тривалості повороту, запропоновану акад. В.В. Ржевським, оскільки розрахунки за цією формулою більш точно відповідають даним, отриманим на практиці за допомогою хронометражу. Наприклад, для ЕШ-14/50 при $\varphi_{n1} = 45^\circ$ за даними хронометражу $\sum t_{n1} = 22,91$ с, а за розрахунками формули В.В. Ржевського $\sum t_{n1} = 23,95$ с.

Висновки другого розділу

1. Розраховані та встановлені максимально та мінімально допустимі значення ширини заходки та висоти уступу за умовами безпеки. Вони склали: при розміщенні екскаватору на відстані $0,5A$ від верхньої бровки уступу, та

розвантаженні у автосамоскид на рівні установки драглайну: $A = 16,5 \div 72$ м, $H_y = 10 \div 21$ м; при розвантаженні нижче рівня стояння: $A = 20 \div 52$ м, $H_y = 10 \div 19$ м. При розташуванні драглайна на безпечній відстані B_1 від верхньої бровки уступу та розвантаженні в автосамоскид, що знаходиться на рівні установки драглайну: $A = 16,5 \div 48$ м, $H = 10 \div 21$ м; при розвантаженні нижче рівня стояння: $A = 20 \div 59$ м, $H = 10 \div 19$ м.

2. Розроблено алгоритм для визначення кутів повороту драглайна при його роботі в комплексі з автосамоскидами, який може використовуватись для всіх типів драглайнів, різниця тільки в технічних параметрах екскаваторів.

3. Отримано формули для визначення загальних кутів повороту екскаватора драглайна, що дозволило встановити залежності між кутом повороту драглайна та параметрами вибою. При цьому загальний кут повороту змінюється пропорційно зміні ширини заходки та висоти уступу, що розробляється.

4. Проведений хронометраж роботи екскаватора драглайна, дозволив визначити метод розрахунку тривалості повороту драглайна ЕШ-10/50, що дозволяє встановити вплив між продуктивністю драглайна та параметрами його вибою.

Основні результати дослідження опубліковані у [65,66,67,84,]

За результатами дослідження сформульоване перше наукове положення яке наведено у вступі.

3. ДОСЛІДЖЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СХЕМ РОБОТИ ЕКСКАВАТОРІВ ДРАГЛАЙНІВ ДЛЯ ДОСЯГНЕННЯ МАКСИМАЛЬНОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ

3.1. Встановлення залежностей продуктивності екскаваторів від параметрів вибою та місця установки автосамоскида.

Основним показником ефективності роботи екскаватора драглайна на кар'єрі, є його продуктивність. Для визначення теоретичної годинної продуктивності використовують класичну формулу:

$$Q_{e.T}^{год} = \frac{3600 \cdot E \cdot k_n}{k_p \cdot t_{ц}}, \text{ м}^3/\text{ГОДИН}, \quad (3.1)$$

де E – об'єм ковша екскаватора, м^3 ;

$t_{ц}$ - тривалість циклу роботи екскаватора, с;

k_n - коефіцієнт наповнення ковша екскаватора;

k_p - коефіцієнт розпушення гірничої маси в ковші екскаватора.

Як бачимо продуктивність екскаватора напряму залежить від його технічних характеристик, а саме об'єму ковша. Також важливим показником який впливає на продуктивність, є тривалість робочого циклу.

Проведені дослідження в розділі 2 дозволили встановити, що ширина заходки та висота уступу безпосередньо впливають на тривалість робочого циклу драглайна при його роботі в комплексі з автосамоскидами. Тому для можливої раціоналізації параметрів вибою драглайна важливим питанням, є встановлення залежності його продуктивності від ширини заходки та висоти уступу.

В умовах обводнених розсипних родовищ України, при застосуванні комплексів гірничотранспортного обладнання «драглайн+автосамоскид», найчастіше використовують екскаватори ЕШ-10/50 і ЕШ-6/45, та автосамоскиди з вантажопідйомністю до 60 т. Це обумовлено зрівнено не великою довжиною стріли драглайнів, яка дозволяє їм здійснювати розвантаження гірничої маси в автосамоскид, так застосування драглайнів с

більш довгою стрілою та більшим об'ємом ковша неможливе для навантаження автосамоскидів з ємністю кузова до 30 м³ за умови техніки безпеки. Використання більших за вантажопідйомністю автосамоскидів в умовах обводнених розсипних родовищ не можливе із-за низької несучої здатності обводнених порід розкриву. Тому у подальших розрахунках розглянемо екскаватори ЕШ-10/50 та ЕШ-6/45.

За отриманими формулами визначення кута повороту в розділі 2, тривалості повороту та даними хронометражу, визначимо годинну продуктивність драглайнів ЕШ-10/50 та ЕШ-6/45 при їх роботі в комплексі з автосамоскидам Cat-773e. Розрахунки проведемо для технологічних схем 1, 5, 9 та 13 згідно табл. 2.1. Розрахунок продуктивності екскаваторів для інших схем, які розглядаються у роботі, надано у додатку В.

Для встановлення залежності продуктивності драглайнів від ширини заходки, визначимо теоретичну годину продуктивність екскаваторів при сталій висоті уступу $H_y=10$ м. Значення ширини заходки визначаємо згідно безпечних параметрів для кожної із схем. Результати розрахунку занесемо до табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Теоретична годинна продуктивність екскаваторів ЕШ-10/50 та ЕШ-6/45 від змінної ширини заходки

Ширина заходки A , м	Продуктивність екскаватора ЕШ-10/50, м ³ /год				Продуктивність екскаватора ЕШ-6/45, м ³ /год			
	Розміщення автосамоскида на рівні стояння екскаватора		Розміщення автосамоскида нижче рівня стояння екскаватора		Розміщення автосамоскида на рівні стояння екскаватора		Розміщення автосамоскида нижче рівня стояння екскаватора	
	Схема №1	Схема №5	Схема №9	Схема №13	Схема №1	Схема №5	Схема №9	Схема №13
1	2	3	4	5	6	7	8	9
16,5	718,6	706,6	886,2	889,0	435,0	425,4	526,9	529,3
18	711,8	702,8	866,7	870,2	430,8	423,2	515,1	518,1
20	702,8	697,7	842,8	847,0	425,4	420,4	500,6	504,2
22	694,1	692,6	820,7	825,5	420,0	417,5	487,3	491,3
24	685,5	687,3	801,2	805,3	414,8	414,5	475,4	479,1
26	677,2	681,9	781,5	786,3	409,6	411,3	463,4	467,6

Продовження табл. 3.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
28	669,0	676,2	763,8	768,3	404,6	407,9	452,7	456,6
30	661,0	670,2	747,2	751,1	399,6	404,1	442,6	446,0
32	653,2	663,7	731,6	734,5	394,7	399,9	433,1	435,6
34	645,4	657,0	716,9	718,4	389,8	395,4	424,1	425,5
36	637,8	648,8	702,9	702,8	385,0	389,6	415,6	415,4
38	630,3	640,1	689,7	687,4	380,2	383,0	407,5	405,4
40	622,8	630,2	677,1	672,2	375,5	375,0	399,7	395,1
42	615,5	618,8	665,0	657,0	370,7	364,3	392,3	384,6
44	608,2	605,3	653,5	641,7	365,9	346,2	385,1	373,3
46	600,9	588,3	642,4	626,1	361,1		378,3	
48	593,6	563,2	631,8	609,8	356,2		371,6	
50	586,4		621,5		351,2		365,2	
52	579,1		611,6		346,0		359,0	
54	571,7		602,1		340,6		352,9	
56	564,3		592,9		334,9			
58	556,7		583,9		328,7			
60	548,8		575,2		321,5			
62	540,7		566,7		311,8			
64	532,2							
66	523,0							
68	512,7							
70	500,2							
72	473,2							

Для отриманих даних продуктивності екскаваторів драглайнів побудуємо графік залежності годинної продуктивності екскаватора від ширини заходки $Q_{e.t.}^{год} = f(A)$ (рис. 3.1).

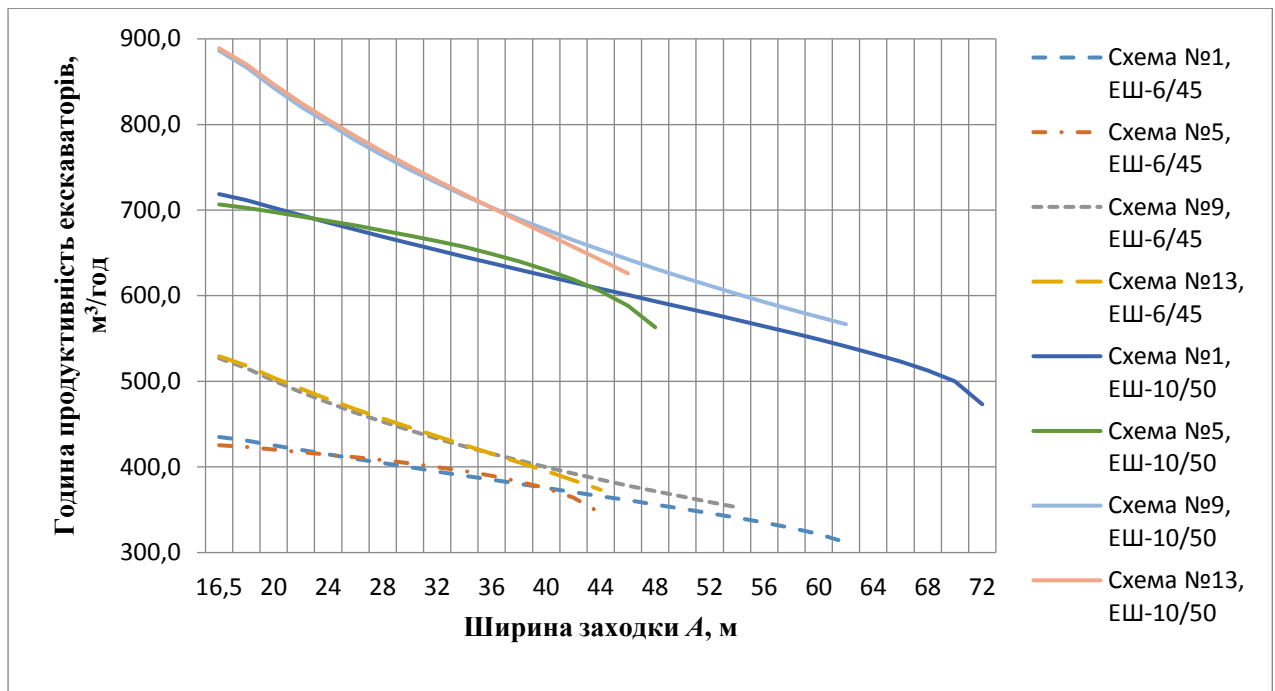


Рис. 3.1. Залежність годинної продуктивності ЕШ-10/50 та ЕШ-6/45 від ширини заходки

Як бачимо з кривих, зображених на графіку (рис. 3.1) для всіх схем теоретична годинна продуктивність драглайнів обернено пропорційна ширині заходки, тобто при збільшенні ширини заходки зменшується продуктивність. Так наприклад, для схеми №1 максимальна продуктивність ЕШ-10/50 $Q_{e.m.max1}^{год} = 718 \text{ м}^3/\text{год}$ досягається при мінімальній ширині заходки $A_{min1} = 16,5 \text{ м}$ та мінімальна продуктивність $Q_{e.m.min1}^{год} = 473 \text{ м}^3/\text{год}$ при $A_{max1} = 72 \text{ м}$. Це зумовлено тим, що при збільшенні ширини заходки також збільшується й час повороту, і відповідно тривалість робочого циклу екскаватора. Також, слід зауважити, що максимальну продуктивність екскаватори мають при роботі по схемі з розвантаженням в автосамоскид (схема №9 та №13), який знаходиться нижчі рівня установки драглайна. Це дає змогу стверджувати, що схеми з нижнім розташуванням автосамоскиду відносно екскаватору більш продуктивні.

Для подальшого дослідження, розрахуємо продуктивність драглайнів при сталій ширині заходки $A = 30 \text{ м}$, та змінній висоті уступу. Результати розрахунків занесемо до табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Теоретична годинна продуктивність екскаватора ЕШ-10/50 та ЕШ-6/45
від змінної висоти уступу

Висота уступу, м	Продуктивність екскаватора ЕШ-10/50, м ³ /год				Продуктивність екскаватора ЕШ-6/45, м ³ /год			
	Розміщення автосамоскида на рівні стояння екскаватору		Розміщення автосамоскида нижче рівня стояння екскаватору		Розміщення автосамоскида на рівні стояння екскаватору		Розміщення автосамоскида нижче рівня стояння екскаватору	
	Схема №1	Схема №5	Схема №9	Схема №13	Схема №1	Схема №5	Схема №9	Схема №13
10	661,0	670,2	747,2	751,1	380,5	385,0	423,4	426,8
11	655,5	658,7	739,2	745,0	377,1	377,7	417,3	422,5
12	649,9	647,2	730,7	738,7	373,7	370,5	410,7	418,0
13	644,2	635,8	721,5	732,1	370,3	363,4	403,4	413,2
14	638,6	624,5	711,6	725,1	366,8	356,3	395,3	408,2
15	632,8	613,4	700,9	717,9	363,3	349,3	386,0	402,9
16	627,0	602,4	689,0	710,2	359,7	342,4	375,2	397,2
17	621,2	591,6	675,9	702,2	356,1	335,6	361,8	391,2
18	615,3	581,0	661,0	693,6	352,5	329,1		
19	609,5	570,7	643,6	684,4	348,9	322,7		
20	603,5		622,4					
21	597,6		593,5					

З отриманих даних побудуємо графік залежності теоретичної продуктивності драглайнів від висоти уступу $Q_{e.t.}^{год} = f(H)$ (рис. 3.2), це дає змогу проаналізувати годинну продуктивність екскаваторів для різних схем їх роботи при змінній висоті уступу.

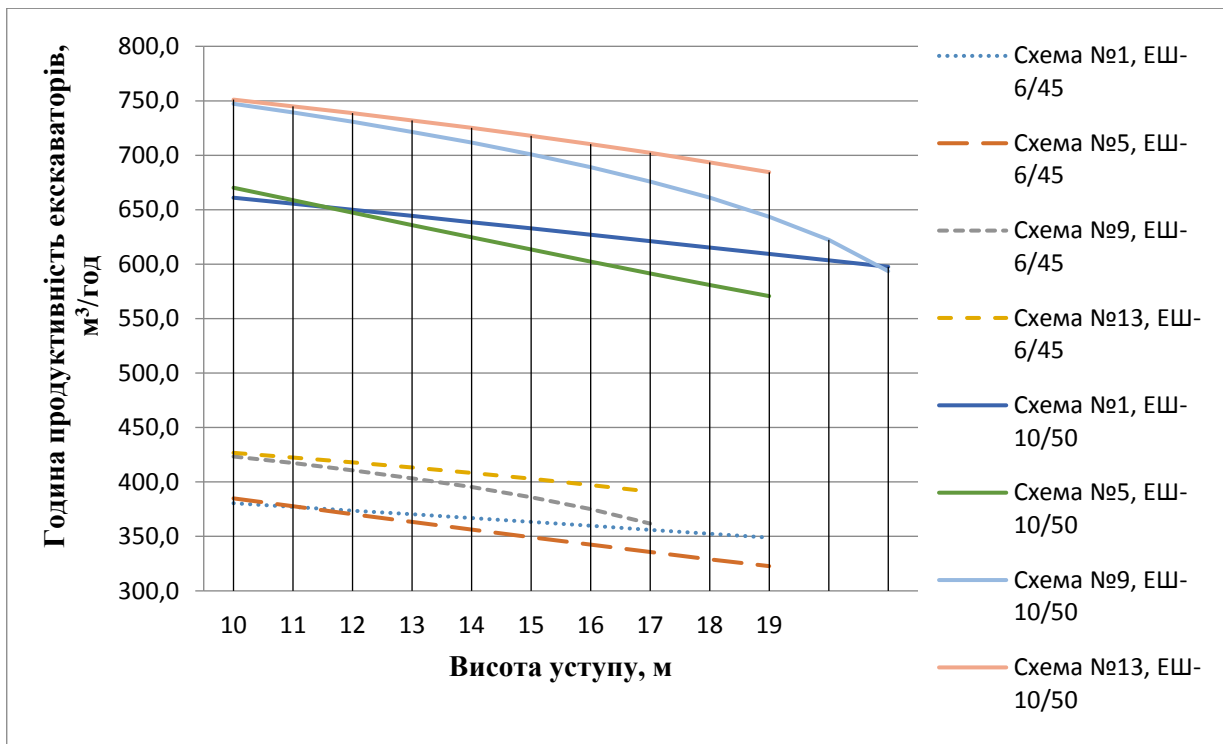


Рис. 3.2. Залежність годинної продуктивності ЕШ-10/50 та ЕШ-6/45 від висоти уступу

Аналізуючи дані зображені на графіку (рис. 3.2), можемо стверджувати, що годинна продуктивність екскаваторів для обраних схем обернено пропорційна висоті уступу. Тобто продуктивність драглайну падає при збільшенні висоти уступу, це зумовлено збільшенням кута повороту на розвантаження. Так наприклад, максимальна продуктивність драглайну ЕШ-10/50 $Q^{zod}_{e.m.max1} = 751 \text{ м}^3/\text{год}$ досягається при висоті уступу $H_y = 10 \text{ м}$ та його роботі з нижнім розвантаженням, а мінімальна $Q^{zod}_{e.m.min1} = 570 \text{ м}^3/\text{год}$ при $H_y = 19 \text{ м}$, та роботі з верхнім розвантаженням.

Встановлені залежності дозволяють стверджувати, що параметри вибою безпосередньо впливають на продуктивність драглайнів, а саме при збільшенні висоти уступу та ширини заходки теоретична продуктивність екскаваторів зменшується. Також слід зазначити, що місце розташування екскаваторів та місце установки автосамоскида, теж впливають на продуктивність драглайнів.

Розрахунок годинної продуктивності драглайнів дає змогу стверджувати, що годинна продуктивність ЕШ-10/50 на 42 % більше ніж у ЕШ-6/45, для кожної із схем. Також слід зауважити, що екскаватор ЕШ-10/50 має змогу відпрацьовувати уступи більшої висоти та більшої ширини заходки. Тому в подальших дослідженнях будемо розглядати драглайн ЕШ-10/50.

3.2. Оцінка впливу параметрів вибою на продуктивність драглайна за рахунок витрат часу на його переміщення у новий блок

Екскаватори драглайни не є маневреним гірничим обладнанням, це пов'язано з механізмом пересування, який представляє собою дві лижі для підняття екскаватору над поверхнею землі та подальшого його переміщення. Один цикл підняття, переміщення та опускання на поверхню ґрунту називається «крок». Теоретична швидкість пересування ЕШ-10/50 $v_e=200$ м/год. Тому для зниження часу простою екскаватора, на переміщення його у нову заходку, зазвичай розробка виконується повздовжніми заходками [64].

Переміщення драглайну уздовж фронту робіт зумовлено його поступовою розробкою робочих блоків. Переміщення із відпрацьованого блоку у новий супроводжується втратами часу продуктивної роботи драглайна на розробку гірських порід.

Розглянемо як параметри вибою впливають на втрати часу за рахунок переміщення екскаватора у новий блок.

Тривалість переміщення екскаваторів на новий робочий блок залежить від багатьох факторів, власне від швидкості руху драглайна, кваліфікації машиніста, довжини блоку. Також у тривалість переміщення входить час на планування майданчика на уступі, час на переніс, монтаж та підключення до мережі ЛЕП.

Тривалість переміщення екскаватора на новий робочий блок $t_{пер}$ визначимо за формулою:

$$t_{пер} = \frac{l_{бл}}{v_e} + t_{п.к} + t_{пл}, \text{ год}, \quad (3.2)$$

де $t_{н.к}$ – час, що витрачається на переключення мережі кабелів, год. За даними хронометражу приймаємо $t_{н.к} = 5 \text{ хв} \approx 0,08 \text{ год}$;

$t_{пл}$ – час, що витрачається на планування траси для переміщення драглайна, год;

- для розвантаження драглайна на рівні стояння довжину блоку можна визначити за виразом:

$$l_{бл.вр} = (R_{ч.мах} - r_б - H_y \cdot \text{ctg } \alpha_3 - a_2), \text{ м}; \quad (3.3)$$

- для нижнього розвантаження драглайна

$$l_{бл.нр} = (R_{р.мах} - r_б - H_y \cdot \text{ctg } \alpha_3 - a_2 - B_3), \text{ м} \quad (3.4)$$

Підставивши у формули (3.3, 3.4) значення $r_б$, a_2 та B_3 отримаємо:

- для розвантаження драглайна на рівні стояння

$$l_{бл.вр} = (R_{ч.мах} - H_y \cdot \text{ctg } \alpha_3 - 5,5), \text{ м} \quad (3.5)$$

- для нижнього розвантаження драглайна

$$l_{бл.вр} = (R_{р.мах} - H_y \cdot \text{ctg } \alpha_3 - 15,5), \text{ м} \quad (3.6)$$

Час на планування траси визначаємо за формулою:

$$t_{пл} = \frac{S_{пл} \cdot h_{ш}}{Q_{б.пл}}, \quad (3.7)$$

де $S_{пл}$ – площа планування, м^2 .

$$S_{пл} = L_{тр} \cdot B_{тр}, \quad (3.8)$$

де $L_{тр}$ – довжина траси, що планується, м. $L_{тр} = l_{бл}$.

$B_{тр}$ – ширина траси, що планується, м.

$$B_{тр} = b_l + 2, \quad (3.9)$$

де b_l – ширина крокуючого екскаватора по лижах, м. Для ЕШ-10/50 із технічної характеристики $b_l = 13,72 \text{ м}$.

$$B_{тр} = 13,72 + 2 \approx 16 \text{ м},$$

$h_{ш}$ – потужність шару породи, що підлягає видаленню, м. Приймаємо $h_{ш} = 0,3$ м.

$Q_{б.пл}$ – продуктивність бульдозера при плануванні траси, м³/год. На Мотронівському ГЗК застосовують бульдозери на гусеничному ході Cat D8R. Приймаємо його продуктивність за технічною характеристикою $Q_{б.пл} = 300$ м³/год.

Тоді

$$t_{пл.вр} = \frac{(R_{ч.мах} - H_y \cdot \text{ctg } \alpha_3 - 5,5) \cdot 16 \cdot 0,3}{300} = 0,016 \cdot (R_{ч.мах} - H_y \cdot \text{ctg } \alpha_3 - 5,5), \text{ год} \quad (3.10)$$

$$t_{пл.нр} = \frac{(R_{р.мах} - H_y \cdot \text{ctg } \alpha_3 - 15,5) \cdot 16 \cdot 0,3}{300} = 0,016 \cdot (R_{р.мах} - H_y \cdot \text{ctg } \alpha_3 - 15,5), \text{ год} \quad (3.11)$$

Перетворимо формулу (3.2) з врахуванням 3.3-3.11.

$$\begin{aligned} t_{пер.вр} &= \frac{(R_{ч.мах} - H_y \cdot \text{ctg } \alpha_3 - 5,5) \cdot 10^{-3}}{0,2} + 0,08 + 0,016 \cdot (R_{ч.мах} - H_y \cdot \text{ctg } \alpha_3 - 5,5) = \\ &= 0,005 \cdot (R_{ч.мах} - H_y \cdot \text{ctg } \alpha_3 - 5,5) + 0,016 \cdot (R_{ч.мах} - H_y \cdot \text{ctg } \alpha_3 - 5,5) + \\ &+ 0,08 = 0,021 \cdot (R_{ч.мах} - H_y \cdot \text{ctg } \alpha_3 - 5,5) + 0,08, \text{ год} \end{aligned} \quad (3.12)$$

Аналогічно

$$t_{пер.нр} = 0,021 \cdot (R_{р.мах} - H_y \cdot \text{ctg } \alpha_3 - 15,5) + 0,08, \text{ год} \quad (3.13)$$

Число переміщень драглайнів за годину визначається за виразом:

$$n_{п} = \frac{L_{з.р}}{l_{бл}}, \text{ переміщень} \quad (3.14)$$

де $L_{з.р}$ – довжина заходки, що відробляється за годину, м.

$$L_{з.р} = \frac{Q_{е.т.}^{\text{год}}}{A \cdot H}, \quad (3.15)$$

Тоді:

$$n_{п.вр} = \frac{Q_{е.т.}^{\text{год}}}{A \cdot H \cdot (R_{ч} - 2,145H - 5,5)}; \quad (3.16)$$

$$n_{п.нр} = \frac{Q_{е.т.}^{\text{год}}}{A \cdot H \cdot (R_{р} - 2,145H - 15,5)}; \quad (3.17)$$

Звідси втрату часу, за рахунок переміщення екскаватора драглайна у новий блок, розрахуємо за формулою:

$$T_{\text{б}} = \frac{Q_{\text{е.т.}}^{\text{год}} \cdot t_{\text{пер.вр}}}{A \cdot H \cdot (R_{\text{ч.мах}} - H_y \cdot \text{ctg } \alpha_3 - 5,5)}, \text{ год} \quad (3.18)$$

Перетворимо формулу (3.18) замінивши значення $t_{\text{пер.вр}}$, тоді отримаємо втрати часу для верхнього розвантаження:

$$T_{\text{б.вр}} = \frac{Q_{\text{е.т.}}^{\text{год}} \cdot (0,021 \cdot (R_{\text{ч.мах}} - H_y \cdot \text{ctg } \alpha_3 - 5,5) + 0,08)}{A \cdot H \cdot (R_{\text{ч.мах}} - H_y \cdot \text{ctg } \alpha_3 - 5,5)}, \text{ год} \quad (3.19)$$

для нижнього розвантаження:

$$T_{\text{б.нр}} = \frac{Q_{\text{е.т.}}^{\text{год}} \cdot (0,021 \cdot (R_{\text{р.мах}} - H_y \cdot \text{ctg } \alpha_3 - 15,5) + 0,08)}{A \cdot H \cdot (R_{\text{р.мах}} - H_y \cdot \text{ctg } \alpha_3 - 15,5)}, \text{ год} \quad (3.20)$$

Величина невикористаних втрат часу безпосередньо впливає на продуктивність драглайнів. Тому розрахуємо втрати годинної продуктивності драглайна за рахунок переміщення його у новий блок. Для розрахунку використовуємо формулу:

$$\Delta Q_{\text{е.т.}}^{\text{год}} = Q_{\text{е.т.}}^{\text{год}} \cdot T_{\text{б}}, \text{ м}^3/\text{рік}, \quad (3.21)$$

Для встановлення впливу параметрів вибою на втрати продуктивності за рахунок переміщення у новий блок, необхідно розрахувати ці втрати при змінній ширині заходки та висоті уступу.

Теоретичну продуктивність драглайну розрахуємо за формулою (3.1), однак не будемо враховувати кут повороту, для більш точного відображення впливу параметрів вибою на втрати продуктивності. Значення тривалості робочого циклу для ЕШ-10/50 використаємо з технічної характеристики. Розрахунок виконаємо для двох варіантів роботи драглайну в комплексі з автосамоскидами, а саме для верхнього та нижнього розвантаження.

Визначимо втрати продуктивності екскаватора ЕШ-10/50 при змінній ширині заходки та прийнятій висоті уступу $H_y = 10$ м. Результати розрахунків представимо у табл. 3.3.

Таблиця 3.3

Втрати часу та годинної продуктивності ЕШ-10/50 при змінній ширини заходки та переміщенні екскаватора у новий блок

Ширина заходки <i>A</i> , м	Втрата часу за рахунок переміщення у новий блок, год		Втрата продуктивності за рахунок переміщення у новий блок, м ³ /год	
	Розміщення автосамоскида на рівні стояння екскаватора	Розміщення автосамоскида нижче рівня стояння екскаватора	Розміщення автосамоскида на рівні стояння екскаватора	Розміщення автосамоскида нижче рівня стояння екскаватора
16,5	0,1019	0,1097	71,3	76,8
18	0,0934	0,1005	65,4	70,4
20	0,0841	0,0905	58,8	63,3
22	0,0764	0,0822	53,5	57,6
24	0,0701	0,0754	49,0	52,8
26	0,0647	0,0696	45,3	48,7
28	0,0600	0,0646	42,0	45,2
30	0,0560	0,0603	39,2	42,2
32	0,0525	0,0565	36,8	39,6
34	0,0495	0,0532	34,6	37,3
36	0,0467	0,0503	32,7	35,2
38	0,0442	0,0476	31,0	33,3
40	0,0420	0,0452	29,4	31,7
42	0,0400	0,0431	28,0	30,2
44	0,0382	0,0411	26,7	28,8
46	0,0366	0,0393	25,6	27,5
48	0,0350	0,0377	24,5	26,4
50	0,0336	0,0362	23,5	25,3
52	0,0323	0,0348	22,6	24,4
54	0,0311	0,0335	21,8	23,5
56	0,0300	0,0323	21,0	22,6
58	0,0290	0,0312	20,3	21,8
60	0,0280	0,0302	19,6	21,1
62	0,0271	0,0292	19,0	20,4
64	0,0263		18,4	
66	0,0255		17,8	
68	0,0247		17,3	
70	0,0240		16,8	
72	0,0234		16,3	

Для наглядного відображення впливу ширини заходки на втрати продуктивності драглайна за рахунок переміщення у новий блок побудуємо графіки залежності $\Delta Q^{200}_{e.m} = f(A)$ (рис. 3.3).

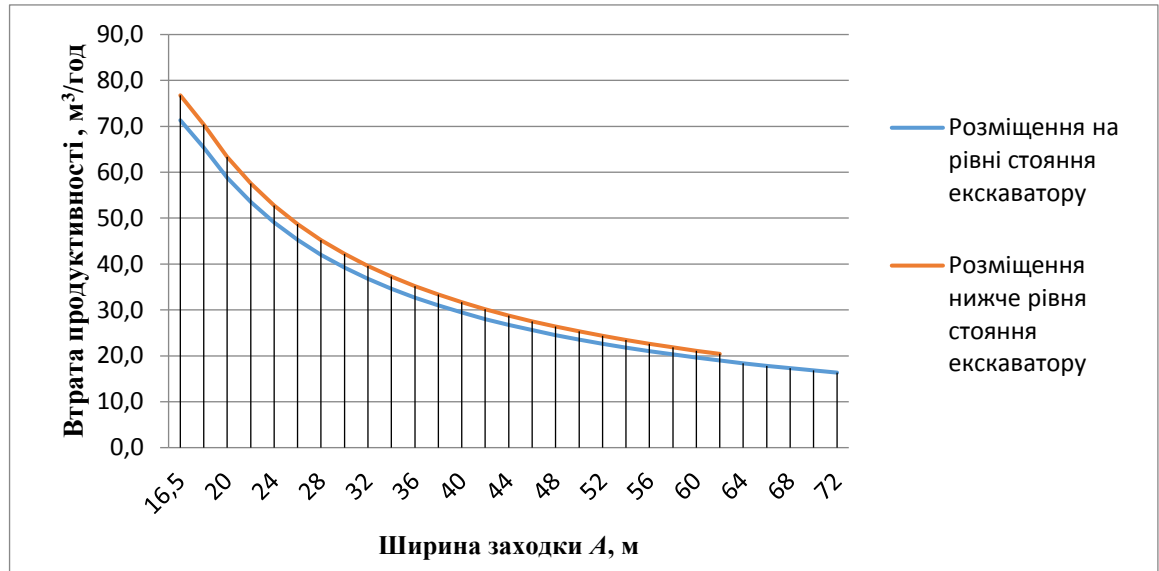


Рис. 3.3. Залежність втрат продуктивності від ширини заходки та переміщенні екскаваторів у новий блок

З кривих зображених на графіку (рис. 3.3) ми бачимо, що втрати годинної продуктивності гіперболічно зменшується при збільшенні ширини заходки, від $\Delta Q^{200}_{e.m.max1} = 71,3 \text{ м}^3/\text{год}$ при $A_{min1} = 16,5 \text{ м}$ до $\Delta Q^{200}_{e.m.min1} = 16,3 \text{ м}^3/\text{год}$ при $A_{max1} = 72 \text{ м}$ для розміщення на рівні стояння екскаватору, та $\Delta Q^{200}_{e.m.max2} = 76,8 \text{ м}^3/\text{год}$ при $A_{min2} = 16,5 \text{ м}$, до $\Delta Q^{200}_{e.m.min2} = 20,4 \text{ м}^3/\text{год}$ при, $A_{max2} = 62 \text{ м}$ для розміщення нижче рівня стояння екскаватору. Проведені дослідження вказують на те, що при збільшенні ширини заходки, також збільшуються об'єм блоку, але зменшується кількість блоків, що в свою чергу сприяє зменшенню кількості переміщень драглайна та веде до зменшення втрат продуктивності екскаватора.

Аналогічно виконуємо розрахунок втрат часу та продуктивності при змінній висоті уступу та переміщенні екскаваторів у новий блок. Висоту уступу будемо змінювати від $H_{min} = 10 \text{ м}$ до $H_{max} = 21 \text{ м}$, при незмінній ширині заходки $A = 30 \text{ м}$. Результати розрахунків представимо у табл. 3.4. Також

побудуємо залежність втрат продуктивності від змінної висоти уступу $\Delta Q_{e.m}^{zod} = f(H)$ (рис. 3.4).

Таблиця 3.4

Втрати часу та продуктивності драглайнів при змінній висоті уступу та переміщенні екскаваторів у новий блок

Висота уступу, м	Втрата часу за рахунок переміщення у новий блок, год		Втрата продуктивності за рахунок переміщення у новий блок, м ³ /год	
	Розміщення автосамоскида на рівні стояння екскаватору	Розміщення автосамоскида нижче рівня стояння екскаватору	Розміщення автосамоскида на рівні стояння екскаватору	Розміщення автосамоскида нижче рівня стояння екскаватору
10	0,0560	0,0603	39,23	42,22
11	0,0514	0,0559	35,95	39,16
12	0,0475	0,0525	33,26	36,77
13	0,0443	0,0500	31,02	34,98
14	0,0416	0,0482	29,14	33,75
15	0,0394	0,0473	27,58	33,12
16	0,0375	0,0475	26,27	33,28
17	0,0360	0,0496	25,20	34,69
18	0,0348	0,0553	24,36	38,71
19	0,0339	0,0727	23,74	50,90
20	0,0334		23,38	
21	0,0333		23,33	

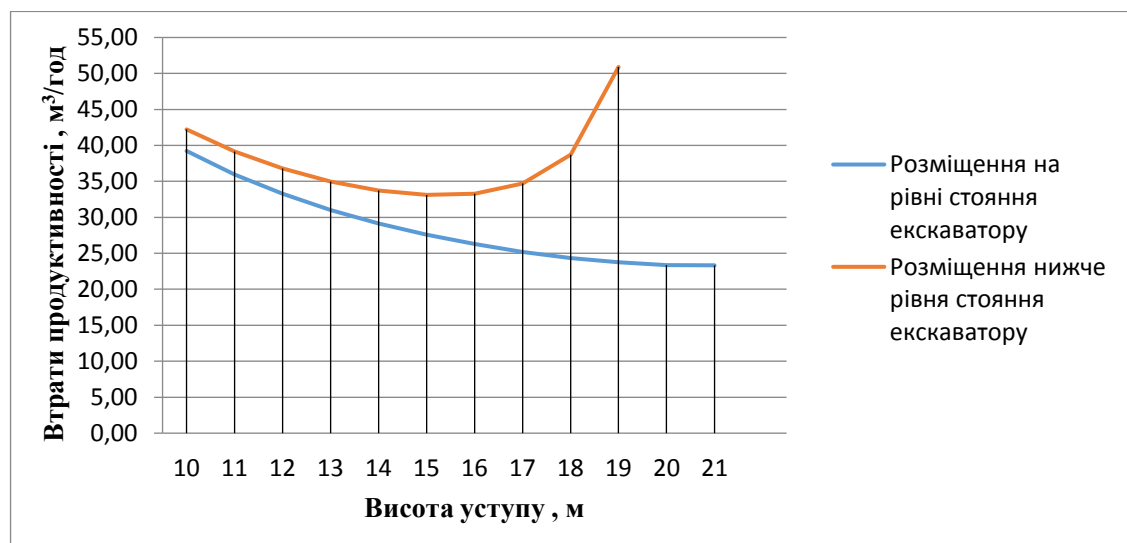


Рис. 3.4. Залежність втрат продуктивності екскаватора від висоти уступу та переміщенні екскаваторів у новий блок

Із даних графіку (рис. 3.4) ми бачимо, що втрати годинної продуктивності при верхньому розвантаженні в автосамоскид змінюються гіперболічно відносно висоти уступу, тобто при збільшенні висоти уступу втрати продуктивності зменшуються від $\Delta Q^{год}_{e.m.max1} = 39,23 \text{ м}^3/\text{год}$ при $H_{min} = 10 \text{ м}$ до $\Delta Q^{год}_{e.m.min1} = 23,33 \text{ м}^3/\text{год}$ при $H_{max} = 21 \text{ м}$. Однак при нижньому розвантаженні маємо параболічну залежність втрат продуктивності від висоти уступу, так мінімальне значення втрат продуктивності $\Delta Q^{год}_{e.m.min2} = 33,12 \text{ м}^3/\text{год}$ досягається при $H_2 = 15 \text{ м}$.

Проведені дослідження дозволили встановити, що ширина заходки та висота уступу значно впливають на втрати часу на переміщення у новий блок та продуктивність екскаватора. У подальших розрахунках будемо використовувати втрати часу на переміщення як один з факторів для визначення оптимальних параметрів вибою.

3.3. Оцінка впливу параметрів вибою на продуктивність драглайна за рахунок витрат часу на заукоску уступу

При роботі драглайну по схемі з нижнім черпанням, машиністу необхідно виконувати заукоску уступу, для формування стійкого укусу уступу [64].

Час, що витрачається на заукоску за годину, визначимо за формулою:

$$T_3 = S_3 \cdot t_3, \text{ год} \quad (3.22)$$

де t_3 – тривалість заукоски 1 м^2 уступу, $\text{год}/\text{м}^2$. Приймаємо $t_3 = 0,001 \text{ год}/\text{м}^2$;

S_3 – сумарна площа укусів уступів, які є об'єктом заукоски на протязі години, м^2 .

$$S_3 = \frac{H}{\sin \alpha_y} \cdot l_{\text{год}}, \text{ м}^2 \quad (3.23)$$

де $l_{\text{год}}$ – довжина блоку який екскаватор відпрацює за годину, м .

$$l_{\text{год}} = \frac{Q_{e.t.}^{\text{год}}}{A \cdot H}, \text{ м} \quad (3.24)$$

Підставивши у формулу (3.21) значення $l_{\text{год}}$, отримаємо:

$$S_3 = \frac{H}{\sin \alpha_y} \cdot \frac{Q_{e.T}^{\text{год}}}{A \cdot H} = \frac{Q_{e.T}^{\text{год}}}{A \cdot \sin \alpha_y}, \text{ м}^2 \quad (3.25)$$

Перетворюємо формулу (3.22) з урахуванням значення S_3 із формули (3.25), отримуємо:

$$T_3 = \frac{Q_{e.T}^{\text{год}} \cdot t_3}{A \cdot \sin \alpha_y}, \text{ год} \quad (3.26)$$

Аналогічно витратам на переміщення екскаватора, визначаємо величину втрат годинної продуктивності драглайнів котра складає:

$$\Delta Q_{e.T}^{\text{год}} = Q_{e.T}^{\text{год}} \cdot T_3, \text{ м}^3/\text{год} \quad (3.27)$$

Аналізуючи формулу (3.26), можна стверджувати що висота уступу не впливає на втрати часу на заукоску, але вона впливає на саму продуктивність. Отже будемо розглядати вплив висоти уступу на втрати продуктивності. Також безпосередньо місце розташування автосамоскида не впливає на процес заукоски уступу, однак воно впливає на загальну продуктивність драглайна. Тому для дослідження впливу параметрів вибою на втрати продуктивності за рахунок заукоски, теоретичну продуктивність ЕШ-10/50 візьмемо з табл. 3.1 та 3.2.

Розрахуємо втрати часу та продуктивність драглайну ЕШ-10/50, за рахунок витрачання часу на заукоску уступів при зміні ширини заходки. Розрахунок будемо вести за формулами (3.24) та (3.25). Результати занесемо у табл. 3.5 і покажемо залежність $\Delta Q_{e.T}^{\text{год}} = f(A)$ на графіку (рис. 3.5).

Таблиця 3.4

Втрати часу та продуктивності драглайна при зміні ширини заходки та витрачанні часу на заукоску

Ширина заходки A , м	Втрата часу за рахунок заукоски уступу, год		Втрата продуктивності за рахунок заукоски уступу м ³ /год	
	Розміщення автосамоскида на рівні стояння екскаватора	Розміщення автосамоскида нижче рівня стояння екскаватора	Розміщення автосамоскида на рівні стояння екскаватора	Розміщення автосамоскида нижче рівня стояння екскаватора
1	2	3	4	5
16,5	0,0790	0,0974	56,8	86,3

Продовження табл. 3.4

1	2	3	4	5
18	0,0717	0,0873	51,0	75,7
20	0,0637	0,0764	44,8	64,4
22	0,0572	0,0677	39,7	55,5
24	0,0518	0,0605	35,5	48,5
26	0,0472	0,0545	32,0	42,6
28	0,0433	0,0495	29,0	37,8
30	0,0400	0,0452	26,4	33,8
32	0,0370	0,0415	24,2	30,3
34	0,0344	0,0382	22,2	27,4
36	0,0321	0,0354	20,5	24,9
38	0,0301	0,0329	19,0	22,7
40	0,0282	0,0307	17,6	20,8
42	0,0266	0,0287	16,4	19,1
44	0,0251	0,0269	15,2	17,6
46	0,0237	0,0253	14,2	16,3
48	0,0224	0,0239	13,3	15,1
50	0,0213	0,0225	12,5	14,0
52	0,0202	0,0213	11,7	13,0
54	0,0192	0,0202	11,0	12,2
56	0,0183	0,0192	10,3	11,4
58	0,0174	0,0183	9,7	10,7
60	0,0166	0,0174	9,1	10,0
62	0,0158	0,0166	8,6	9,4
64	0,0151		8,0	
66	0,0144		7,5	
68	0,0137		7,0	
70	0,0130		6,5	
72	0,0119		5,6	

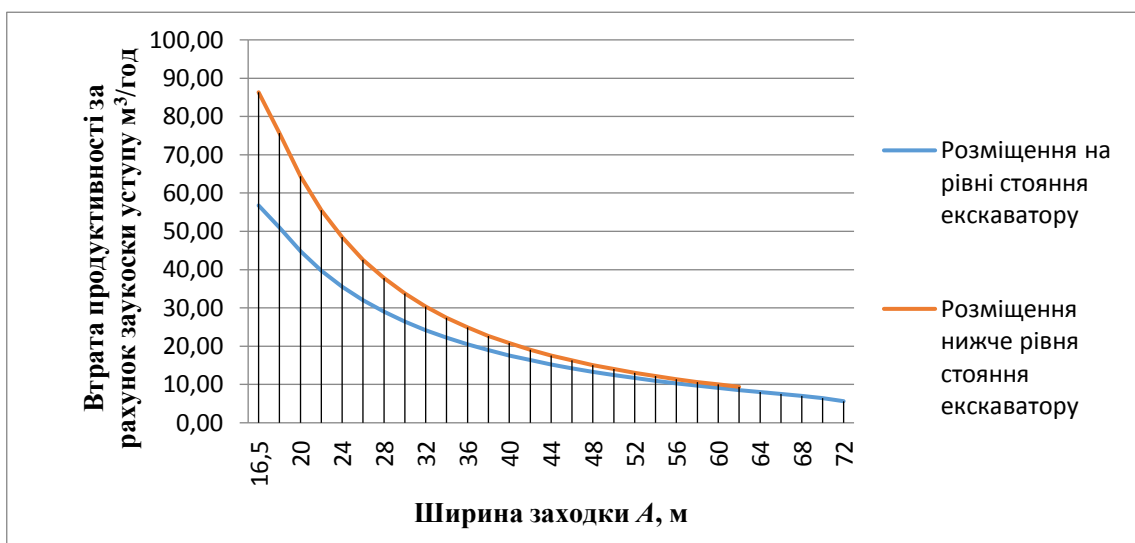


Рис. 3.5. Залежність втрат часу від змінної ширини заходки

Із кривих зображених на графіку (рис. 3.5) ми бачимо, що втрати годинної продуктивності гіперболічно зменшується при збільшенні ширини заходки, на 90% для верхнього та на 89% для нижнього розвантаження відповідно. Це дає змогу стверджувати, що при збільшенні ширини заходки, час котрий витрачався на закуску уступу, зменшується тим самим підвищується продуктивність драглайна.

Розрахуємо втрати часу на закуску уступів та продуктивність драглайна при змінній висоті уступу. Розрахунок ведемо прийнявши, що $H_{min} = 10$ м до $H_{max} = 21$ м при незмінній ширині заходки $A = 30$ м. Результати розрахунків представимо у табл. 3.6.

Таблиця 3.6

Втрати часу на закуску та продуктивність драглайна при змінній висоті уступу

Висота уступу, м	Втрата часу за рахунок закуски уступу, год		Втрата продуктивності за рахунок закуски уступу м ³ /год	
	Розміщення на автосамоскида рівні стояння екскаватора	Розміщення автосамоскида нижче рівня стояння екскаватора	Розміщення автосамоскида на рівні стояння екскаватора	Розміщення автосамоскида нижче рівня стояння екскаватора
10	0,0400	0,0452	26,4	33,8
11	0,0396	0,0447	26,0	33,0
12	0,0393	0,0442	25,5	32,3
13	0,0389	0,0436	25,1	31,5
14	0,0386	0,0430	24,6	30,6
15	0,0383	0,0424	24,2	29,7
16	0,0379	0,0417	23,8	28,7
17	0,0376	0,0409	23,3	27,6
18	0,0372	0,0400	22,9	26,4
19	0,0368	0,0389	22,5	25,0
20	0,0365	0,0376	22,0	23,4
21	0,0361	0,0359	21,6	21,3

За отриманими даними побудуємо графік залежності втрат продуктивності за рахунок витрачання часу на закуску уступу від його висоти $\Delta Q_{e,r}^{год} = f(H)$ (рис. 3.6).

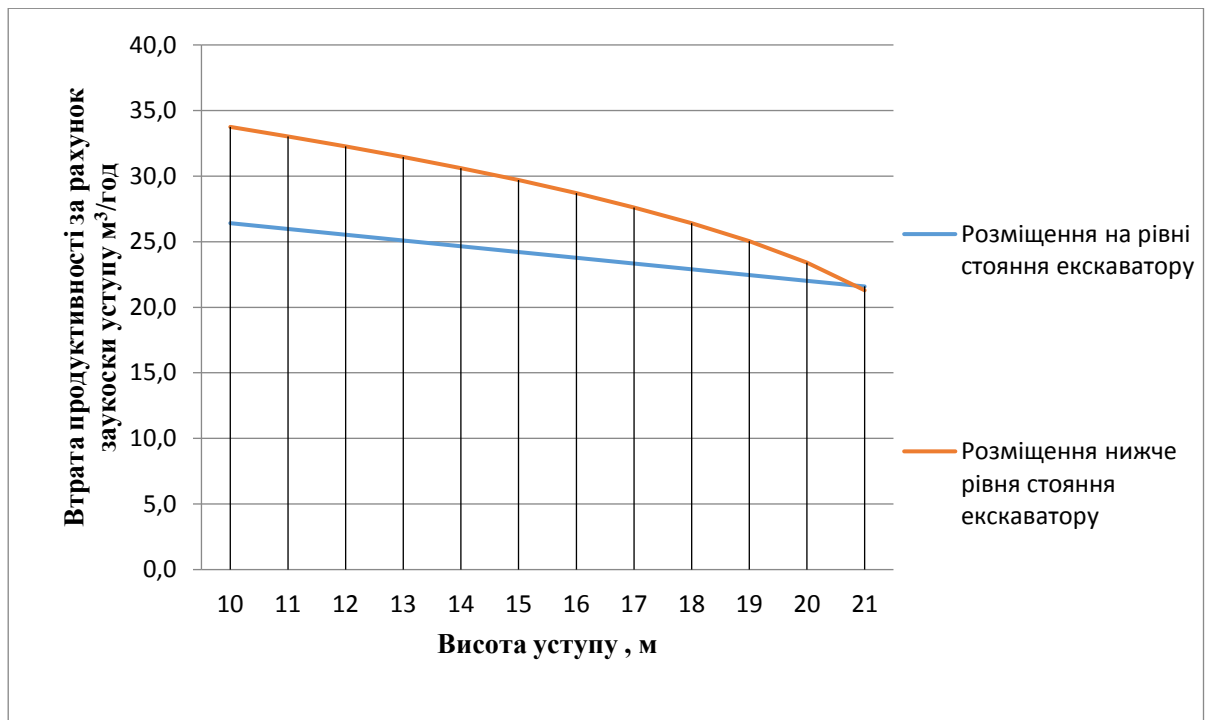


Рис. 3.6. Залежність втрат годинної продуктивності при заукосці уступу від його висоти

Аналізуючи дані графіку (рис.3.6) ми бачимо, що втрати годинної продуктивності зменшується при збільшенні висоти уступу, для верхнього і нижнього розвантаження відповідно на 18% та 37%.

Виконавши аналіз впливу параметрів вибою на втрати часу при заукосці уступу та продуктивності, можна стверджувати, що значний вплив на втрати має ширина заходки, і при її збільшенні до $A = 72$ м та $A = 64$ м відповідно для верхнього і нижнього розвантаження, втрати зменшуються до значень $\Delta Q^{zod}_{e.m.min1} = 5,6 \text{ м}^3/\text{год}$ та $\Delta Q^{zod}_{e.m.min2} = 9,4 \text{ м}^3/\text{год}$. Висота уступу в незначній мірі впливає на втрати часу, її вплив відзначається у самій продуктивності екскаватора, однак вплив існує тому необхідно визначити його значення. На основі аналізу даних проведених досліджень приймаємо втрати часу на заукоску уступу як ще один фактор, для визначення оптимальних параметрів заходки.

3.4. Оптимізація параметрів вибою драглайна за умов його максимальної продуктивності

За рахунок проведених досліджень нами встановлено, що значний вплив на продуктивність драглайна створюють три основних фактори: кут повороту, втрати часу на переміщення у новий блок, та втрати часу на заукосу уступу. При цьому були встановлені залежності кожного з трьох факторів від зміни параметрів заходки (висоти уступу та ширини заходки). Для визначення оптимальних значень висоти уступу та ширини заходки врахуємо вплив трьох факторів на продуктивність драглайна комплексно, та визначимо при яких значення параметрів вибою досягається максимальна продуктивність драглайна при його роботі з автосамоскидами.

Визначимо годинну фактичну продуктивність екскаватора драглайна з впливом кута повороту, втрат часу на переміщення у новий блок, та втрат часу на заукосу уступу. Для цього пропонується формула:

$$Q_{e.ф.}^{год} = Q_{e.т.}^{год} (1 - T_6 - T_3), \text{ м}^3/\text{год} \quad (3.28)$$

Ширина заходки та висота уступу будуть впливати на теоретичну продуктивність драглайнів через тривалість повороту. Щоб чітко виразити залежність $Q_{e.ф.}^{год} = f(A)$ та $Q_{e.ф.}^{год} = f(H)$, послідовно підставимо у формулу (3.28) значення $Q_{e.т.}^{год}$, T_6 та T_3 . Для схеми з розташуванням автосамоскида на рівні стояння екскаватора отримаємо:

$$Q_{e.ф.}^{год} = \frac{3600 \cdot E \cdot k_H}{k_p(t_{сум} + 2 \cdot t_{п})} \left(1 - \frac{3600 \cdot E \cdot k_H}{k_p(t_{сум} + 2 \cdot t_{п})} \cdot \frac{t_6}{A \cdot H \cdot (R_ч - H \cdot ctg \alpha_y - 5,5)} - \frac{3600 \cdot E \cdot k_H}{k_p(t_{сум} + 2 \cdot t_{п})} \cdot \frac{t_3}{A \cdot \sin \alpha_y} \right), \text{ м}^3/\text{год} \quad (3.29)$$

Підставимо до формули визначення $t_{п}$ (2.55), кут повороту $\varphi_{п}$ при розташуванні драглайна на відстані $0,5A$ від верхньої бровки уступу (2.20), отримаємо:

$$t_{\Pi} = \left(0,5 + \frac{2,5}{E}\right) \cdot \sqrt[3]{\frac{(103E-300)^{5/3}}{E} \cdot \left(\operatorname{arctg}_{R_{q,max}-0,5 \cdot H \cdot \operatorname{ctg} \gamma_3} \frac{0,5 \cdot H \cdot \operatorname{ctg} \gamma}{R_{q,max}} + \operatorname{arcsin} \frac{0,5 \cdot A + z + b_B + 0,5 \cdot b_a}{R_{q,max}}\right)^2}, \quad (3.30)$$

Для зменшення та спрощення формул введемо *const*, які не залежать від ширини заходки - *A* та висоти уступа - *H*.

$$d = \frac{3600 \cdot E \cdot k_H}{k_p}, \quad (3.31)$$

$$v = \frac{(103 \cdot E - E)}{E}, \quad (3.32)$$

$$c = 0,5 + \frac{2,5}{E}, \quad (3.33)$$

Значення *const* для визначення продуктивності драглайна ЕШ-10/50 будуть дорівнювати: $d_1=16615,4$, $d_2=27692,3$; $v_1=2469,2$, $v_2=5918,4$; $c_1=0,917$, $c_2=0,75$.

Підставимо формулу (3.30) у (3.29), з урахуванням всіх *const*, отримаємо кінцеву формулу для визначення фактичної продуктивності драглайна при його роботі в комплексі з автосамоскидами по схемі з верхнім розвантаженням та розташуванні екскаватора на відстані $0,5A$ від верхньої бровки уступу:

$$Q_{e.f.}^{год} = \frac{d}{t_{cym} + 2 \cdot c \cdot \sqrt[3]{v \cdot \left(\operatorname{arctg}_{R_{q,max}-0,5 \cdot H \cdot \operatorname{ctg} \gamma_3} \frac{0,5 \cdot H \cdot \operatorname{ctg} \gamma}{R_{q,max}} + \operatorname{arcsin} \frac{0,5 \cdot A + z + b_B + 0,5 \cdot b_a}{R_{q,max}}\right)^2}} \left(1 - \frac{d}{t_{cym} + 2 \cdot c \cdot \sqrt[3]{v \cdot \left(\operatorname{arctg}_{R_{q,max}-0,5 \cdot H \cdot \operatorname{ctg} \gamma_3} \frac{0,5 \cdot H \cdot \operatorname{ctg} \gamma}{R_{q,max}} + \operatorname{arcsin} \frac{0,5 \cdot A + z + b_B + 0,5 \cdot b_a}{R_{q,max}}\right)^2}} \cdot t_6 - \frac{d}{A \cdot H \cdot (R_{q,max} - H \cdot \operatorname{ctg} \alpha_y - 5,5)} \cdot t_3 - \frac{d}{t_{cym} + 2 \cdot c \cdot \sqrt[3]{v \cdot \left(\operatorname{arctg}_{R_{q,max}-0,5 \cdot H \cdot \operatorname{ctg} \gamma_3} \frac{0,5 \cdot H \cdot \operatorname{ctg} \gamma}{R_{q,max}} + \operatorname{arcsin} \frac{0,5 \cdot A + z + b_B + 0,5 \cdot b_a}{R_{q,max}}\right)^2}} \cdot t_3 \right) \cdot A \cdot \sin \alpha_y, \quad M^3/20d \quad (3.34)$$

Аналогічно формулі (3.34), введемо формули визначення технічної годинної продуктивності драглайна для інших можливих схем роботи драглайна в комплексі з автосамоскидами.

1. Положення автосамоскиду на рівні стояння екскаватора:

- розташування драглайна на безпечній відстані B_1 від верхньої бровки уступу:

$$Q_{e.f.}^{год} = \frac{d}{t_{сум} + 2 \cdot c \cdot \sqrt[3]{v \cdot \left(\arcsin \frac{A - r_6 - a + b_B + 0,5 \cdot b_a}{R_{ч,max}} + \arctg \frac{|0,5A - H_Y \cdot ctg \alpha_Y - r_6 - a + 0,5H_Y \cdot ctg \alpha|}{R_{ч,max} - 0,5H_Y \cdot ctg \alpha_3} \right)^2}} (1 -$$

$$\frac{d}{t_{сум} + 2 \cdot c \cdot \sqrt[3]{v \cdot \left(\arcsin \frac{A - r_6 - a + b_B + 0,5 \cdot b_a}{R_{ч,max}} + \arctg \frac{|0,5A - H_Y \cdot ctg \alpha_Y - r_6 - a + 0,5H_Y \cdot ctg \alpha|}{R_{ч,max} - 0,5H_Y \cdot ctg \alpha_3} \right)^2}} \cdot (0,021 \cdot (R_{ч,max} - H_Y \cdot ctg \alpha_3 - 5,5) + 0,08)$$

$$\frac{d}{A \cdot H \cdot (R_{ч} - H \cdot ctg \alpha_Y - 5,5)}$$

$$\frac{d}{t_{сум} + 2 \cdot c \cdot \sqrt[3]{v \cdot \left(\arcsin \frac{A - r_6 - a + b_B + 0,5 \cdot b_a}{R_{ч,max}} + \arctg \frac{|0,5A - H_Y \cdot ctg \alpha_Y - r_6 - a + 0,5H_Y \cdot ctg \alpha|}{R_{ч,max} - 0,5H_Y \cdot ctg \alpha_3} \right)^2}} \cdot t_3$$

$$\frac{d}{A \cdot \sin \alpha_Y} \cdot \left. \right), M^3/год \quad (3.35)$$

2. Положення автосамоскида нижче рівня стояння екскаватора:

- при розташуванні драглайна на відстані $0,5A$ від верхньої бровки уступу:

$$Q_{e.f.}^{год} = \frac{d}{t_{сум} + 2 \cdot c \cdot \sqrt[3]{v \cdot \left(\arcsin \frac{0,25 \cdot A + 0,5 \cdot H_Y \cdot ctg \alpha}{R_p - B_3 - 0,5 \cdot H_Y \cdot ctg \alpha_3} + \arcsin \frac{|0,25 \cdot A - 0,5 \cdot H_Y \cdot ctg \alpha|}{R_p - B_3 - 0,5 \cdot H_Y \cdot ctg \alpha_3} \right)^2}} (1 -$$

$$\frac{d}{t_{сум} + 2 \cdot c \cdot \sqrt[3]{v \cdot \left(\arcsin \frac{0,25 \cdot A + 0,5 \cdot H_Y \cdot ctg \alpha}{R_p - B_3 - 0,5 \cdot H_Y \cdot ctg \alpha_3} + \arcsin \frac{|0,25 \cdot A - 0,5 \cdot H_Y \cdot ctg \alpha|}{R_p - B_3 - 0,5 \cdot H_Y \cdot ctg \alpha_3} \right)^2}} \cdot (0,021 \cdot (R_{ч,max} - H_Y \cdot ctg \alpha_3 - 15,5) + 0,08)$$

$$\frac{d}{A \cdot H \cdot (R_{ч} - H \cdot ctg \alpha_Y - 15,5)}$$

$$\frac{d}{t_{сум} + 2 \cdot c \cdot \sqrt[3]{v \cdot \left(\arcsin \frac{0,25 \cdot A + 0,5 \cdot H_Y \cdot ctg \alpha}{R_p - B_3 - 0,5 \cdot H_Y \cdot ctg \alpha_3} + \arcsin \frac{|0,25 \cdot A - 0,5 \cdot H_Y \cdot ctg \alpha|}{R_p - B_3 - 0,5 \cdot H_Y \cdot ctg \alpha_3} \right)^2}} \cdot t_3$$

$$\frac{d}{A \cdot \sin \alpha_Y} \cdot \left. \right), M^3/год \quad (3.36)$$

- розташування драглайна на безпечній відстані B_1 від верхньої бровки уступу:

$$Q_{e.f.}^{год} = \frac{d}{t_{сум} + 2 \cdot c \cdot \sqrt[3]{v \cdot \left(\arcsin \frac{0,75 \cdot A - 0,5 \cdot H_Y \cdot ctg \alpha - B_1}{R_p - B_3 - 0,5 \cdot H_Y \cdot ctg \alpha_3} + \arcsin \frac{|B_1 + 0,5 \cdot H_Y \cdot ctg \alpha - 0,25 \cdot A|}{R_p - B_3 - 0,5 \cdot H_Y \cdot ctg \alpha_3} \right)^2}} (1 -$$

$$\frac{d}{t_{сум} + 2 \cdot c \cdot \sqrt[3]{v \cdot \left(\arcsin \frac{0,75 \cdot A - 0,5 \cdot H_Y \cdot ctg \alpha - B_1}{R_p - B_3 - 0,5 \cdot H_Y \cdot ctg \alpha_3} + \arcsin \frac{|B_1 + 0,5 \cdot H_Y \cdot ctg \alpha - 0,25 \cdot A|}{R_p - B_3 - 0,5 \cdot H_Y \cdot ctg \alpha_3} \right)^2}} \cdot (0,021 \cdot (R_{ч,max} - H_Y \cdot ctg \alpha_3 - 15,5) + 0,08)$$

$$\frac{d}{A \cdot H \cdot (R_{ч} - H \cdot ctg \alpha_Y - 15,5)}$$

$$\frac{d}{t_{сум} + 2 \cdot c \cdot \sqrt[3]{v \cdot \left(\arcsin \frac{0,75 \cdot A - 0,5 \cdot H_Y \cdot ctg \alpha - B_1}{R_p - B_3 - 0,5 \cdot H_Y \cdot ctg \alpha_3} + \arcsin \frac{|B_1 + 0,5 \cdot H_Y \cdot ctg \alpha - 0,25 \cdot A|}{R_p - B_3 - 0,5 \cdot H_Y \cdot ctg \alpha_3} \right)^2}} \cdot t_3$$

$$\frac{d}{A \cdot \sin \alpha_Y} \cdot \left. \right), M^3/год \quad (3.37)$$

За отриманими формулами створено алгоритм розрахунку за допомогою програмного середовища EXCEL. Використовуючи цей алгоритм визначаємо

фактичну годину продуктивність драглайна ЕШ-10/50 в умовах його роботи на Мотронівському ГЗК. Розрахунки проведемо для чотирьох основних схем роботи екскаватора драглайна в комплексі з автосамоскидом, а саме схем №1, 5, 9 та 13. Значення ширини заходки обираємо від мінімальних до максимально можливих за умов техніки безпеки для кожної із схем. Отримані дані перенесемо до табл. 3.7.

Таблиця 3.7

Фактична продуктивність драглайна ЕШ-10/50 при змінній ширині заходки

Ширина заходки А, м	Фактична година продуктивність екскаватора, м ³ /год			
	Розміщення автосамоскиду на рівні стояння екскаватора		Розміщення автосамоскиду нижче рівня стояння екскаватора	
	Схема №1	Схема №5	Схема №9	Схема №13
1	2	3	4	5
16,5	586,7	579,0	676,8	678,3
18	593,1	587,1	683,2	685,2
20	598,7	595,1	686,6	689,2
22	601,8	600,7	686,1	689,2
24	603,0	604,4	683,5	686,5
26	602,8	606,5	678,2	681,7
28	601,6	607,4	672,2	675,6
30	599,6	607,1	665,4	668,4
32	597,0	605,6	658,1	660,4
34	593,8	603,5	650,4	651,7
36	590,2	599,5	642,6	642,4
38	586,2	594,6	634,6	632,7
40	582,0	588,4	626,7	622,5
42	577,5	580,4	618,7	611,8
44	572,7	570,2	610,8	600,5
46	567,8	556,6	602,9	588,6
48	562,7	535,3	595,2	575,8
50	557,4		587,5	
52	551,9		580,0	

Продовження табл. 3.7

1	2	3	4	5
54	546,2		572,6	
56	540,3		565,2	
58	534,1		558,0	
60	527,7		550,9	
62	520,9		543,9	
64	513,5			
66	505,5			
68	496,4			
70	485,1			
72	460,1			

Для графічного аналізу побудуємо графік залежності $Q_{e.ф.}^{год} = f(A)$ (3.7), та додамо на графік апроксимуючі рівняння визначення фактичної продуктивності екскаваторів при будь-якому значенню ширини заходки кожної із схем роботи екскаватора.

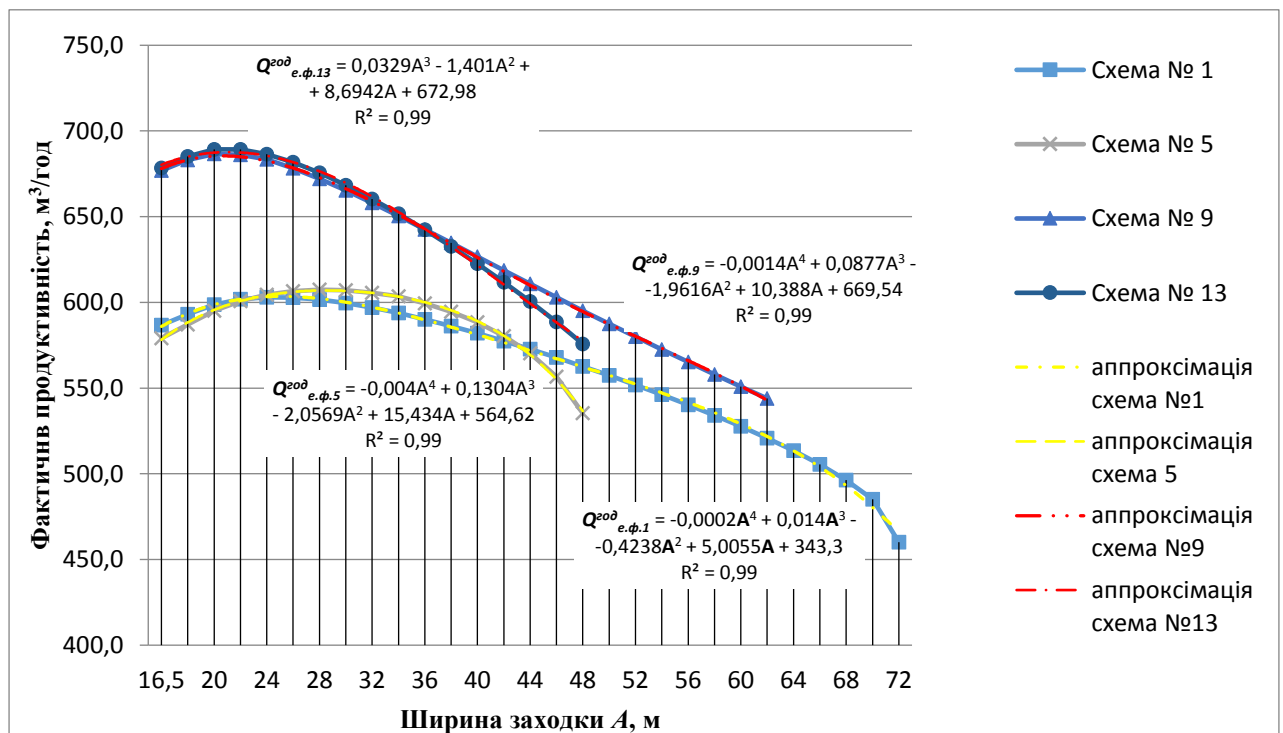


Рис. 3.7. Залежність експлуатаційної продуктивності драглайна ЕШ-10/50 від ширини заходки

Із даних зображених на графіках (3.7) бачимо, що фактична продуктивність драглайнів змінюється за параболічною залежністю. Це доводить, що оптимальні значення ширини заходки існують, вони характеризують максимальною продуктивністю драглайна яка має значення $Q_{e.ф.мах1}^{год} = 603 \text{ м}^3/год$, $Q_{e.ф.мах5}^{год} = 607 \text{ м}^3/год$, $Q_{e.ф.мах9}^{год} = 687 \text{ м}^3/год$, $Q_{e.ф.мах9}^{год} = 689 \text{ м}^3/год$ при $A_{опт1} = 24 \text{ м}$, $A_{опт5} = 28 \text{ м}$, $A_{опт9} = 20 \text{ м}$, $A_{опт13} = 22 \text{ м}$ відповідно, для схеми №1, №5, №9 та №13. Але відхилення дуже не значне, тому оптимальним значенням ширини заходки при яких досягається максимальна продуктивність екскаватора можна вважати такі діапазони $A_{опт1} = 22 \div 28 \text{ м}$, $A_{опт5} = 26 \div 32 \text{ м}$, $A_{опт9} = 18 \div 24 \text{ м}$, $A_{опт13} = 18 \div 24 \text{ м}$.

Завдяки апроксимації були отримані рівняння залежності фактичної продуктивності драглайна від ширини заходки, для схем №1, 5, 9 та 13 відповідно

$$Q_{e.ф.1}^{год} = -0,0002A^4 + 0,014A^3 - 0,4238A^2 + 5,0055A + 343,3, \text{ м}^3/год \quad (3.38)$$

$$Q_{e.ф.5}^{год} = -0,0004A^4 + 0,1304A^3 - 2,0569A^2 + 15,434A + 564,62, \text{ м}^3/год \quad (3.39)$$

$$Q_{e.ф.9}^{год} = -0,0014A^4 + 0,0877A^3 - 1,9616A^2 + 10,388A + 669,54, \text{ м}^3/год \quad (3.40)$$

$$Q_{e.ф.13}^{год} = 0,0329A^3 - 1,401A^2 + 8,6942A + 672,98, \text{ м}^3/год \quad (3.41)$$

Рівняння (3.38, 3.39, 3.40, 3.41) з достатньою точністю описуються наведеними вище залежностями, свідченнями цьому являються коефіцієнти детермінації, значення яких становлять $-R^2 = 0,99$, які представляють собою квадрат коефіцієнта кореляції між значеннями змінної A і значеннями $Q_{e.ф.}^{год}$.

Аналогічно визначимо годинну фактичну продуктивність драглайна ЕШ-ЕШ-10/50 від змінної висоти уступу, при $A=30 \text{ м}$. Висоту уступу беремо від $H_{min} = 10 \text{ м}$ до $H_{max} = 21 \text{ м}$. Отримані дані перенесемо до табл. 3.8, та побудуємо графік залежності $Q_{e.ф.}^{год} = f(H)$ (3.8). Також додамо на графік апроксимуюче рівняння для визначення фактичної продуктивності екскаваторів при будь-якому значенню висоти уступу для умов Мотронівсько-Аннівського кар'єру.

Таблиця 3.8

Фактична продуктивність драглайна ЕШ-10/50 при змінній висоті уступу

Висота уступу, м	Фактична година продуктивність екскаваторів, м ³ /год			
	Розміщення автосамоскида на рівні стояння екскаватора		Розміщення автосамоскида нижче рівня стояння екскаватора	
	Схема №1	Схема №5	Схема №9	Схема №13
10	599,6	607,1	665,4	668,4
11	598,0	600,6	662,5	667,1
12	595,7	593,5	658,3	664,7
13	592,9	585,8	652,9	661,4
14	589,7	577,8	646,1	657,1
15	586,1	569,5	638,0	651,9
16	582,2	561,0	628,1	645,5
17	578,0	552,4	615,9	637,4
18	573,6	543,8	600,0	626,5
19	569,0	535,2	575,5	607,5
20	564,1			
21	559,0			

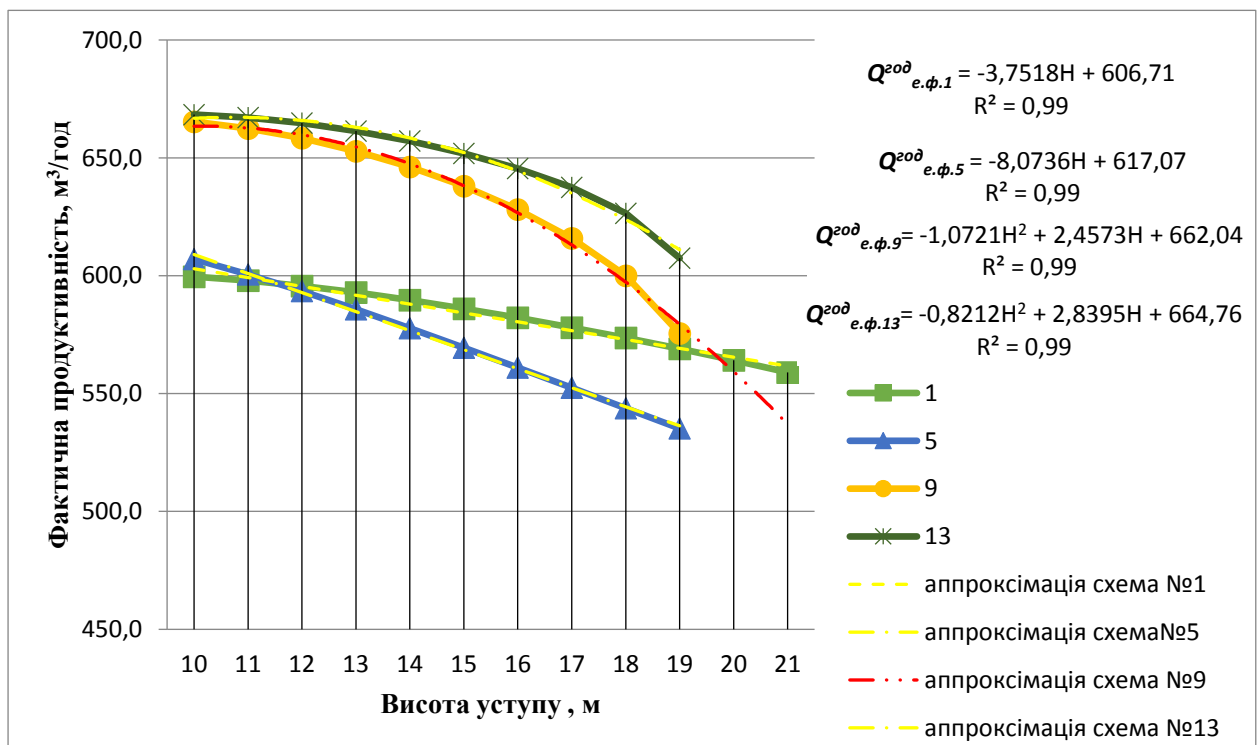


Рис. 3.8. Залежність фактичної продуктивності драглайна ЕШ-10/50, від висоти уступу

Як бачимо із даних зображених на графіку (3.8) фактична годинна продуктивність драглайнів обернено пропорційна висоті уступу, тобто при збільшенні H продуктивність драглайнів падає. Це означає що функції не мають області екстремуму, тобто максимальне значення продуктивності драглайна буде при менших значеннях висоти уступу: $Q_{e.ф.max1}^{год} = 599 \text{ м}^3/\text{год}$, $Q_{e.ф.max5}^{год} = 607$, $Q_{e.ф.max9}^{год} = 665$, $Q_{e.ф.max13}^{год} = 668 \text{ м}^3/\text{год}$ при $H=10 \text{ м}$ відповідно для схеми №1, №5, №9 та №13. Тому оптимальною висотою уступу буде $H=10 \text{ м}$, для всіх схем роботи драглайна в комплексі з автосамоскидами.

Апроксимація даних графіку (3.8) дозволила отримати лінійні та гіперболічні рівняння залежності годинної продуктивності драглайну від висоти уступу, для схем №1, №5, №9 та №13 відповідно:

$$Q_{e.ф.1}^{год} = -3,7518H + 60,71, \text{ м}^3/\text{год} \quad (3.42)$$

$$Q_{e.ф.5}^{год} = -8,0736H + 617,07, \text{ м}^3/\text{год} \quad (3.43)$$

$$Q_{e.ф.9}^{год} = -1,0721H^2 - 2,4573H + 662,04, \text{ м}^3/\text{год} \quad (3.44)$$

$$Q_{e.ф.13}^{год} = -0,8212H^2 - 2,8395H + 664,76, \text{ м}^3/\text{год} \quad (3.45)$$

Рівняння досить точно відображають залежності продуктивності екскаватора від висоти уступу, коефіцієнти детермінації для всіх рівнянь дорівнюють $R^2 = 0,99$.

Розрахунок фактичної продуктивності драглайна ЕШ-10/50 при його роботі за іншими схемами наведено у додатку В, п.2.

Таким чином проведені дослідження дозволили встановити залежності фактичної продуктивності драглайну від параметрів уступу, що дозволяє врахувати три фактори впливу на продуктивність екскаватора з області оптимальних значень ширини заходки в інтервалах $A_{онм1}=22\div 28 \text{ м}$, $A_{онм5}=26\div 32 \text{ м}$, $A_{онм9}=18\div 24 \text{ м}$, $A_{онм13}=18\div 24 \text{ м}$ відповідно для схеми №1, №5, №9 та №13. Однак вплив висоти уступу на продуктивність має обернено пропорційну залежність, тому раціональною висотою уступу при роботі

драглайна в комплексі з автосамоскидами буде її мінімальне значення $H=10\text{м}$, для всіх можливих схем.

Аналіз встановленої фактичної продуктивності драглайну для різних схем роботи дозволяє стверджувати, що раціональною схемою роботи екскаватора в комплексі з автосамоскидами є схема з нижнім навантаженням автосамоскида, та розташуванням його по середині ширини заходки.

3.5. Встановлення залежності фактичної продуктивності драглайна від параметрів вибою методом математичного аналізу

Для перевірки значень оптимальних параметрів вибою методом математичного аналізу, необхідно дослідити функції $Q_{\text{е.ф.}}^{\text{год}} = f(A)$ та $Q_{\text{е.ф.}}^{\text{год}} = f(H)$ на екстремум. Однак як бачимо із апроксимації графіку (рис. 3.8), залежності фактичної продуктивності екскаватора від висоти уступу, мають лінійні та гіперболічні рівняння. Виходячи з цього, області екстремуму не існує. Тому досліджувати будемо тільки залежність фактичної продуктивності драглайну від змінної ширини заходки.

В дослідженні використаємо формулу визначення фактичної продуктивності драглайна для схем з верхнім розвантаженням, та розташуванням екскаватора на відстані $0,5A$ від верхньої бровки, тому, що згідно даних графіка, що наведено на рис. 3.7 рівняння має чітко виражену область екстремуму.

Використовуючи алгоритм дослідження функції на екстремум, нам необхідно взяти першу похідну від функції (3.32), та дорівняти її нулю.

3. Замінімо дійсну змінну (A) на довільну диференційовану функцію:

$$u = t_{\text{сум}} + 2 \cdot c \cdot \sqrt[3]{v \cdot \left(\operatorname{arctg} \frac{0,5 \cdot H \cdot ctg \gamma}{R_{\text{ч,max}} - 0,5 \cdot H \cdot ctg \gamma_3} + \operatorname{arcsin} \frac{0,5 \cdot A + z + b_{\text{в}} + 0,5 \cdot b_{\text{а}}}{R_{\text{ч,max}}} \right)^2} \quad (3.46)$$

3. Підставимо формулу (3.46) до формули (3.34) та отримаємо:

$$Q_{\text{е.ф.}}^{\text{год}} = \frac{d}{u} \left(1 - \frac{\frac{d}{u} t_6}{A \cdot H \cdot (R_{\text{ч}} - H \cdot \text{ctg} \alpha_y - 5,5)} - \frac{\frac{d}{u} t_3}{A \cdot \sin \alpha_y} \right) \quad (3.47)$$

3. Введемо const:

$$M = R_{\text{ч}} - H \cdot \text{ctg} \alpha_y - 5,5 \quad (3.48)$$

Тоді функція має вигляд:

$$Q_{\text{е.ф.}}^{\text{год}} = \frac{d}{u} \left(1 - \frac{d}{u} \cdot \frac{t_6}{A \cdot H \cdot M} - \frac{d}{u} \cdot \frac{t_3}{A \cdot \sin \alpha_y} \right) \quad (3.49)$$

3. Беремо першу похідну від функції (3.49)

$$\frac{\partial Q}{\partial A} = -2 \cdot \frac{d^2}{u^3} u' \left(\frac{u}{d} - \frac{t_6}{A \cdot H \cdot M} - \frac{t_3}{A \cdot \sin \alpha_y} \right) + \frac{d^2}{u^2} \left(\frac{u'}{d} - \frac{t_6}{A^2 \cdot H \cdot M} - \frac{t_3}{A^2 \cdot \sin \alpha_y} \right); \quad (3.50)$$

5. Розкриваємо скобки та знаходимо однакові складові

$$\begin{aligned} \frac{\partial Q}{\partial A} = & -2 \cdot \frac{d}{u^2} u' + 2 \cdot \frac{d^2}{u^3} \cdot u' \cdot \frac{t_6}{A \cdot H \cdot M} + 2 \cdot \frac{d^2}{u^3} \cdot u' \cdot \frac{t_3}{A \cdot \sin \alpha_y} + \frac{d}{u^2} u' + \\ & \frac{d^2 \cdot t_6}{u^2 \cdot A^2 \cdot H \cdot M} + \frac{d^2 \cdot t_3}{u^2 \cdot A^2 \cdot \sin \alpha_y}; \end{aligned} \quad (3.51)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial Q}{\partial A} = & -\frac{d}{u^2} u' + 2 \cdot \frac{d^2}{u^3} \cdot u' \cdot \frac{t_6}{A \cdot H \cdot M} + 2 \cdot \frac{d^2}{u^3} \cdot u' \cdot \frac{t_3}{A \cdot \sin \alpha_y} + \frac{d^2 \cdot t_6}{u^2 \cdot A^2 \cdot H \cdot M} + \\ & \frac{d^2 \cdot t_3}{u^2 \cdot A^2 \cdot \sin \alpha_y}; \end{aligned} \quad (3.52)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial A} = u' \left(\frac{1}{d} - \frac{2 \cdot t_6}{u \cdot A \cdot H \cdot M} - \frac{2 \cdot t_3}{u \cdot A \cdot \sin \alpha_y} \right) - \left(\frac{t_6}{A^2 \cdot H \cdot M} + \frac{t_3}{A^2 \cdot \sin \alpha_y} \right); \quad (3.53)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial A} = u' - \frac{t_6 \cdot \sin \alpha_y + t_3 \cdot H \cdot M}{A^2 \cdot H \cdot M \cdot \sin \alpha_y} \cdot \frac{d \cdot u \cdot A \cdot H \cdot M \cdot \sin \alpha_y}{u \cdot A \cdot H \cdot M \cdot \sin \alpha_y - 2 \cdot t_6 \cdot d \cdot \sin \alpha_y - 2 \cdot t_3 \cdot d \cdot H \cdot M}; \quad (3.54)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial A} = u' - \frac{d \cdot u}{A} \frac{(t_6 \cdot \sin \alpha_y + t_3 \cdot H \cdot M)}{(u \cdot A \cdot H \cdot M \cdot \sin \alpha_y - 2 \cdot t_6 \cdot d \cdot \sin \alpha_y - 2 \cdot t_3 \cdot d \cdot H \cdot M)}; \quad (3.55)$$

6. Беремо похідну від довільної функції

$$\begin{aligned} u' = & \frac{2}{3} \cdot c \cdot \sqrt[3]{v} \cdot \frac{1}{\sqrt[3]{v \cdot \left(\arctg_{R_{\text{ч. max}} - 0,5 \cdot H \cdot \text{ctg} \gamma_3} \frac{0,5 \cdot H \cdot \text{ctg} \gamma}{R_{\text{ч. max}}} + \arcsin \frac{0,5 \cdot A + z + b_B + 0,5 \cdot b_a}{R_{\text{ч. max}}} \right)^2}} \cdot \\ & \frac{1}{R_{\text{ч. max}} \cdot \sqrt{1 - \arcsin \frac{0,5 \cdot A + z + b_B + 0,5 \cdot b_a}{R_{\text{ч. max}}}}}; \end{aligned} \quad (3.56)$$

7. Для спрощення рівняння замінимо кут повороту у вибій на const:

$$j = \operatorname{arctg} \frac{0,5 \cdot H \cdot \operatorname{ctg} \gamma}{R_{ч. \max} - 0,5 \cdot H \cdot \operatorname{ctg} \gamma_3} \quad (3.57)$$

8. Дорівнюємо загальну похідну нулю

$$\frac{2}{3} \cdot c \cdot \sqrt[3]{v} \cdot \frac{1}{\sqrt[3]{v \cdot \left(j + \operatorname{arcsin} \frac{0,5 \cdot A + z + b_B + 0,5 \cdot b_a}{R_{ч. \max}} \right)^2}} \cdot \frac{1}{R_{ч. \max} \cdot \sqrt{1 - \operatorname{arcsin} \frac{0,5 \cdot A + z + b_B + 0,5 \cdot b_a}{R_{ч. \max}}}} - \frac{d \cdot \left(t_{\text{сум}} + 2 \cdot c \cdot \sqrt[3]{v \cdot \left(j + \operatorname{arcsin} \frac{0,5 \cdot A + z + b_B + 0,5 \cdot b_a}{R_{ч. \max}} \right)^2} \right)}{A} \cdot \frac{(t_6 \cdot \sin \alpha_y + t_3 \cdot H \cdot M)}{\left(\left(t_{\text{сум}} + 2 \cdot c \cdot \sqrt[3]{v \cdot \left(j + \operatorname{arcsin} \frac{0,5 \cdot A + z + b_B + 0,5 \cdot b_a}{R_{ч. \max}} \right)^2} \right) \cdot A \cdot H \cdot M \cdot \sin \alpha_y - 2 \cdot t_6 \cdot d \cdot \sin \alpha_y - 2 \cdot t_3 \cdot d \cdot H \cdot M \right)} = 0 \quad (3.58)$$

Для знаходження області екстремуму необхідно розв'язати рівняння (3.58), але це практично не можливо зробити математично, тому використовуємо метод варіацій, тобто підставляємо значення змінної A в (3.58). Вибираємо значення ширини заходки від $A_{\min I} = 16,5$ м до $A_{\max I} = 72$ м, висота уступу буде дорівнювати $H=10$ м. Отримані значення похідної заносимо до табл.3.9.

Таблиця 3.9

Значення похідної при змінній ширини заходки

Ширина заходки А, м	Значення загальної похідної	Ширина заходки А, м	Значення загальної похідної
16,5	-0,174	46	0,242
18	-0,117	48	0,259
20	-0,069	50	0,276
22	-0,028	52	0,290
24	0,008	54	0,306
26	0,039	56	0,322
28	0,067	58	0,340
30	0,092	60	0,359
32	0,115	62	0,368
34	0,136	64	0,391
36	0,155	66	0,412
38	0,174	68	0,428
40	0,191	70	0,443
42	0,208	72	0,461
44	0,225		

Як бачимо з даних табл.3.9, область екстремуму буде знаходитись у діапазоні $A_l=22\div 23$ м для схеми №1. Тому, що при цих значеннях ширини заходки, загальна похідна змінює знак мінусу на плюс, отже в цьому діапазоні знаходиться таке значення A при якій загальна похідна дорівнює нулю.

Виконавши дослідження функції $Q_{e.f.}^{год} = f(A)$ на екстремум, нами отримане значення локального максимуму $Q_{e.f.}^{год}$, це означає, що фактична продуктивність буде максимальною при $A_{opt1}=22$ м для ЕШ-10/50, саме таке значення було отримане при використанні розробленого алгоритму. Звідси можна стверджувати, що виконані розрахунки по встановленню оптимальних параметрів вибою у параграфі 3.4 є достовірними.

Отримані значення оптимальної ширини заходки при дослідженні функції на екстремум мають однакові значення, що і при розрахунку графічно-аналітичним методом. Це доводить, що використання графічно-аналітичного методу при встановленні оптимальних значень вибою є доцільним та має високий рівень точності, тому може використовуватись при інших дослідженнях з визначення оптимальних параметрів вибою.

Висновки по розділу 3

1. Встановлені залежності теоретичної продуктивності драглайна від параметрів вибою, які дозволяють стверджувати, що параметри вибою безпосередньо впливають на продуктивність драглайна, а саме при збільшенні висоти уступу та ширини заходки теоретична продуктивність екскаватору зменшується від 24% до 43%.

2. Вперше досліджений вплив витрат часу на переміщення екскаватора у новий блок, що в свою чергу дозволило встановити залежність втрат продуктивності екскаватора від ширини заходки та висоти уступу.

3. Виконано аналіз впливу параметрів вибою на продуктивність екскаватора, за рахунок витрат часу на закуску уступу, що дозволяє встановити значний вплив на втрату продуктивності має значення ширини заходки, при її збільшенні до $A=72$ м втрати зменшуються на 90%.

4. Вперше встановлені формули визначення фактичної продуктивності драглайна з урахуванням трьох факторів: кута повороту на розвантаження, втрат часу на переміщення у новий блок та втрат часу на заукоску уступу.

5. Вперше отримані оптимальні значення ширини заходки екскаватора при врахуванні трьох факторів впливу на продуктивність екскаватора: $A_{onm1}=22\div 28$ м, $A_{onm5}=26\div 32$ м, $A_{onm9}=18\div 24$ м, $A_{onm13}=18\div 24$ м відповідно для схеми №1, №5, №9 та №13.

6 Встановлено вплив висоти уступу на фактичну продуктивність драглайна, що дозволило визначити раціональну висоту уступу при роботі драглайна в комплексі з автосамоскидами, що становить $H=10$ м, для всіх можливих схем.

Основні результати дослідження опубліковані у [64,81,83]

За результатами дослідження сформульоване друге наукове положення яке наведено у вступі.

4. АПРОБАЦІЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ВИБОЮ ТА ТЕХНОЛОГІЧНИХ СХЕМ ДЛЯ КОМПЛЕКСІВ ОБЛАДНЕННЯ «ЕШ+АВТОСАМОСКИД»

4.1 Проведення експериментально-дослідницьких робіт з впровадження раціональних параметрів вибою екскаватора драглайна.

Встановлення оптимальних параметрів вибою при роботі екскаватора-драглайна в комплексі з автосамоскидом математично-аналітичним методом, потребує перевірки на практиці. Для цього необхідно провести експериментально-дослідницькі роботи на підприємстві.

В якості підприємства обрано Мотронівський ГЗК, так як розрахунки з визначення оптимальних параметрів вибою велись саме для умов Мотронівсько-Аннівського кар'єру.

Суть експерименту полягає в встановленні змінної продуктивності драглайна ЕШ-10/50 при його роботі в комплексі з автосамоскидами Cat-773E, при різних технологічних схем їх роботи та різних параметрах вибою.

Для експерименту обрано дві схеми роботи екскаватора драглайна в комплексі з автосамоскидами:

схема №1 – розташування драглайну на відстані $0,5A$ від верхньої бровки уступу, та розвантаження в автосамоскид, що знаходиться на рівні стояння екскаватора поблизу запобіжного валу.

схема №9 – розташування драглайну на відстані $0,5A$ від верхньої бровки уступу, та розвантаження в автосамоскид, що знаходиться нижче рівні установки екскаватора, та розташовується посередині ширини заходки.

Виконані раніше дослідження дозволили встановити, що оптимальною шириною заходки для схеми №1 $A=24$ м та для схеми №9 $A=22$ м, а раціональна висота уступу для обох схем $H=10$ м.

Дослідження проходило в декілька етапів:

1. Екскаватор драглайн розміщувався на відстані $0,5A$ від верхньої бровки уступу та розробляв вибій з шириною заходки $A=30$ м та висотою

уступу $H=10$ м. Спочатку він працював по схемі з верхнім розвантаженням у автосамоскид, що знаходиться біля запобіжного валу. Час роботи склав одну зміну.

2. Другий етап передбачав зміну місця розташування автосамоскида під навантаження не змінюючи параметри вибою. Так автосамоскид розташовувався на безпечній відстані B_3 від нижньої бровки вибою, та посередині заходки. Час роботи по схемі № 9 склав одну зміну.

3. На протязі наступної зміни екскаватор в процесі роботи зменшив ширину заходки до значення $A=24$ м, та розташувався на відстані 12 м від верхньої бровки уступу.

4. Після зміни параметрів вибою, ЕШ-10/50 продовжив працювати за схемою з нижнім розвантаженням №9, одну зміну.

5. Аналогічно попередній зміні ширини заходки машиніст зменшив її до значення $A=22$ м, та розташував драглайн на відстані 11 м від верхньої бровки.

6. Змінивши параметри ширини заходки, була змінена схема навантаження, і автосамоскид розташовувався на рівні стояння ЕШ-10/50.

Вимірювання продуктивності проходило для кожної схеми з різними значеннями ширини заходки.

Для встановлення точних значень ширини заходки та висоти уступу використовувався GNSS приймач Leica Captivate GS07 з Controller CS20. Він дав змогу з похибкою до 5 см визначати ширину заходки і висоту уступу при різних схемах, що дозволило з високою точністю провести експериментальні вимірювання.

Середня тривалість роботи драглайна в зміну склала 10 годин, це зумовлено втратами часу на перезміну, технічне обслуговування, обідню перерву та не завжди рівномірною подачею автосамоскидів під навантаження.

Провівши експериментальні дослідження, була встановлена змінна продуктивність драглайну ЕШ-10/50, для двох схем з різними значеннями ширини заходки. Результати досліджень приведені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Результати експерименту

Параметри	Розвантаження на рівні установки екскаватора, Схема №1		Нижнє розвантаження, Схема №9	
	Висота уступу, м	10	10	10
Ширина заходки, м	30	24	30	22
Змінна продуктивність ЕШ-10/50, м ³ /зміну	2800	2850	3120	3240

Дані табл. 4.1 дають змогу стверджувати, що при зменшенні ширини заходки до оптимальних значень, отриманих математичним методом, продуктивність ЕШ-10/50 за зміну зростає на 1,8 % при схемі з розвантаженням в автосамоскид, що знаходиться на рівні установки екскаватора, та продуктивність зростає на 3,8 % при схемі з розвантаженням в автосамоскид, що знаходиться на нижній площадці уступу. Збільшення продуктивності не велике, але при роботі екскаватора, наприклад, на протязі року, різниця в продуктивності стає вагома.

Проведені експериментальні дослідження дозволили встановити, що отримані оптимальні параметри вибою є дійсними на практиці. Це дає змогу стверджувати, що розроблений метод визначення оптимальних параметрів вибою драглайна при його роботі в комплексі з автосамоскидами є вірний, і може застосовуватись при проектуванні кар'єрів зі складними гідро-геологічними умовами.

4.2. Проведення техніко економічної оцінки запропонованих раціональних технологічних схем.

Експлуатаційні витрати на розкрив мають дуже великий вплив на прибуток підприємства, тому питання зниження їх є актуальними. Для зменшення експлуатаційних витрат необхідно обрати технологічну схему роботи комплексів ЕШ+автосамоскид, при якій досягається мінімальна собівартість розкриву.

Для розрахунку собівартості розкриву обираємо схеми роботи екскаватора-драглайна в комплексі з автосамоскидами с максимальною продуктивністю драглайна, при їх оптимальних параметрах. Так для порівняння обираємо існуючу схему, яка застосовується на Мотроннівсько-Аннівському кар'єрі в теперішній час, з існуючими параметрами вибою.

Виконані дослідження раціональної технологічної схеми та визначення її оптимальних параметрів вибою, надають змогу стверджувати, що існують 4 схеми з максимальною продуктивністю драглайна:

схема №1 – розташування драглайну на відстані $0,5A$ від верхньої бровки уступу, та розвантаження в автосамоскид, що знаходиться на рівні стояння екскаватора поблизу запобіжного валу.

схема №5 – розташування драглайну на безпечній відстані B_1 від верхньої бровки уступу, та розвантаження в автосамоскид, що знаходиться на рівні стояння екскаватора поблизу запобіжного валу.

схема №9 – розташування драглайну на відстані $0,5A$ від верхньої бровки уступу, та розвантаження в автосамоскид, що знаходиться нижче рівні установки екскаватора, та розташовується посередині ширини заходки.

схема №13 – розташування драглайну на безпечній відстані B_1 від верхньої бровки уступу, та розвантаження в автосамоскид, що знаходиться нижче рівні установки екскаватора, та розташовується посередині ширини заходки.

На Мотронівсько-Аннівському кар'єрі для розкриття застосовується схема №1 з висотою уступу $H=10\text{м}$ та шириною заходки $A=30\text{м}$, для подальшого розрахунку обираємо її як схему №17.

Для розрахунку собівартості розкриття, необхідно розрахувати необхідну кількість гірничо-транспортного обладнання для забезпечення річного об'єму видобутку розкритих порід $A_{\text{пл.рік}}=13,5$ млн $\text{м}^3/\text{рік}$.

Виконаємо розрахунок кількості гірничо-транспортного обладнання на прикладі схеми №1.

Годинну продуктивність ЕШ-10/50 беремо з розрахунку у параграфі 3.4.

Змінну продуктивність драглайна визначаємо за формулою:

$$Q_{\text{е.зм}} = Q_{\text{е.год}} \cdot T_{\text{зм}} \cdot k_{\text{т.в}} \cdot k_{\text{н.п}} \cdot k_{\text{роз}} \cdot k_{\text{вик}}, \text{ м}^3/\text{год} \quad (4.1)$$

де: $T_{\text{зм}}$ - тривалість робочої зміни, годин, $T_{\text{зм}} = 12$ годин;

$k_{\text{т.в}}$ - коефіцієнт технології виймання, $k_{\text{т.в}} = 0,83$.

$k_{\text{н.п}}$ - коефіцієнт, що враховує налипання породи у складних гідрогеологічних умовах Мотронівсько-Аннівського кар'єру. $k_{\text{н.п}} = 0,9$;

$k_{\text{роз}}$ - коефіцієнт розвантаження, що враховує просипання породи при розвантаженні драглайна у автосамоскид унаслідок особливостей конструкції ковша (зворотній ківш), $k_{\text{роз}} = 0,8$;

$k_{\text{вик}}$ - коефіцієнт використання екскаватора у часі за транспортними умовами, що враховує час на обмін автосамоскидів. Приймаємо $k_{\text{вик}} = 0,7$;

$$Q_{\text{е.зм}} = 603 \cdot 12 \cdot 0,83 \cdot 0,9 \cdot 0,8 \cdot 0,7 = 3027 \text{ м}^3/\text{змін}.$$

Річна продуктивність екскаватора ЕШ-10/50 розраховується згідно формули:

$$Q_{\text{е.рік}} = Q_{\text{е.зм}} \cdot n_{\text{зм}} \cdot N_{\text{д}}, \text{ м}^3/\text{рік} \quad (4.2)$$

де $n_{\text{зм}}$ - число повних робочих змін у добу, $n_{\text{зм}} = 2$ зміни;

$N_{\text{д}}$ - число робочих днів у році, $N_{\text{д}} = 260$.

$$Q_{\text{е.рік}} = 3027 \cdot 2 \cdot 260 = 1574040 \text{ м}^3/\text{рік}$$

Визначимо необхідну кількість драглайнів для виконання планового розкриття, при $A_{\text{пл.рік}}=13,5$ млн $\text{м}^3/\text{рік}$.

$$N_d = \frac{A_{\text{пл}}}{Q_{\text{е.рік}}} = \frac{13500000}{2179440} = 8,57 \text{ од} \quad (4.3)$$

Обираємо 9 екскаваторів ЕШ-10/50.

Визначимо необхідну кількість автосамоскидів Cat-773E для роботи екскаватора, технічна характеристика автосамоскида наведена у табл. 4.2.

Таблиця 4.2

Технічна характеристика автосамоскиду Cat-773E

Параметри	
Марка двигуна	Cat 3412E
Потужність силового устаткування, к.с.	530
Максимальна швидкість, км/год	62,6
Радіус повороту, м	12,5
Маса, кг	99300
Вантажопідйомність, т	55,5
Місткість кузова:	
- геометрична, м ³	26,6
- номінальна, м ³	35,4
Витрати пального на 100 км, л	124

Тривалість циклу навантаження автосамоскиду рудним піском розраховуємо за формулою:

$$t_{\text{ц.н}} = \frac{V}{E} \cdot \frac{t_{\text{ц}}}{60}, \text{ хв}, \quad (4.4)$$

де: V – об'єм кузова автосамоскида, $V = 26,6 \text{ м}^3$;

Тривалість циклу обираємо із значень хронометражу, та розрахунку тривалості повороту для кожної схеми з урахуванням оптимальних параметрів вибою:

$$t_{\text{ц.н}} = \frac{26,6}{10} \cdot \frac{40,39}{60} = 1,8 \text{ хв.}$$

Тривалість рейсу автосамоскида:

$$t_p = t_{ц.н} + \frac{2L_{п} \cdot 60}{v_{ав}} + t_{роз}, \text{ хв}, \quad (4.5)$$

де $L_{п}$ – середня відстань перевезення гірничої маси у відвал, км; для схем з розвантаженням на рівні стояння $L_{п} = 2$ км, а для схем з розвантаженням нижче рівня стояння $L_{п} = 2,1$ км;

$v_{ав}$ – швидкість руху автосамоскида, $v_{ср} = 25$ км/год;

$t_{роз}$ – тривалість розвантаження автосамоскида, $t_{роз} = 1$ хв;

$$t_p = 1,8 + \frac{2 \cdot 2 \cdot 60}{25} + 1 = 12,4 \text{ хв.}$$

Змінна продуктивність одного автосамоскиду складе:

$$Q_{а.зм} = \frac{60 \cdot T_{см}}{t_p} \cdot V \cdot k_{н.а} \cdot k_{см.в}, \text{ м}^3/\text{змину}, \quad (4.6)$$

де: $k_{н.а}$ – коефіцієнт наповнення кузова автосамоскида, $k_{н.а} = 1$;

$k_{см.в}$ – коефіцієнт, що враховує використання автосамоскида на протязі зміни; $k_{зм} = 0,85$;

$$Q_{а.зм} = \frac{60 \cdot 12}{12,4} \cdot 26,6 \cdot 1 \cdot 0,85 = 1312 \text{ м}^3/\text{змину},$$

Необхідну кількість автосамоскидів для одного екскаватору розрахуємо за формулою:

$$N_a = \frac{Q_{е.зм}}{Q_{а.зм}}, \text{ од}, \quad (4.7)$$

$$N_a = \frac{3027}{1312} = 2,3 \text{ од.}$$

Загальну кількість автосамоскидів розрахуємо за формулою:

$$N_{а.заг} = N_a \cdot N_d, \text{ од}, \quad (4.8)$$

$$N_{а.заг} = 3 \cdot 9 = 27, \text{ од.}$$

Обраємо 27 автосамоскидів Cat-773E для роботи по схемі №1.

Виконаємо розрахунки для кожної з схем, що розглядаються. Результати розрахунку занесемо до табл. 4.3.

Таблиця 4.3

Параметри схем роботи драглайнів в комплексі з автосамоскидами для умов Мотронівсько-Аннівського кар'єру

Параметри	Схема №1	Схема №5	Схема №9	Схема №13	Схема №17
Висота уступу, м	10	10	10	10	10
Ширина заходки, м	24	28	22	24	30
Тривалість циклу навантаження, хв	1,8	1,8	1,5	1,5	1,8
Річна продуктивність екскаватору, тис. м ³ /рік	1574	1585	1792	1791	1565
Кількість ЕШ-10/50	9	9	8	8	9
Кількість Cat-773E	27	27	24	24	27

Для вибору необхідної технології розрахуємо собівартість розкриття 1 м³ гірничої маси для запропонованих варіантів.

Виробничу програму дільниць гірничого-підприємства складаємо виходячи з вибраної технології розкриття, забезпеченості гірничим устаткуванням і режиму роботи підприємства. Кількість робочих днів при перервному режимі з шестиденним робочим тижнем – 305. Кількість змін роботи на добу 2 по 12 год.

Обліковий склад робітників $N_{сп}$ визначаємо з виразу:

$$N_{сп} = N_{яв} K_{сс}, \text{ чол.}, \quad (4.9)$$

де $N_{яв}$ – явочний склад за добу, чол.;

$K_{сс}$ – середньорічний коефіцієнт облікового складу;

$$K_{сс} = (T_k - T_{св} - T_{вих}) / (T_k - T_{св} - T'_{вих} - T_{від}) 0,96, \quad (4.10)$$

де T_k – календарний фонд часу, $T_k = 365$ днів;

$T_{св}$ – кількість святкових днів за рік;

$T_{вих}, T'_{вих}$ – відповідно кількість вихідних днів у підприємства та робітника;
при шестиденному – $T_{вих} = 52$;

$T_{від}$ – тривалість відпустки робітника.

Фонд заробітної плати розраховуємо окремо по кожній професії з урахуванням погодинної форми оплати праці.

Фонд прямої заробітної плати робітників-погодинників встановлюємо з застосуванням погодинно-преміальної системи оплати праці. Яка визначається за виразом:

$$Z_{з.п.} = Z_2 T_{зм} N_{вих} N_{сн}, \text{ грн} , \quad (4.11)$$

де Z_2 – годинна тарифна ставка, грн.;

$T_{зм}$ – тривалість зміни, год;

$N_{вих}$ – кількість виходів робітника в місяць;

$N_{сн}$ – обліковий склад кожної категорії робітників, чол.

Виходячи з нормативно-технічної документації роботи підприємства доплата у вигляді премії складе 40%.

Доплата за роботу в нічний час здійснюються за встановленою нормою доплат $H_{н.в}$ (%) до погодинної тарифної ставки пропорційно відпрацьованому часу з 22-ї до 6-ї години ранку. Фонд доплат за роботу в нічний час визначається за формулою:

$$\Phi_{н.в} = 1/3 \sum N_{яв} Z_{змі} (1 + H_{н.в} / 100), \text{ грн} \quad (4.12)$$

де $N_{яв i}$ – явочна чисельність робітників і-ої категорії;

$Z_{змі i}$ – змінна тарифна ставка і-ої категорії робітників, грн.

Результати розрахунків фонду заробітної оплати праці для кожної із запропонованих схем наведені в табл. 1 і табл. 5 Додатку Б.

Амортизація об'єкта основних засобів нараховується виходячи з терміну його корисного використання. Результати розрахунку амортизаційних відрахувань наведені в табл. 2 та 6 Додатку Б, відповідно для кожної схеми запропонованих варіантів розкриття.

Також був проведений розрахунок витрат на допоміжні матеріали та витрат на пальне. Результати занесені в табл. 3, 7, 4, 8 Додатку Б.

Собівартість одиниці обсягу робіт розраховуємо на основі визначених вище витрат по заробітній платі, допоміжним матеріалам, пальному, амортизації шляхом сумування цих витрат виробництва.

$$C_{1,2} = \frac{\sum Z}{Q_{\text{рік}}}, \text{ грн/м}^3, \quad (4.13)$$

Калькуляція собівартості розкриву 1 м³ гірничої маси наведена в табл. 4.4.

Таблиця 4.4

Калькуляція собівартості розкриву 1 м³

Елементи собівартості	Витрати на річний об'єм розкриву (13,5 млн м ³), тис. грн				
	Схема №1	Схема №5	Схема №9	Схема №13	Схема №17
Основна заробітна плата	10545	12260	10821	10821	12260
Додаткова зар.плата (9% от основної)	949	1103	974	974	1103
Оплата праці разом	11494	13363	11795	11795	13363
Нарахування на заробітну плату (22% від оплати праці)	2529	2940	2595	2595	2940
Основні та допоміжні матеріали	7883	7883	7883	7883	7883
Паливо	277930	277930	247049	247049	277930
Амортизація	216184	216184	192164	192164	216184
Електроенергія	177845	177845	157365	157365	180144
РАЗОМ	693865	696145	618850	618850	698443
Собівартість 1м³ розкриву, грн.	51,40	51,57	45,84	45,84	51,74

Гістограма питомих витрат на розкрив при застосуванні різних схем роботи драглайна в комплексі з автосамоскидам приведена на рис. 4.1.

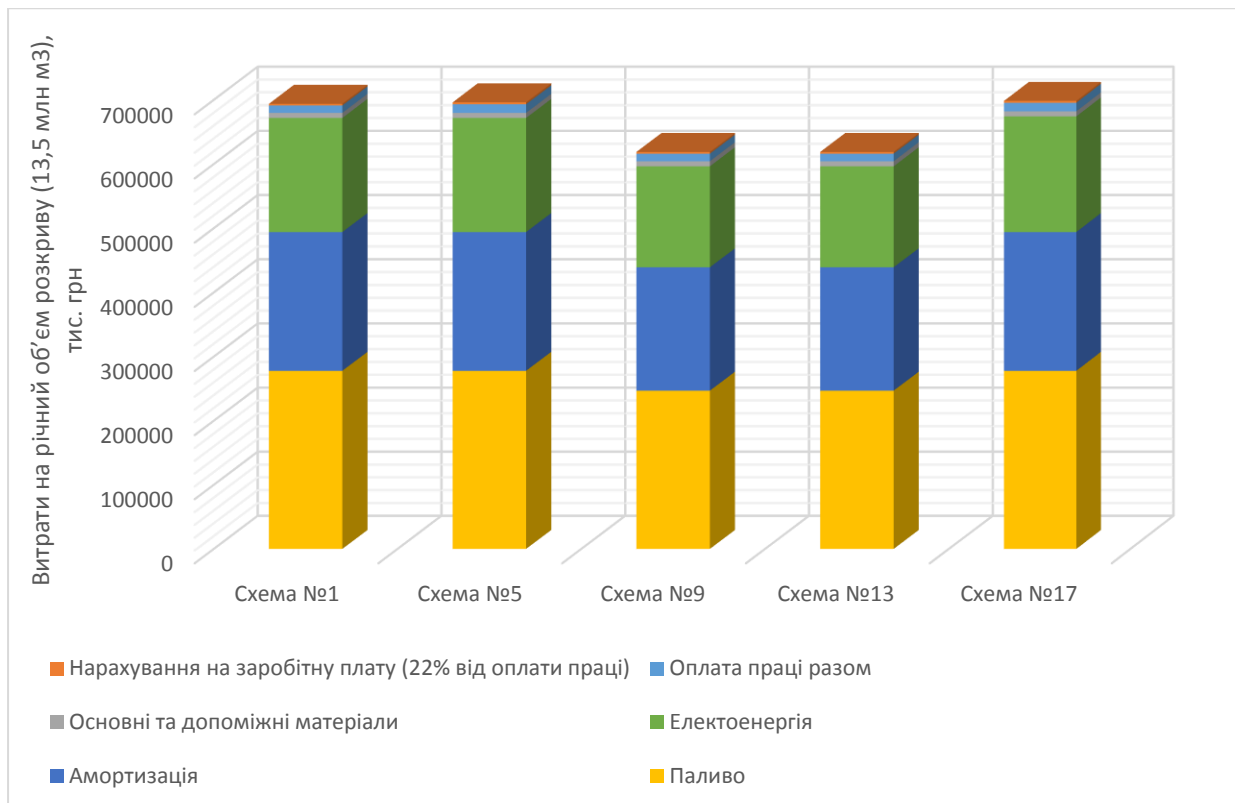


Рис. 4.1. Гістограма питомих витрат на розробку розкриву
Мотронівсько-Аннівського кар'єру

Як бачимо з даних наведених на гістограмі питомих витрат на розкриття (рис. 4.1.), основну частку витрат для кожної із схем складають витрати на паливо, електроенергію та амортизацію. Також ми бачимо, що мінімальні витрати на розкриття будуть при застосуванні схем з нижнім розвантаженням, це зумовлено більшою продуктивністю драглайна, а отже меншою кількістю гірничотранспортного обладнання. Таким чином Схема №9 та №13 найменш витратні.

Собівартість видобутку при існуючій технологічній схемі роботі ЕШ-10/50 в комплексі з автосамоскидами на Мотронівсько-Аннівському кар'єрі становить 51,74 грн/ м³. Використання схеми з нижнім розвантаженням, та оптимальними параметрами вибою, дозволить знизити собівартість розкриття 1 м³ гірничої маси на 5,9 грн, і знизити загальні витрати на розкриття:

$$П = (51,75 - 45,84) \cdot 13500000 = 79,65 \text{ млн грн/рік,}$$

Проведені дослідження дозволяють стверджувати, що найбільш ефективними технологічними схемами роботи екскаватора драглайна в

комплексі з автосамоскидом, є схеми з нижнім розвантаженням та розташуванням автосамоскиду по середині ширини заходки: схеми №9 та №13. Це обумовлено меншою собівартістю видобутку 1 м³ розкривних порід, ніж при інших запропонованих схемах, вона склала $C=45,84$ грн/м³, що нижче на 3 % від існуючої. Застосування технологічної схеми з нижнім розвантаженням дозволить зменшити витрати на розкрив на 79,65 млн грн/рік.

4.3 Методичні рекомендації до визначення раціональних параметрів вибою екскаватора драглайна, для підвищення його продуктивності

Використання комплексів екскаваторів драглайнів для безпосереднього навантаження автосамоскидів, має багато недоліків. Основним з них є зменшення продуктивності екскаватору в порівнянні з безтранспортною технологією.

В зв'язку з цим була розроблена методика підвищення продуктивності драглайна, за рахунок раціоналізації значення висоти уступу та ширини заходки. Відмінною рисою методики є комплексне врахування трьох факторів: загального кута повороту, втрат часу на переміщення у новий блок та втрат часу на заукоску уступа.

Алгоритм визначення раціональних параметрів вибою драглайна, для досягнення його максимальної продуктивності, представлений на рис. 4.2.

Основні положення методики визначення раціональних параметрів вибою екскаватора драглайна для підвищення його продуктивності полягають в наступному:

1. Згідно з проектом та гідрогеологічними умовами обирається одна з запропонованих схем роботи комплексів обладнання «ЕШ+автосамоскид» (табл.2.1).
2. Для обраної схеми роботи визначається загальний кут повороту драглайна на розвантаження.



Рис. 4.2. Алгоритм визначення раціональних параметрів вибою драглайна, для досягнення його максимальної продуктивності

3. Визначений кут повороту враховується при визначенні тривалості повороту, за формулою запропонованою акад. В.В. Ржевським [2].

4. Отримане значення тривалості повороту враховується при визначенні тривалості циклу.

5. Тривалість циклу заноситься до класичної формули визначення продуктивності екскаватора. Також при розрахунках продуктивності враховуються не виробничі витрати часу, а саме час на переміщення екскаватору у новий блок T_6 та час на закуску уступу T_3 :

6. Визначається експлуатаційна продуктивність екскаватора драглайна для мінімальних та максимальних значень ширини заходки і висоти уступу за умовами безпеки.

7. За отриманими результатами розрахунку фактичної годинної продуктивності драглайну будується графік залежності $Q_{e.f.}^{год} = f(A)$ та $Q_{e.f.}^{год} = f(H)$.

8. Обираються раціональні значення висоти уступу і ширини заходки, при яких отримується максимальна продуктивність екскаватору.

Алгоритм реалізовано у програмному середовищі EXCEL, що дозволило використовувати його при проектуванні кар'єрів зі складними гідрогеологічними умовами, та визначати раціональні параметри вибою екскаватора драглайна.

Запропоновані методичні рекомендації щодо встановлення раціональних параметрів вибою екскаватора драглайна при його роботі в комплексі з автосамоскидами, для підвищення його продуктивності, передані та впроваджені в проектний інститут ТзОВ «Гірхімпром» для використання в робочих проектах будівництва та експлуатації обводнених розсипних родовищ корисних копалин (Додаток Г).

Апробація розробленої методики була проведена на прикладі розкривних робіт Мотронівсько-Аннівської ділянки Малишевського розсипного титан-цирконієвого родовища.

4.4. Розробка рекомендацій вибору раціональних схем роботи екскаватора драглайна при навантаженні автосамоскидів для Мотронівсько-Аннівського кар'єру

Попередні дослідження зі встановлення техніко-економічних показників технологічних схем роботи комплексів обладнання «ЕШ+автосамоскид» дозволили встановити, що найбільш ефективними схемами за собівартістю розкриву є схеми з нижнім розвантаженням, та розташуванням автосамоскиду по середині ширини заходки (схема №9 та №13). Також при використанні раціональних параметрів вибою економічно ефективною є схеми з розвантаженням в автосамоскид, що розташовується на рівні установки драглайна, та безпосередньо біля запобіжного валу (схема №1 та №5). Тому при виборі раціональних схем роботи драглайна в комплексі з автосамоскидами для Мотронівсько-Аннівського кар'єру, будуть розглядатись чотири. перелічені схеми [82].

Схеми, що розглядаються, циклічні та не мають нерозривного зв'язку з відвальним фронтом гірничих робіт. Це дозволяє відпрацьовувати робочий борт кар'єру з певною незалежністю від формування борту внутрішнього відвалу, також надає змогу змінювати параметри робочих майданчиків.

Збільшення робочих майданчиків при відпрацюванні робочого борту кар'єру, призводить до зменшення ступеня концентрації гірничих робіт у кар'єрі [53]. Це призводить до збільшення об'ємів розкривних робіт, за рахунок збільшення об'єму кар'єру. Тому при виборі раціональної технологічної схеми роботи комплексів «ЕШ+автосамоскид», необхідно встановити кут укосу робочого борту кар'єру та ступінь концентрації гірничих робіт кар'єру для кожної з чотирьох схем, та порівняти їх.

Раціональна висота уступу для запропонованих схем $H=10$ м, а середня потужність розкривних порід Мотронівського розсипу складає $m=40$ м, тому розкрив пропонується вести чотирма горизонтами по 10 м. Значення ширини заходки обираємо оптимальне для кожної схеми, базуючись на попередніх дослідженнях.

При існуючій схемі видобутку, рудний уступ $h=10$ м затоплений та відпрацьовується земснарядами. Обираємо існуючу технологію видобутку для чотирьох запропонованих схем розкриву.

Однак при використанні існуючої технології видобутку, рудний уступ затоплений, що робить не можливим розміщення автосамоскиду на його кривлі. Тому при використанні схеми №9 та №13 для розкриву, надрудний уступ будемо розробляти за схемою №1.

Для розрахунку укосу робочого борта кар'єра використовуємо формулу [38]:

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{\sum_{i=1}^n H_y + h}{\sum_{i=1}^n h_i \cdot \operatorname{ctg} \gamma_i + \sum_{i=1}^n H_y \cdot \operatorname{ctg} \alpha_i + \sum_{i=1}^n Ш_{pi}}, \text{ град}, \quad (4.14)$$

де n – кількість уступів розробки;

i – порядковий номер уступу;

h – висота видобувних уступів, м;

γ – кут укосу видобувного уступу, град; $\gamma = 44$ град;

$Ш_p$ – ширина робочого майданчику розкривного уступу.

Ширину робочих майданчиків визначаємо за виразом:

$$Ш_p = A + C + П + T + z, \text{ м} \quad (4.15)$$

де C – відстань від нижньої бровки уступу до транспортної полоси;

T – ширина транспортної полоси, м. (по СНиП 2.05.07-91 $T=11$ м) [47];

$П$ – ширина полоси для додаткового обладнання та електропостачання, м;

z – ширина берми безпеки, м;

Виконуємо розрахунок результуючого кута укосу робочого борта кар'єру для кожної схеми, результати розрахунку заносимо до таблиці 4.5., та побудуємо діаграму (рис. 4.3).

Таблиця 4.5

Параметри елементів системи розробки при застосуванні різних схем розкриття

Елементи систем розробки	Схема №1					Схема №5					Схема №9					Схема №13				
	Розкритті уступи				Корисна копалина	Розкритті уступи				Корисна копалина	Розкритті уступи				Корисна копалина	Розкритті уступи				Корисна копалина
	1	2	3	4		1	2	3	4		1	2	3	4		1	2	3	4	
Висота уступу, м	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Ширина заходки, м	24	24	24	24	30	28	28	28	28	30	22	22	22	24	30	24	24	24	28	30
Робочий кут укосу уступу, град	40	40	40	40	27	40	40	40	40	27	40	40	40	40	27	40	40	40	40	27
Стійкий кут укосу уступу, град	32	32	32	32	44	32	32	32	32	44	32	32	32	32	44	32	32	32	32	44
Ширина робочого майданчика, м	42	42	42	42	70	46	46	46	46	70	40	40	40	42	70	42	42	42	46	70
Результуючий кут укосу робочого борта кар'єру, град	12,5					11,7					12,8					12,3				

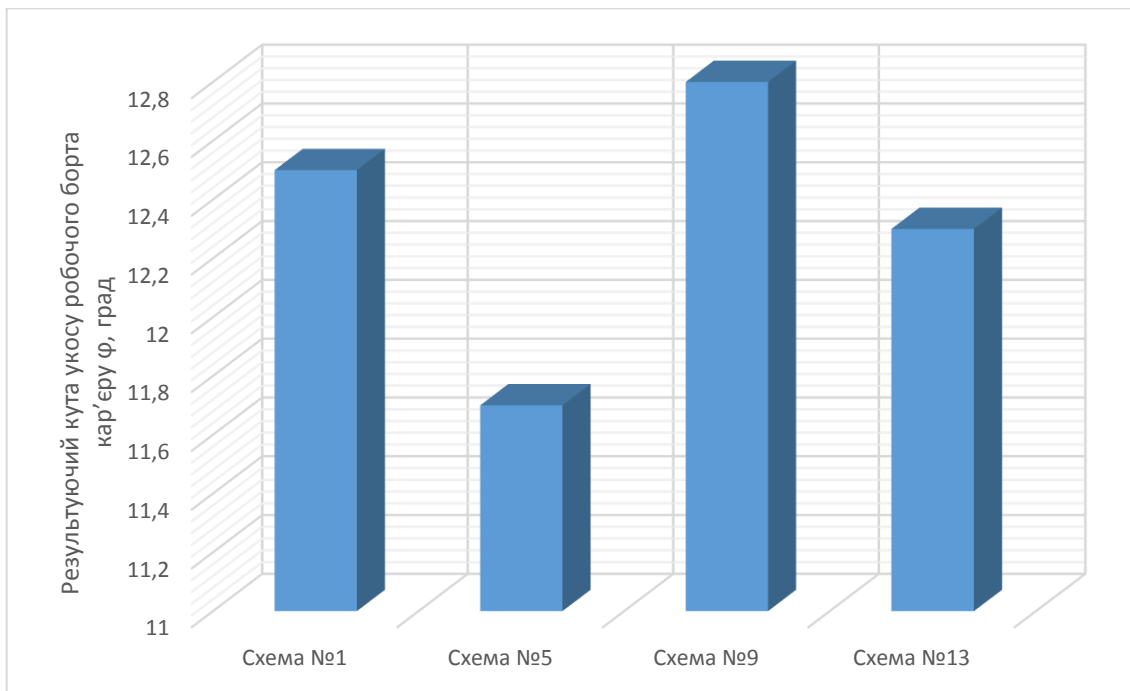


Рис.4.3. Результуючий кут укосу робочого борта кар'єру для кожної з запропонованих схем роботи ЕШ-10/50 в комплексі з автосамоскидами

Аналізуючи данні діаграми (рис. 4.3.) встановлено, що найбільший кут укосу робочого борта кар'єру $\varphi=12,8^\circ$, досягається при застосуванні технологічної схеми з нижнім розвантаженням (схема №9), а найменший кут робочого борта кар'єру $\varphi=11,7^\circ$ при схемі з розвантаженням на рівні установки (схема №5).

Більший кут укосу робочого борта кар'єру при застосуванні схеми №9, обумовлений меншою шириною заходки.

Для детальнішого дослідження та вибору технологічної схеми роботи екскаватора-драглайна, розрахуємо показник ступеня концентрації гірничих робіт в кар'єрі K_r . Він визначається відношенням мінімально допустимої площі робочої зони кар'єру до фактичної [53].

Показник ступеня концентрації гірничих робіт в кар'єрі визначається за формулою:

$$K_r = \frac{S_{don}}{S_\phi}, \quad (4.16)$$

де $S_{\text{доп}}$ – мінімально допустима площа робочої зони кар'єру за умовою стійкості масиву порід, га;

S_{ϕ} – фактична площа робочої зони кар'єру при системі розробки, що використовується, га; Визначається за формулою:

$$S_{\phi} = L_{p.z} \cdot ((H_p + h) \cdot (ctg\varphi + ctg\beta_e) + b), \quad (4.17)$$

де $L_{p.z}$ – довжина робочої зони кар'єру по поверхні, м;

β_e – результуючий кут укосу внутрішнього відвалу, град. Для існуючої технології відвалоутворення $\beta_e = 15^\circ$.

b – відстань між нижніми бровками видобувного уступу і відвалу, м.

Мінімально допустима площа робочої зони кар'єру розраховується за формулою:

$$S_{\text{доп}} = L_{\text{доп}} \cdot ((H_p + h) \cdot (ctg\varphi_E + ctg\beta_E) + b), \quad (4.18)$$

де $L_{\text{доп}}$ – мінімально допустима довжина робочої зони кар'єру по поверхні, м;

β_E – стійкий кут укосу борту внутрішнього відвалу, град;

φ_E – стійкий кут укосу робочого борту кар'єру, град.

Для умов розробки Мотронівсько-Аннівського розсипу, $\beta_E = 18,4^\circ$ та $\varphi_E = 31,4^\circ$ [28].

Виконаємо розрахунок фактичної площі робочої зони кар'єру та значення показника ступеня концентрації гірничих робіт, для кожної із чотирьох запропонованих схем. Результати розрахунку зображені на діаграмі (рис. 4.4.).

Аналізуючи результати розрахунку показника концентрації гірничих робіт в кар'єрі (рис. 4.4.), можемо стверджувати, що найбільш ефективною технологічною схемою роботи драглайна в комплексі з автосамоскидам, є схема з нижнім розвантаженням та розташуванням драглайну на відстані 0,5А від верхньої бровки уступу (схема №9). Це зумовлено найбільшим

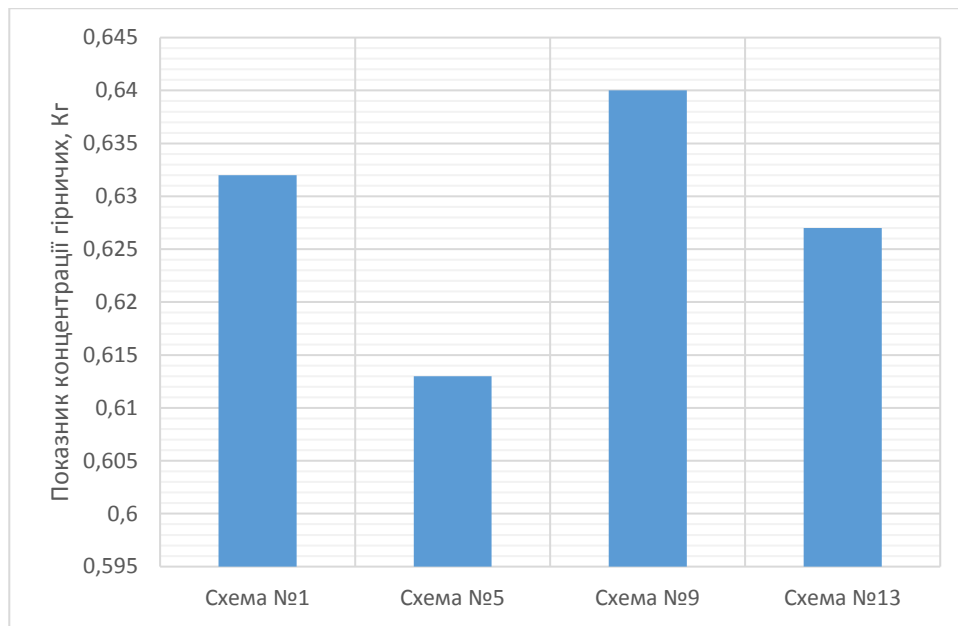


Рис.4.4. Показник концентрації гірничих робіт в кар'єрі для кожної з запропонованих схем роботи ЕШ-10/50 в комплексі з автосамоскидами

показником концентрації гірничих робіт в кар'єрі $K_c=0,64$, що вказує на мінімальні значення робочої зони кар'єра в порівнянні з іншими схемами.

Провівши дослідження та розрахунки показника ступеня концентрації гірничих робіт в кар'єрі, обираємо схему роботи драглайна з нижнім розвантаженням в автосамоскид, що розташовується по середині ширини заходки (схеми №9) для роботи в умовах Мотронівсько-Аннівського кар'єру.

Розроблені рекомендації впроваджені на Мотронівському ГЗК (Додаток Е)

Основні технологічні параметри запропонованої схеми приведені на рис. 4.5.

Висновки по розділу 4.

1. Проведені експериментальні дослідження дозволили встановити, що при зменшенні ширини заходки до оптимальних значень, продуктивність ЕШ-10/50 за зміну зростає на 1,8 % при схемі з розвантаженням в автосамоскид, що знаходиться на рівні установки екскаватора, та продуктивність зростає на 3,8 % при схемі з розвантаженням в автосамоскид, що знаходиться на нижньому майданчику уступу.

2. Встановлені найбільш ефективні технологічні схеми роботи екскаватора драглайна в комплексі з автосамоскидом за техніко-економічним розрахунком, це схеми з нижнім розвантаженням та розташуванням автосамоскиду по середині ширини заходки: схеми №9 та №13. Собівартість видобутку 1 м³ розкривних порід при застосуванні цих схем склала $C=45,84$ грн/м³, що нижче на 3 % від існуючої. Застосування технологічної схеми з нижнім розвантаженням дозволяють зменшити витрати на розкрив на 79,65 млн грн/рік, при річній продуктивності кар'єру по розкриву $Q_{\text{розкриву}}=13,5$ млн.м³/рік.

3. Розроблена та впроваджена методика підвищення продуктивності драглайна, за рахунок оптимізації значення висоти уступу та ширини заходки, що дозволяє отримувати оптимальні параметри вибою екскаватора.

4. Розроблені рекомендації по вибору раціональних схем роботи екскаваторів драглайнів при навантаженні автосамоскидів для Мотронівсько-Аннівського кар'єру, з врахуванням показника ступеня концентрацій гірничих робіт в кар'єрі, дозволили встановити, що для умов Мотронівського ГЗК найбільш ефективною є схема роботи драглайна з нижнім розвантаженням в автосамоскид, що розташовується по середині ширини заходки, та розташуванням драглайну на відстані 0,5А від верхньої бровки уступу (схеми №9).

Заключні висновки

Дисертація є завершеною науково-дослідницькою роботою, в якій вирішена актуальна наукова задача, що полягає в обґрунтуванні оптимальних параметрів вибою екскаваторів драглайнів при роботі в комплексі з автосамоскидами, для підвищення їх продуктивності, що дозволяє підвищити ефективність відкритих гірничих робіт за рахунок підвищення продуктивності гірничотранспортного обладнання та зниження експлуатаційних витрат на гірничі роботи. Основні результати досліджень є вагомими для технології роботи екскаваторів драглайнів що працюють в комплексі з автосамоскидами.

Найбільш важливі наукові й практичні результати, висновки й рекомендації полягають наступному:

1. Розроблено алгоритм для визначення кутів повороту драглайна при його роботі в комплексі з автосамоскидами.

2. Отримано формули для визначення загальних кутів повороту екскаватора драглайна, що дозволило встановити залежності між кутом повороту драглайна та параметрами вибою. При цьому загальний кут повороту змінюється пропорційно зміненню ширини заходки та висоти уступу, що розробляється.

3. Встановлені залежності теоретичної продуктивності драглайна від параметрів вибою, які дозволяють стверджувати, що параметри вибою безпосередньо впливають на продуктивність драглайна, а саме при збільшенні висоти уступу та ширини заходки теоретична продуктивність екскаватору зменшується від 24% до 43%.

4. Вперше досліджений вплив витрат часу на переміщення екскаватора у новий блок, що в свою чергу дозволило встановити залежність витрат продуктивності екскаватора від ширини заходки та висоти уступу.

5. Виконано аналіз впливу параметрів вибою на продуктивність екскаватора, за рахунок витрат часу на заукоску уступу, що дозволяє

встановити значний вплив на втрату продуктивності має значення ширини заходки, при її збільшенні до $A=72\text{м}$ втрати зменшуються на 90%.

6. Вперше встановлені формули визначення фактичної продуктивності драглайна з урахуванням трьох факторів: кута повороту на розвантаження, втрат часу на переміщення у новий блок та втрат часу на заукоску уступу.

7. Розроблена та впроваджена методика підвищення продуктивності драглайна, за рахунок оптимізації значення висоти уступу та ширини заходки, що дозволяє отримувати оптимальні параметри вибою екскаватора.

8. Розроблені рекомендації по вибору раціональних схем роботи екскаваторів драглайнів при навантаженні автосамоскидів для Мотронівсько-Аннівського кар'єру, з врахуванням показника ступеня концентрацій гірничих робіт в кар'єрі, дозволили встановити, що для умов Мотронівського ГЗК найбільш ефективною є схема роботи драглайна з нижнім розвантаженням в автосамоскид, що розташовується по середині ширини заходки, та розташуванням драглайну на відстані $0,5A$ від верхньої бровки уступу (схеми №9).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Анпилогов, А.Е. (1986). Использование драглайнов на погрузке горной массы. *Уголь*, (7), 26-28.
2. Астафьев, Ю.П. (1983). *Добыча руд открытым способом за рубежом*. Москва: Недра, 138 с.
3. Астафьев, Ю.П., & Куксов, М.Д. (1982). Прогнозирование технической производительности драглайнов при разработке скальных пород. *Разработка рудных месторождений*. Киев: Техника, 21-23.
4. Арсентьев, А.И. (1982). *Устойчивость бортов и осушение карьеров*. Москва: Недра, 165 с.
5. Бочай, Л.В., Бурський, Д.С., Веселовський, Г.С., & Лазуренко, В.І. (1998). Головні геолого-промислові типи титанових і цирконієвих розсипних родовищ України та умови їх утворення. *Мінеральні ресурси України*, (3), 10-12.
6. Баранова, Н.М., Веклич, М.Ф., & Дядченко, М.Г. (1960). Условия формирования и закономерности размещения кайнозойских россыпей на территории Украинской ССР. *Закономерности размещения полезных ископаемых*, 99-104.
7. Баранов, Ю.Д. (2009). *Обґрунтування технологічних параметрів селективно-валової розробки розсипних титано-цирконієвих руд*. Дис. канд. техн. наук. Київ, Україна.
8. Воловик, В.П. (2010). *Обґрунтування параметрів землезберігаючих технологій при відкритій розробці розсипних родовищ титанових руд і буриштину*. Дис. канд. техн. наук. Київ, Україна.
9. Варфоломейчук, А.В., Бугайченко, В.Е., & Кривашов, Э.Н. (1978). *Применение экскаваторов ЭШ-5/45 и ЭШ-6/60 для погрузки угля на разрезе "Морозовский"*. *Уголь Украины*, (13), 15.
10. Васильев, М.В. (1962). *Научные основы проектирования и эксплуатают автомобильного транспорта на открытых горных разработках*. Свердловск: Уральский рабочий, 331 с.

11. Васильев, М.В. (1955). Передовой опыт при выемке грунта драглайнами. *Горный журнал*, (11), 10-15.

12. Васильев, М.В., Саканцев, Г.Г., & Нейфельд, А.Г. (1983). Условия и перспективы применения драглайнов в железорудной промышленности. *Горный журнал*, (5), 5-8.

13. Галецкий, Л. С., Ремезова, Е. А., & Романюк, Л. С. (2009). *Комплексное освоение титанорудной и редкометальной минеральносырьевых баз Украины, Горно-металлургический комплекс Украины*. Бизнес-справочник.

14. Галецький, Л.С., Нікулін, Д.О., Ремезова, О.О., Охоліна Т.В., & Яременко, О.В. (2015). Інвестиційний об'єкт нового типу: Торчинське апатит-ільменітове родовище. *Друга міжнародна науково-практична конференція «Надрокористування в Україні»*, 73-76.

15. Головач, Н.А., Воловик, В.П. (2008). Обоснование параметров горных работ на карьерах Иршанского ГОКА с учётом экологических требований. *Форум горняков*. Днепропетровск: РИК НГУ, 158-163.

16. Демин, А.А., Кузнецов, И.П., & Игнатъев, А.А. (1987). Совершенствование конструкции подвески. *Горный журнал*. (9), 48-49.

17. Домбровский, Н.Г. (1961). *Повышение производительности одноковшовых экскаваторов*. Москва: Стройиздат, 319 с.

18. Дриженко, А.Ю. Лазников. А.М. (2012). Технологические решения разработки месторождений титановых руд с мощными породами вскрыши. *Форум гірників*. Дніпропетровськ: РИК НГУ, 62-67.

19. Егин, Б. А., Щитов, Д. И., & Виноградская, Т. В. (1976). Учёт влияния ширины заходки на производительность шагающих экскаваторов. *Межвузовский сборник «Разработка угольных месторождений открытым способом»*, (4), Кемерово: Кузбасский политехнический институт, 77-82.

20. Глушков, А.Н., Сокотнюк, А.А., & Куксо, Н.Д. (1984). Имитационная модель формирования эксплуатационной производительности драглайнов при выемке и погрузке скальных пород. *САПР горнодобывающих*

предприятий: Тезисы докладов Республиканской научно-технической конференции. Ташкент, 176-178

21. Калашников, А.Т. & Кулигин, В.Б. (1974). Погрузка скальных пород экскаватором ЭШ-14/75. *Горный журнал*, (14), 75-77.

22. Калашников, А.Т. (1975). Применение экскаваторов ЭШ-6/60 на Сарбайском руднике. *Горный журнал*, (10), 12-14.

23. Кочергин, А.М. (1980). Математические модели рабочих процессов экскаваторов-драглайнов ЭШ-10/60 и ЭШ-10/70А. *Изв.вузов. Геология и разведка.* Деп. в ВИНТИ, (4), 32-80.

24. Кочергин, А.М. *Хронометражные наблюдения за работой драглайнов по транспортнсий и бестранспортной схемам.* Изв.вузов Геология и разведка. Деп. в ВИНТИ.

25. Гуменик, И.Л., Полищук, С.З., Шурыгин, В.Д., & Емец, Н.А. (1999). К вопросу повышения эффективности производства вскрышных работ на карьере №7 Вольногорского ГГМК. *Науковий вісник Національної гірничої академії України*, (6), 32-35.

26. Лосицкий, В.В., & Булгаков, И.С. (1964). Разработка несвязных пород мощными экскаваторами-драглайнами при транспортной системе. *Совершенствование технологии открытой разработки железорудных месторождений КМА.* Москва: Наука, 61-81.

27. Лосицкий, В.В. (1973). Применение мощных драглайнов на строительстве и эксплуатации глубоких карьеров Курской магнитной аномалии. *Глубокие карьеры.* Киев: Наукова думка, 112-115.

28. Лазніков, О.М., Собко, Б.Ю., & Гайдін, А.М. (2017). *Обгрунтування раціональних технологічних схем відкритої розробки обводнених розсипних родовищ.* Дніпро, 185 с.

29. Лазников, А.М., Собко, Б.Е., & Хена, У. (2012). Исследование эффективных вариантов вскрытия и развития карьера Мотроновско-Анновского участка Малышевского месторождения. *Збірник наукових праць НГУ*, (38), 104-111.

30. Лазников, А.М., Полищук, С.З., Собко, Б.Е., & Полищук А.В. (2013). Моделирование устойчивости бортов карьера при разработке Мотроновско-Анновского участка Малышевского месторождения. *Збірник наукових праць НГУ*, (41) 187-193.
31. Лешков, В.Г. (1985). *Разработка россыпных месторождений*. Москва: Недра, 568 с.
32. Маєвський, А.М., & Дробаха, А.В. (2010) Оптимізація параметрів забою екскаваторів-драглайнів, що працюють у комплексі з автосамоскидами. *Збірнику статей «110-річчя Кременчуцького державного політехнічного університету»*. Кременчук: КДПУ, 72-81.
33. Мельников, Н.В. (1982) *Краткий справочник по открытым горным работам*. Москва: Недра, 414 с.
34. Макеев, Г.Е. (1978). Применение шагающего экскаватора для погрузки породы в автотранспорт. *Огнеупоры*, (10), 21-22.
35. Максимчук, А.Г., Куксов, М.Д., & Бугаева, Е.Г. (1985). Об эффективности использования драглайнов ЭШ-10/70 при транспортной системе разработки скальных пород. В кн.: *Разработка рудных месторождений*. Киев: Техника, 53-56.
36. Мельников, Н.В., Арсентьев, А.И., & Газизов, М.С. (1973). *Теория и практика открытых разработок*. Москва: Недра, 635 с.
37. Гурский, Д.С., Ефимчук, К.Е., & Калинин, В.И. (2005). *Металлические полезные ископаемые Украины*. Львов: Центр Европы, 785 с.
38. *Методическое пособие по инженерно-геологическому изучению горных пород*. Москва: Изд. МГУ. (том 1), 199 с.
39. Новожилов, М. Г., Эскин, В. С., & Корсунский, Г.Я. (1978). *Теория и практика открытой разработки горизонтальных месторождений*. Москва: Недра, 328 с.
40. Потапов, А.М., & Вайман, С.З. (1977). Совершенствование технологии вскрышных работ на породах с низкой несущей способностью. *Горный журнал*, (3), 27-29.

41. Пешков, В.Г. (1986). Драги. *Горная Энциклопедия. Том 2.* Москва: «Советская энциклопедия», 250-252.
42. Прокопенко, В.И., & Барсуков, И.М. (1991). Резервы повышения эффективности использования земель на карьерах в мягких породах. *Изв. вузов. Горный журнал*, (7), 12—14.
43. Ржевский, В.В. (1985). *Открытые горные работы. Часть I. Производственные процессы.* Москва: Недра, 509 с.
44. Рогатин, Н. Н. (1982). *Технология и механизация открытых горных работ.* Москва: Недра, 277 с.
45. Садыков, Г.Х., Аддамжаров, А.И., Жаманкулов, Ж.К. (1997). О производительности драглайна по системе "экскаватор-карьер" в условиях Лисаковского месторождения. *Открытая разработка недр Казахстана.* Алма-Ата, (50), 59-64.
46. Собко, Б.Е. (2008). *Совершенствование технологии открытой разработки россыпных титано-циркониевых руд. Монография,* Днепропетровск: РИК НГУ, 167 с.
47. *Строительные нормы и правила, Промышленный транспорт СНиП 2.05.07-91,* (2011), 111с.
48. Собко, Б.Е., Ковров, О.С., & Череп, А.Ю. (2017). Геомеханическое обоснование параметров рабочей зоны карьера в условиях повышенной обводненности. *Збірник наукових праць НГУ* (51) 64-77.
49. Собко, Б.Е. (2007). Классификация россыпных месторождений Украины. *Науковий вісник НГУ*, (7), 32-36.
50. Собко, Б.Е., & Марченко, В.В. (2007). Разработка методики выбора рациональной технологической схемы вскрышных работ при освоении россыпных месторождений. *Геотехническая механика: межвед. сб. научн. трудов.* (72) 110-118.
51. Собко, Б.Е. (2008) Определение технологических параметров для оценки эффективности систем разработки россыпных месторождений.

Системные технологии: региональный межвуз. сб. научн. трудов. (54), 141 – 145.

52. Собко, Б.Е. (2008). Выбор рациональных технологических схем добычных работ при разработке россыпных месторождений. *Научный вестник НГУ*, (1), 16-18.

53. Собко, Б.Е. (2008). Технологія розробки Мотронівської ділянки Вільногірського ГМК. *Збірник наукових праць НГУ*, (30), 56 – 66.

54. Собко, Б.Ю. (2008). Удосконалення технологічних схем розробки розсипних руд на кар'єрах Вільногірського ГМК. *Научный вестник НГУ*, (5), 13–16.

55. Собко, Б.Ю. (2009). Обґрунтування параметрів раціональних технологічних схем відкритої розробки для умов розсипних родовищ Іршанського ГЗК. *Збірник наукових праць НГУ*, (32), 26-31.

56. Собко, Б.Е., Лазников, А.М., & Краснопер, В.П. (2010). К вопросу выбора рациональных землесберегающих технологических схем разработки россыпных титаноциркониевых руд. *Збірник наукових праць НГУ*, (35) 39-44.

57. Собко, Б.Ю. (2010). Обґрунтування раціональних технологічних схем розробки розсипних родовищ України. *Геотехническая механика: межвед. сб. научн. Трудов*, (91), 211-218.

58. Собко, Б.Ю., Лотоус, В.В., Маєвський, А.М., & Драбаха, А.В. (2011). Визначення продуктивності екскаваторів-драглайнів, що працюють у комплексі із великовантажними автосамоскидами. *Научный вестник НГУ*, (5), 31-36.

59. Собко, Б.Ю., Лазников, А.М., & Гайдин, А.М. (2012). Рациональная технология разработки обводнённых россыпей. *Сб. научных трудов Академии горных наук Украины*. Кривой Рог:Дионис, 130-137.

60. Собко, Б.Е. (2013) Выбор рационального комплекса горнотранспортного оборудования для разработки Мотроновско-Анновского участка Малышевского россыпного месторождения. *Збірник наукових праць НГУ*, (43), 184-192.

61. Собко, Б.Е. (2007). Выбор и обоснование показателей оценки технологических схем разработки россыпных месторождений. *Сборник научных трудов НГУ*, (27) 42-47.

62. Собко Б.Ю., & Ложников О.В. (2018). Дослідження параметрів транспортної системи відкритої розробки обводнених розсипних родовищ, *Збірник наукових праць НГУ*, (56), 82–93.

63. Собко Б.Ю., & Ложников О.В. (2018). Встановлення ефективної ширини заходки драглайну при відпрацюванні надрудного уступу з водопонижуючими свердловинами. *Геотехнічна механіка ІГТМ*, (139), 145 – 156.

64. Собко, Б.Е., Маевский, А.М., Несветайло, Н.В., & Чебанов, М.А. Определение оптимальной ширины заходки экскаватора драглайна при работе его в комплексе с автосамосвалами. *Збірник наукових праць НГУ*. (43) 178-184.

65. Собко, Б.Ю., Маєвський, А.М., & Чебанов, М.О. (2015). Встановлення залежності кута повороту від ширини заходки та висоти уступу, при розвантажуванні драглайну у автосамоскид. *Збірник наукових праць НГУ*, (49), 81-86.

66. Собко, Б.Ю., & Чебанов, М.О. (2017). Безпечні параметри вибою экскаватора драглайна при навантаженні автосамоскидів. *Збірник наукових праць НГУ*, (52), 8–16.

67. Собко, Б.Ю., & Чебанов, М.О. (2018). Вплив фізико-механічних властивостей гірських порід на ширину заходки экскаватора драглайна при навантаженні автосамоскидів. *Збірник наукових праць НГУ*, (55), 112–119.

68. Собко Б.Ю., Чебанов М.О. (2018). Встановлення залежності ширини берми безпеки від фізико-механічних властивостей гірничої маси, що екскавується. *Форум гірників*. Дніпропетровськ: РВК НТУ.

69. Ткаченко, В.Я. (1976). Определение максимального угла раскачивания ковша драглайна. *Горный журнал*. (12), 70-74.

70. *Технология открытой разработки месторождений полезных ископаемых*. Часть I (1971). под ред. Новожилова М. Г. Москва: Недра, 512 с.

71. *Технология открытой разработки месторождений полезных ископаемых*. Часть II (1971). под ред. Новожилова М. Г. Москва: Недра, 518 с.

72. Трубецкой, К.Н., Потапов, М.Г., Веницкий, К.Е., & Мельников, Н.Н. (1994). *Справочник Открытые горные работы*. Москва: «Горное бюро», 590 с.

73. Эскин, В.С., Емец, Н.А., & Леляков, И.И. (1967). Рабочее оборудование драглайна для эффективной погрузки горной массы в транспортные средства. *Марганец. Добыча, обогащение и переработка*, (4), 38-41.

74. Эскин, В.С., Леляков, И.И., & Емец, Н.А. (1989). Повышение эффективности применения драглайнов для погрузки горной массы на карьерах. *Горный журнал*, (2), 92-95.

75. Эскин, В.С., Емец, Н.А., & Беляков, Е.Е. (1987). К вопросу эффективного применения драглайнов на глубоких карьерах. *Повышение эффективности капитальных вложений на глубоких карьерах: Тезисы докладов Всесоюзной научно-технической конференции*. Свердловск, (с. 55)

76. Эскин, В.С., Леляков, И.И., & Емец, Н.А. (1988). Погрузка горной массы драглайнами в транспортные средства с использованием разгрузочных упоров. *Интенсификация горных работ на угольных разрезах: Меж- вуз. сб. науч. тр. Кемерово*, 75-77.

77. Эскин, В.С., Леляков, Е.Е., & Емец, Н.А. (1986). Расширение области применения драглайнов по транспортной системе разработки. *Новое в технологии открытой угледобычи: Межвуз. сб. науч. тр. Кемерово*, 41-44.

78. Эскин, В. С., Серeda, Г. Л., & Корсунский, Г.Я. (1969). Методика определения оптимальной ширины заходки при усложнённой бестранспортной системе разработки (Украинская схема). *Сборник статей*

«Совершенствование техники и технологии открытой разработки месторождений», (2), 140-147.

79. Фиделев, А.С., Гармаш, Н. З., & Туренко, А. Н. (1956). *Исследование работы землеройных машин*. Киев: Издательство АН УССР, 66 с.

80. Фиделев, А. С. (1960). *Основные расчеты при открытой разработке нерудных строительных материалов*. Москва: Госстройиздат, 172 с.

81. Чебанов М.О., Собко Б.Ю., Маєвський А.М., & Несвітайло М.В. (2015). Обґрунтування параметрів технологічної схеми роботи комплексів обладнання «ЭШ +автосамоскид» при розробці Мотронівсько-Аннівського кар'єру Вільногірського ГМК. *Форум гірників*. Дніпропетровськ: РВК НГУ, 128-136.

82. Чебанов, М.О., & Собко, Б.Ю. (2016). Розробка рекомендацій щодо вибору оптимального варіанту початку розкриття та розробки Мотронівсько-Аннівської ділянки Малишевського родовища. *Форум гірників*. Матеріали міжнародної конференції. Дніпро, 92 – 98.

83. Чебанов, М.О., & Собко, Б.Ю. (2019). Перспективы применения экскаватора драглайна в комплексе с автосамосвалами для разработки месторождений со сложными гидрогеологическими условиями. *Инновационные технологии – ключ к успешному решению фундаментальных и прикладных задач в рудном и нефтегазовом секторах экономики РК: труды Сатпаевских чтений*. Алматы: КазНИТУ имени Сатпаева, 709-713.

84. Чебанов М.О. (2020). Обґрунтування раціонального місця установки экскаватора драглайна у вибої при його роботі з автосамоскидами. *Збірник наукових праць НГУ*, 60, 143–149.

85. Хохряков, В.С. (1980). *Проектирование карьеров*. Москва: Недра, 270 с.

86. Шакиров, А.Ш. (1973). Разработка скальных пород драглайном при погрузке на железнодорожный транспорт. *Открытые разработки недр Казахстана*, (53), 29-33.

87. Шорохов, С.М. (1973). *Технология и комплексная механизация разработки россыпных месторождений*. Москва: Недра, 765 с.

88. Шурыгин, В.Д. (2004). *Обоснование параметров открытой разработки россыпных месторождений в сложных горно-геологических условиях*. Дис. канд. техн, наук: 05.15.03, Днепропетровск, 183 с.

89. Шурыгин, В.Д. (2002). Особенности развития технологии открытой разработки Самотканского месторождения. *Металлургическая и горнорудная промышленность*, (4), 73-75.

90. <https://inventure.com.ua/news/ukraine/titanovye-potencial-perspektivy-ukrainy> Титановый потенциал Украины

91. <https://velta-ua.com/uk/production>

92. Sobko, B.Y., Laznikov, O.M., Gaidin, A.M., & Chebanov, M.O. (2015). Ways of mitigating environmental influence of developing Motronivsko-Annivska area of malyshevske deposit. *Bergakademie Freiberg*, 464 – 470.

Додаток А

1. Схеми роботи екскаваторів драглайнів

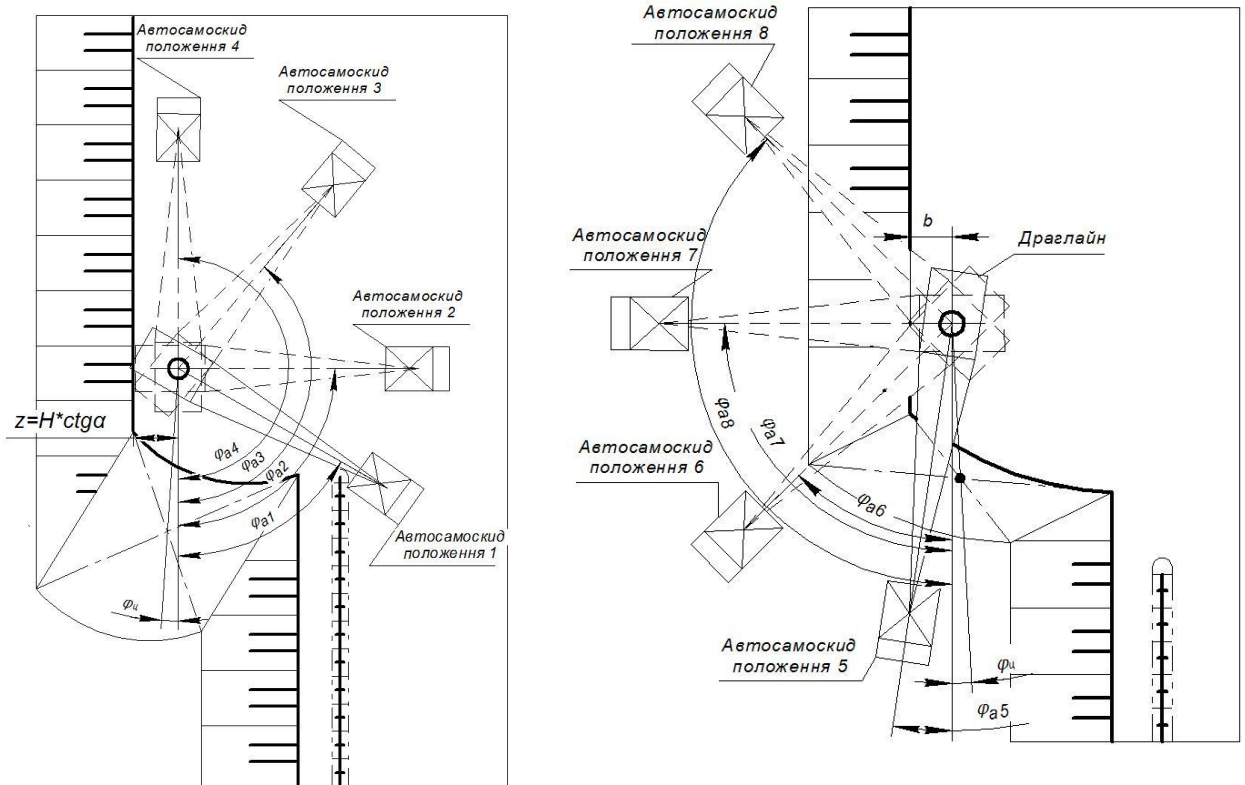


Рис. 1. Схеми роботи екскаваторів драглайнів з розвантаженням гірничої маси в автосамоскид

2. Розрахунок загального кута повороту драглайна

Таблиця 1

Значення кута φ_n при зміні ширини заходки A і прийнятій висоті уступу $H_y = 10$ м

Ширина заходки A , м	Кут повороту при розташуванні драглайну на відстані $0,5A$ від верхньої бровки, град		Кут повороту при розташуванні драглайну на відстані B від верхньої бровки, град	
	Схема 10	Схема 11	Схема 14	Схема 15
16,5	16,72	61,72	14,8	59,8
18	17,60	62,60	16,2	61,2
20	18,74	63,74	18,0	63,0
22	19,86	64,86	19,8	64,8
24	20,95	65,95	21,6	66,6
26	22,02	67,02	23,5	68,5

28	23,06	68,06	25,4	70,4
30	24,08	69,08	27,3	72,3
32	25,07	70,07	29,2	74,2
34	26,04	71,04	31,3	76,3
36	26,98	71,98	33,0	78,0
38	27,90	72,90	34,9	79,9
40	28,79	73,79	36,8	81,8
42	29,67	74,67	38,7	83,7
44	30,52	75,52	40,6	85,6
46	31,34	76,34	42,4	87,4
48	32,15	77,15	44,2	89,2
50	32,94	77,94	46,0	91,0
52	33,70	78,70	47,8	92,8
54			49,5	94,5
56			51,3	96,3
58			52,9	97,9

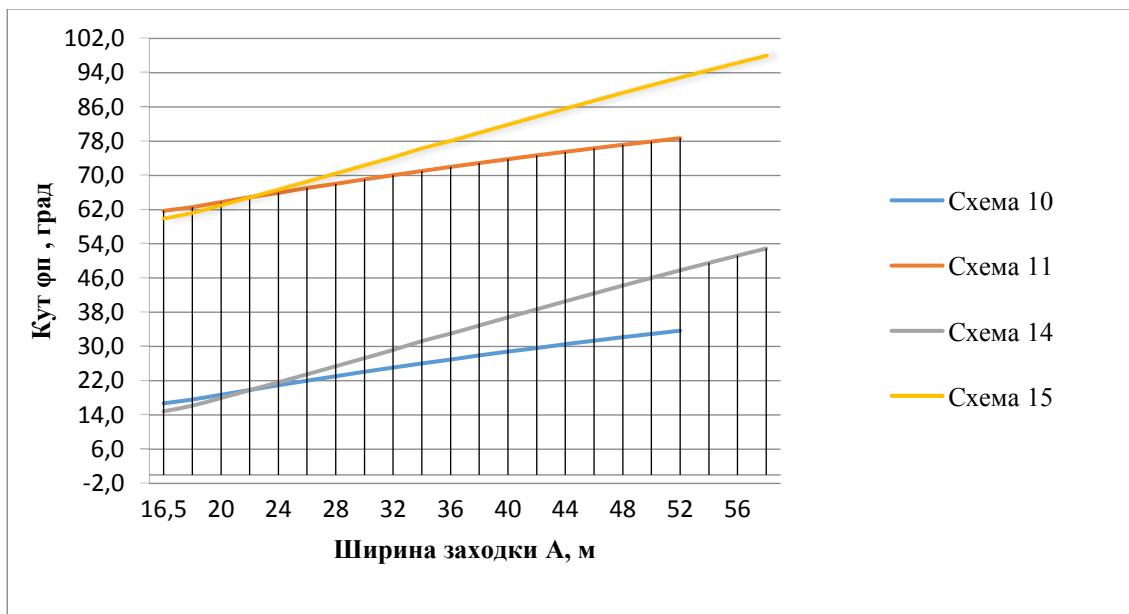


Рис. 2.. Залежність кута φ_n від зміни ширини заходки A при висоті уступу $H = 10$ м

Значення кута φ_n при зміні висоти уступу H_y і прийнятій ширині заходки $A = 30$ м

Висота уступу H_y , м	Кут повороту при розташуванні драглайну на відстані $0,5A$ від верхньої бровки, град		Кут повороту при розташуванні драглайну на відстані B від верхньої бровки, град	
	Схема 10	Схема 11	Схема 14	Схема 15
10	24,08	69,08	27,3	72,3
11	23,84	68,84	27,0	72,0
12	23,50	68,50	26,5	71,5
13	23,07	68,07	25,8	70,8
14	22,53	67,53	25,0	70,0
15	21,89	66,89	24,0	69,0
16	21,15	66,15	22,9	67,9
17	20,31	65,31	21,6	66,6
18	19,36	64,36	20,2	65,2
19	18,32	63,32	18,6	63,6

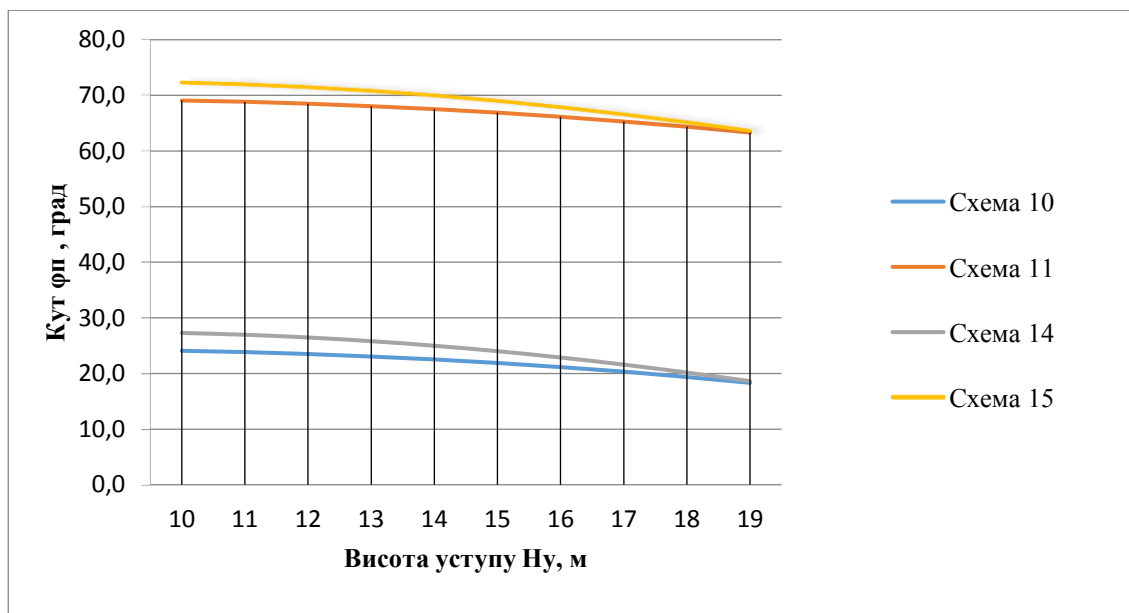


Рис. 3. Залежність кута φ_n від зміни висоти уступу при ширині заходки

$$A = 30 \text{ м}$$

3. Виведення значень величин, що входять у формулу (2.54)

Максимальна кутова швидкість повороту визначається за формулою

$$\omega_{max} = \sqrt[3]{\frac{c \cdot N_{max} \cdot \eta_{п} \cdot \varphi}{J \cdot (1,37 + \eta_{п}^2)}}, \text{ рад/с}, \quad (1)$$

де c – коефіцієнт, що дорівнює 137 для багатомоторного електричного приводу;

$$J - \text{в Т} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2.$$

Максимальну потужність поворотного механізму визначимо за допомогою формули, запропонованою М. М. Чулковим у книзі «Расчет приводов карьерных машин».

$$N_{п.с} = \frac{(J_{в} + J_{п}) \cdot \omega_{р}^2}{t_{п}} \cdot 10^{-3}, \text{ кВт}, \quad (2)$$

де $N_{п.с}$ – середньозважена потужність приводу механізму повороту, кВт;

$J_{в}$, $J_{п}$ – момент інерції частин екскаватора, що обертаються із завантаженим і порожнім ковшом відповідно, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$

$\omega_{р}$ – розрахункова, встановлена кутова швидкість платформи, рад/с.

$$\omega_{р} = 0,105 n_{об.д}, \quad (3)$$

де $n_{об.д}$ – частота обертання платформи драглайна, об/хв. $n_{об.д} = 1,0 \dots 1,5$ об/хв. Приймаємо $n_{об.д} = 1,25$ об/хв.

$$\omega_{р} = 0,105 \cdot 1,25 \approx 0,131 \text{ (рад/с)}.$$

$t_{п}$ – час повороту платформи із завантаженим ковшем на розвантаження і з порожнім ковшем у забій, с. Приймаємо $t_{п} = 11,5$ с.

Момент інерції частин драглайна, що обертаються, визначимо за формулою.

$$J_{в} = J_{пл} + J_{к+пор} + J_{ст}, \text{ Т} \cdot \text{м}^2; \quad (4)$$

$$J_{п} = J_{пл} + J_{к} + J_{ст}, \text{ Т} \cdot \text{м}^2, \quad (5)$$

де $J_{пл}$, $J_{к+пор}$, $J_к$, $J_{ст}$, – моменти інерції відносно вісі обертання платформи відповідно поворотної платформи, ковша з породою, порожнього ковша, стріли.

$$J_{пл} = J_о + m_{пл} \cdot I_{пл}^2, \quad (6)$$

де $J_о$ – момент інерції платформи відносно вісі, паралельної вертикальній грані кузова, що проходить через центр маси платформи, як паралелепіпеда, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$

$$J_о = m_{пл} \cdot \frac{(0,5L_{пл})^2 + (0,5L'_{пл})^2}{3}, \text{Т} \cdot \text{м}^2, \quad (7)$$

де $m_{пл}$ – маса платформи, т.

$$m_{пл} = k_m \cdot m_e, \quad (8)$$

де k_m – коефіцієнт маси. Для поворотної платформи $k_m = 0,7 \dots 0,8$.
Приймаємо $k_m = 0,75$.

m_e – маса екскаватора, т. $m_e = 630$ т,.

$$m_{пл} = 0,75 \cdot 630 = 472,5 \text{ (Т)};$$

$L_{пл}$, $L'_{пл}$ – довжина та ширина платформи відповідно, м. Для ЕШ-10/50, з технічної характеристики даних, маємо $L'_{пл} = 10$ м,

$$L_{пл} = L_к + L_{п.с}, \text{ м}, \quad (9)$$

де $L_к$ – довжина кузова екскаватора, що крокує, м. Для ЕШ-10/50 $L_к = 18,43$ м.

$L_{п.с}$ – радіус п'яти стріли, м. $L_{п.с} = 4,99$ м.

$$L_{пл} = 18,43 + 4,99 = 23,42 \text{ (м)}.$$

Тоді

$$J_о = 472,5 \cdot \frac{(0,5 \cdot 23,42)^2 + (0,5 \cdot 10)^2}{3} \approx 25\,534 \text{ (Т} \cdot \text{м}^2);$$

$I_{пл}$ – відстань між віссю обертання платформи и віссю, що проходить через центр маси платформи, як паралелепіпеда, м

$$I_{пл} = \frac{L_{пл}}{2} - L_{п.с}, \quad (10)$$

$$I_{\text{пл}} = \frac{23,42}{2} - 4,99 = 6,72 \text{ (м)}.$$

Тоді

$$J_{\text{пл}} = 25\,534 + 472,5 \cdot 6,72^2 \approx 46\,871 \text{ (т} \cdot \text{м}^2\text{)};$$

При визначенні моменту інерції ковша з породою $J_{\text{к+пор}}$ припускають, що центр маси ковша з породою співпадає з центром тяжіння ковша, що знаходиться на відстані максимального радіуса розвантаження $L_{\text{роз}}$ від вісі обертання платформи, м. Для екскаватора ЕШ-14/50 із технічної характеристики $L_{\text{роз}} = 46,5$ м.

$$J_{\text{к+пор}} = m_{\text{к+пор}} \cdot L_{\text{роз}}^2, \text{ т} \cdot \text{м}^2, \quad (11)$$

де $m_{\text{к+пор}}$ – маса ковша із породою, т.

$$m_{\text{к+пор}} = m_{\text{к}} + m_{\text{пор}}, \quad (12)$$

де $m_{\text{к}}$, $m_{\text{пор}}$ – маса порожнього ковша і маса породи у ковші відповідно, т.

$$m_{\text{к}} = 1,1c_{\text{к,д1}} \cdot (c_{\text{к,д2}} + c_{\text{к,д3}} \cdot E) \cdot E^{2/3}, \quad (13)$$

де $c_{\text{к,д1}}$, $c_{\text{к,д2}}$, $c_{\text{к,д3}}$ – коефіцієнти для визначення мас ковшів драглайнів.

Для умов роботи середньої важкості $c_{\text{к,д1}} = 0,7$; $c_{\text{к,д2}} = 2,4$; $c_{\text{к,д3}} = 0,12$;

E – ємність ковша, м³..

$$m_{\text{к1}} = 1,1 \cdot 0,7 \cdot (2,4 + 0,12 \cdot 10) \cdot 10^{2/3} \approx 14,18 \text{ (т)}$$

$$m_{\text{пор}} = \frac{E \cdot \gamma_{\text{пор}}}{k_p}, \text{ т}, \quad (14)$$

де $\gamma_{\text{пор}}$ – об'ємна маса породи, т/м³. Для порід Малишевського родовища $\gamma_{\text{пор}} \approx 2,0$ т/м³;

k_p – коефіцієнт розпушення породи у ковші. Для даного типу порід $k_p = 1,08 \dots 1,17$. Приймаємо $k_p = 1,12$.

$$m_{\text{пор}} = \frac{10 \cdot 2,0}{1,12} \approx 19,64 \text{ (т)};$$

$$m_{(\text{к+пор})} = 14,18 + 19,64 = 33,82 \text{ (т)}.$$

Тоді

$$J_{(\text{к+пор})} = 33,82 \cdot 66,5^2 \approx 149\,384 \text{ (т} \cdot \text{м}^2\text{)};$$

Визначимо момент інерції порожнього ковша

$$J_k = m_k \cdot L_{\text{роз}}^2, \text{ Т} \cdot \text{М}^2.$$

$$J_k = 14,18 \cdot 66,5^2 \approx 62\,708 \text{ (Т} \cdot \text{М}^2\text{)}.$$

Момент інерції стріли J_{cm} знайдемо за формулою.

$$J_{ct} = m_{ct} \cdot l_{ct}^2, \text{ Т} \cdot \text{М}^2, \quad (15)$$

де m_{ct} – маса стріли, т.

$$m_{ct} = k_m \cdot m_e, \quad (16)$$

для стріли $k_m = 0,06 \dots 0,07$. Приймаємо $k_m = 0,065$.

$$m_{ct} = 0,065 \cdot 630 = 40,95 \text{ (Т)};$$

l_{cm} – відстань від вісі обертання платформи до центру маси стріли, м.

$$l_{ct} = \frac{L_{ct}}{2}, \quad (17)$$

де L_{cm} – довжина стріли, м.

$$l_{ct1} = \frac{50}{2} = 25 \text{ (М)};$$

Тоді

$$J_{ct} = 40,95 \cdot 25^2 \approx 25\,594 \text{ (Т} \cdot \text{М}^2\text{)};$$

Отже

$$J_B = 46\,871 + 93\,517 + 25\,594 = 165\,982 \text{ (Т} \cdot \text{М}^2\text{)};$$

$$J_{\Pi} = 46\,871 + 39\,461 + 25\,594 = 111\,926 \text{ (Т} \cdot \text{М}^2\text{)};$$

Підставимо отримані значення моментів інерції у формулу для визначення середньозваженої потужності механізму повороту.

$$N_{\text{п.с}} = \frac{(165\,982 + 111\,926) \cdot 0,131^2}{11,5} \approx 414,7 \text{ (кВт)}$$

По отриманим значенням потужності приймаємо наступні типи двигунів постійного току для приводу повороту: для ЕШ-10/50 – двигун ПЭВ-143-7к з номінальною потужністю $N_{\text{ном}} = N_{\text{max}} = 420$ кВт.

Переведемо значення потужності із «кВт» у «к.с», знаючи, що $1 \text{ к.с} = 735$ Вт.

$$N_{\text{max}} = 420 \text{ кВт} \approx 571 \text{ к.с}$$

Тоді

$$\omega_{max} = \sqrt[3]{\frac{137 \cdot 571 \cdot 0,85 \cdot 1,05}{4,3 \cdot 10^6 \cdot (1,37 + 0,85^2)}} \approx \sqrt[3]{\frac{69\,817,6}{8\,997\,750}} \approx 0,198 \text{ (рад/с);}$$

Додаток Б

Таблиця 1

Фонд заробітної плати по дільниці (схема №1)

Місце і назва робіт	Професія, посада	Чисельність					Розцінки, тарифні ставки, оклади, грн/чел	Місячний фонд прямої з/пл, грн.	Доплати					Загальний фонд осн. з/пл за місяць, грн.	
		Ксс	1см	2см	За сут.	За списком			За роботу в нічний час (40%)	Бригадирам (20%), грн	Премія		Інше (10%)		Фонд доплат, грн
											%	Сумма, грн			
Розкрив	Машинист екскаватору	1,30	9	9	18	24	5000	120000	48000		40	48000	12000	108000	228000
	Помічник машиністу екскаватора	1,30	9	9	18	24	3500	84000	33600		40	33600	8400	75600	159600
	Водій Cat-773E	1,30	21	21	42	55	4700	258500	103400		40	103400	25850	232650	491150
	ВСЕГО		39	39	78	103		462500	185000	0	40	185000	46250	416250	878750

Таблиця 2

Балансова вартість устаткування й амортизаційні
відрахування (схема №1)

Наименование оборудования	Кол-во	Цена единицы, тыс. грн	Общая балансовая стоимость, тыс.грн	Сумма аморт.отчислений, тыс.грн	
				За год	За месяц
ЕШ-10/50	9	240000	2160000	86400	7200
Cat-773E	27	14400	388800	25920	2160
ВСЕГО			2548800	112320	9360
Комплектующее оборудование (30%)			764640	33696	2808
Итого с комплектующим			3313440	146016	12168
Запасные части (2%)			66269	2920	243
Итого с запчастями			3379709	148936	12411
НДС (20%)			675942	29787	2482
Итого с НДС			4055651	178724	14894
Транспортные расходы (8%)			324452	14298	1191
Складские расходы (1,2%)			48668	2145	179
Монтаж (6%)			243339	10723	894
ВСЕГО			4672109	205890	17157
Неучтенное оборудование (5%)			233605	10294	858
ИТОГО			4905715	216184	18015

Таблиця 3

Потреба і вартість допоміжних матеріалів (схема №1)

Вид материалу	Од. виміру	Об'єм робіт, тыс. м ³	Норма витрат на 1000, м ³	Плануємі витрати	Ціна од. грн/кг	Загальна вартість, грн.
Зубя ковшу	шт	13500	5	67500	100	6750000
Керосин техн.	кг	13500	0,15	2025	20	40500
Масло індустріальн.	кг ³	13500	0,1	1350	58,5	78975
Масло циліндрове	л	13500	0,1	1350	66,47	89734,5
Масло компресорне	л	13500	0,1	1350	55	74250
Графітне мастило	кг	13500	0,25	3375	54	182250
Обтиральні матеріали	кг	13500	0,1	1350	12	16200

ВСЕГО		7231909,5
Прочие материалы разового пользования 1,5%		108479
Материалы длительного пользования 5%		361595
Неучётные материалы 2,5%		180798
ВСЕГО		7882781

Таблиця 4

Витрати на пальне (схема №1)

Обладнання	кількість	Середня витрати палива, л/год	Загальні витрати палива, л/рік	Вартість 1 л палива, грн	Витрати на паливо, тис. грн/рік
1	2	3	4	5	6
Cat-773E	27	37	8631360	28	241678
ВСЕГО					241678
Неучётные затраты (15% от учётных)					36252
ИТОГО					277930

Таблица 5

Витрати на електроенергію (схема №1)

Потребители электроэнергии	Кол-во	Установленная мощность двигателя, кВт	Общая установл. мощность, кВт	Коэф загр.	Потребл мощность	Число часов работы за сутки	За сутки	За мес.	КПД	Всего с учётом потерь, кВт ч/мес.	Тариф за 1 кВт ч, грн.	Стоимость электроэнергии , грн
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
ЕШ-1050	8,62	1250	10775	0,57	6141,75	24	147402	4422060	0,82	3626089,2	3,6	13053921,12
ВСЕГО												13053921,12
Неучётные затраты (15% от учётных)												1958088
ИТОГО												15012009

Додаток В

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Генеральний директор

проектного інституту

ТзОВ «Інститут «Гірхімпром»

к.т.н. П.М. Бодак

_____ 2019 р.



АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

результатів дисертаційної роботи на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, аспіранта Національного технічного університету «Дніпровська політехніка», Чебанова Максима Олександровича

Дійсним актом підтверджується, що результати дисертаційної роботи М.О. Чебанова, представлені у вигляді **“Методики з встановлення раціональних параметрів вибою екскаватора драглайна при його роботі в комплексі з автосамоскидами, для підвищення його продуктивності”** впроваджені в проектному інституті ТзОВ «Інститут «Гірхімпром».

1. Вид впроваджених результатів “Методики встановлення раціональних параметрів вибою екскаватора драглайна при його роботі в комплексі з автосамоскидами, для підвищення його продуктивності”

2. Характеристика масштабу впровадження _____ одиничне

_____ (унікальне, одиничне, партія, серійне)

3. Форма впровадження:

Методика (метод) _____ Методика

4. Новизна результатів науково-дослідницьких робіт _____

_____ принципово нові

_____ (піонерські, принципово нові, якісно нові, модифікації,

_____ модернізація старих розробок)

5. Дослідно-промислова перевірка _____

_____ (вказати номер і дату актів випробування,

_____ найменування підприємства, період)

6. Впроваджені:

– в промислове виробництво _____
(ділянка, цех(цега), процес)

– в проектні роботи проект розробки Мотронівсько-Аннівської ділянки
Малишевського розсипного титано-цирконієвого родовища
(впровадження в проект)

7. Річний економічний ефект:

очікуваний _____
(від впровадження в проект)

фактичний _____ тис. грн


в тому числі часткова участь

_____ тис. грн
(%, цифрами прописом)


8. Соціальний і науково-технічний ефект: Підвищення ефективності гірничих робіт на кар'єрах за рахунок вибору раціональних параметрів схем роботи екскаватора драглайна в комплексі з автосамоскидами

Від виконавців

керівник робіт, д.т.н., проф

 Собко Б.Ю.

аспірант кафедри ВГР

 Чебанов М.О.

Від підприємства

Головний інженер

ТзОВ «Інститут «Гірхімпром»
 В.В. Ковалишин

Заступник ген. директора

з проектування

ТзОВ «Інститут «Гірхімпром»
 М.М. Штангрет

Додаток Г

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Проректор з наукової роботи

НТУ «Дніпровська політехніка»

д-р. техн. наук, проф.

О.С. Бешта

_____ 2019 р.



МЕТОДИКА

встановлення раціональних параметрів вибою екскаватора драглайна при його роботі в комплексі з автосамоскидами, для підвищення його продуктивності

Дніпро
2019

Список виконавців:

керівник робіт, д.т.н., проф.



Собко Б.Ю.

аспірант кафедри ВГР



Чебанов М.О.

ЗМІСТ

	Стр.
Вступ.....	3
1. Систематизація основних технологічних схем роботи драглайнів в комплексі з автосамоскидами.....	5
2. Розробка математичної моделі визначення кутів повороту драглайна при навантаженні автосамоскидів.....	7
3. Розробка методики визначення раціональних параметрів вибою екскаватора драглайна для підвищення його продуктивності.....	17
Висновки.....	20
Список літератури.....	21

Вступ

При розробці пологих та горизонтальних родовищ корисних копалин використовують екскаватори драглайни за безтранспортною системою розробки. Це дає змогу зменшити витрати на транспортування гірських порід при розробці родовищ. Однак, на сьогоднішній день все більше підприємств використовують транспортну технологію розробки родовищ сипучих корисних копалин з застосуванням драглайнів в комплексі з автосамоскидами. Така необхідність комбінування гірничотранспортного обладнання виникає при складних геологічних, та гідрогеологічних умовах залягання родовищ корисних копалин.

Параметри вибою екскаваторів драглайнів при роботі по безтранспортній системі розробки відрізняються від параметрів вибою при роботі екскаватора драглайна в комплексі з автосамоскидами. При цьому важливим являється встановлення оптимальних значень параметрів вибою, для підвищення продуктивності драглайнів.

Одним із основних параметрів, який впливає на продуктивність драглайну, є тривалість робочого циклу, а його основну частку складає загальний час повороту. Він залежить від кута повороту, тому в наукових працях багато уваги приділяється саме куту повороту на розвантаження.

Авторами роботи [1] достатньо ретельно розглянуті питання обґрунтування параметрів ускладненої безтранспортної системи розробки (УБСР) та рекомендовані алгоритми їх розрахунку для різних технологічних схем роботи драглайнів. Основним критерієм оптимальності технічних рішень у роботі є досягнення максимальної виробничої потужності кар'єру.

У роботі [1] автори вперше послідовно враховують вплив параметрів вибою драглайна, на його продуктивність через кут повороту. Однак всі дослідження та алгоритми запропоновані для бестранспортної системи розробки. Тому розробка методики з встановлення раціональних параметрів вибою екскаватора драглайна при його роботі в комплексі з автосамоскидами, для підвищення його продуктивності є своєчасною та актуальною.

1. Систематизація основних технологічних схем роботи драглайнів в комплексі з автосамоскидами

При безтранспортній системі видобутку екскаватор драглайн розробляє уступи нижнім та верхнім черпанням. Однак при транспортній системі основною схемою роботи драглайнів є розробка вибою з нижнім черпанням, так як при складних гідрогеологічних умовах схема робота з верхнім черпанням та розвантаженням гірничої маси в автосамоскиди дуже ускладнена.

Важливими факторами є на якій відстані від верхньої бровки уступу розташовується екскаватора, та місце установки автосамоскидів під навантаження. Так при безтранспортній системі драглайн розташовується на безпечній відстані B_1 від верхньої бровки уступу, це зумовлено скороченням відстані при розвантаженні гірничої маси у вироблений простір. Однак при транспортній системі, з розвантаженням гірничої маси у автосамоскид, пропонується розташовувати драглайн ближче до автосамоскиду. Необхідно враховувати відстань від нижньої бровки уступу до осі екскаватора, вона не повинна перевищувати максимального радіусу черпання. Тому пропонується схеми з розташуванням драглайна посередині ширини заходки, тобто на відстані $0,5A$ від верхньої бровки уступу.

Основні схеми роботи драглайнів з розвантаженням гірничої маси у автосамоскиди наведені на схемі 1, та систематизовані у вигляді таблиці 1.

Таблиця 1

Основні технологічні схеми роботи комплексів екскаваторів - драглайнів та автосамоскидів

№ схеми	Рівень розміщення автосамоскиду відносно екскаватору	Положення екскаватора в вибої	Положення автосамоскиду відносно кута повороту екскаватора на розвантаження
1	2	3	4
1	Розміщення на рівні стояння екскаватору	На відстані $0,5A$ від верхньої бровки уступу	Положення 1
2			Положення 2
3			Положення 3
4			Положення 4
5		На безпечній відстані B_1 від верхньої бровки уступу	Положення 1

Продовження таблиці 1

1	2	3	4
6		На безпечній відстані B_1 від верхньої бровки уступу	Положення 2
7			Положення 3
8			Положення 4
9	Розміщення нижче рівня стояння екскаватору	На відстані $0,5A$ від верхньої бровки уступу	Положення 5
10			Положення 6
11			Положення 7
12			Положення 8
13		На безпечній відстані B_1 від верхньої бровки уступу	Положення 5
14			Положення 6
15			Положення 7
16			Положення 8

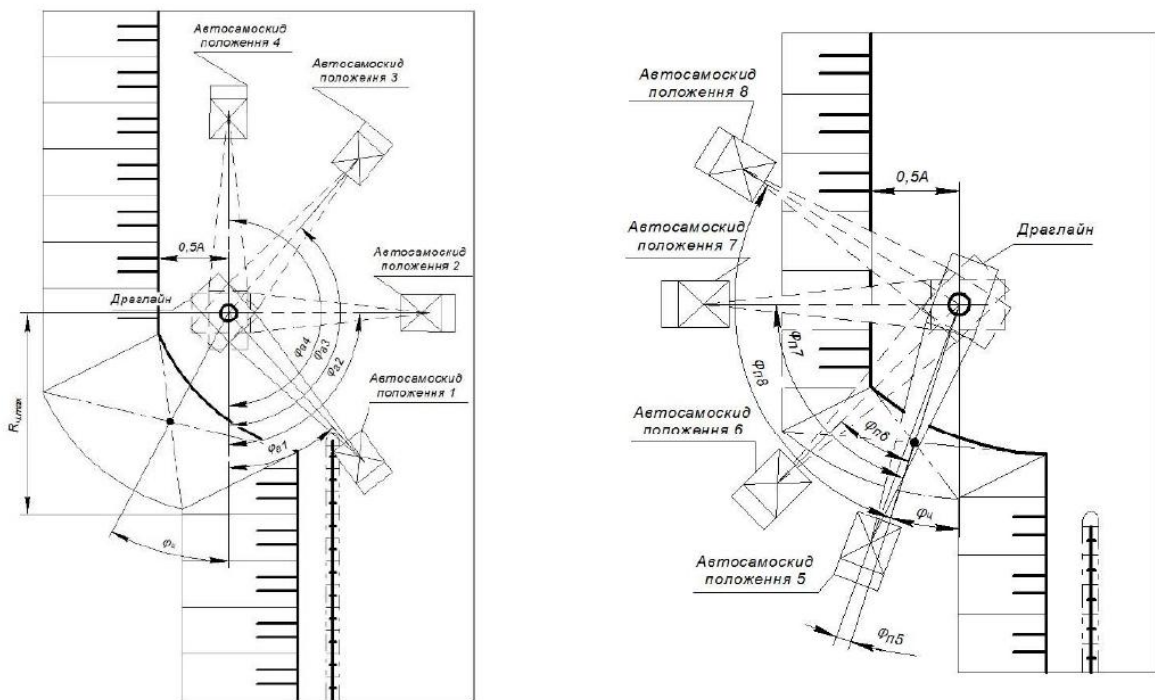


Рис.1. Схеми роботи екскаваторів драглайнів з розвантаженням гірничої маси в автосамоскид

Для визначення кута повороту у вибій розглянемо схеми роботи драглайну при розвантаженні гірничої породи в автосамоскид, та розміщенні автосамоскиду на рівні та нижче рівня стояння екскаватора.

1. Визначимо кут φ_{ψ} у випадку установки автосамоскида на рівні стояння драглайна.

Розглянемо схему роботи драглайна при його розташуванні на відстані $0,5A$ від верхньої бровки уступу (рис. 2.).

Виведемо формулу для визначення кута повороту драглайна у вибій:

$$\varphi_{\psi} = \operatorname{arctg} \frac{0,5 \cdot H \cdot \operatorname{ctg} \alpha}{l_{\text{бл}} + 0,5H \cdot \operatorname{ctg} \alpha_y}, \text{ град} \quad (2)$$

де $l_{\text{бл}}$ – довжина блоку (разом із призмою можливого обрешення, безпечною відстанню до неї і радіусом бази драглайна), м.

$$l_{\text{бл}} = R_{\text{ч. max}} - H \cdot \operatorname{ctg} \alpha_3, \text{ м} \quad (3)$$

α_3 – кут вибою драглайна. Він дорівнює куту стійкого укосу уступу $\alpha_3 = \alpha_y = 32^\circ$.

H_y – висота уступу, м.

$R_{\text{ч. max}}$ – максимальний радіус черпання драглайна, м

Перетворимо формулу (2):

$$\varphi_{\psi} = \operatorname{arctg} \frac{0,5 \cdot H \cdot \operatorname{ctg} \alpha}{R_{\text{ч. max}} - 0,5 \cdot H \cdot \operatorname{ctg} \alpha_3}, \text{ град} \quad (4)$$

Розглянемо схему роботи драглайна при його розташуванні на безпечній відстані B_1 від верхньої бровки уступу (рис. 3.).

Безпечна відстань від верхньої бровки уступу до вісі екскаватора визначається за формулою:

$$B_1 = z + r_{\text{б}} + a_1, \quad (5)$$

де z – ширина призми можливого обрешення, м.

$$z = H_{y, \text{ max}} \cdot (\operatorname{ctg} \alpha_y - \operatorname{ctg} \alpha), \quad (6)$$

$r_{\text{б}}$ – радіус бази драглайна, м. Для ЕШ-10/50 $r_{\text{б}} = 5$ м.

a_1 – безпечна відстань від верхньої бровки стійкого уступу до бази екскаватора, м. Приймаємо $a_1 = 2$ м.

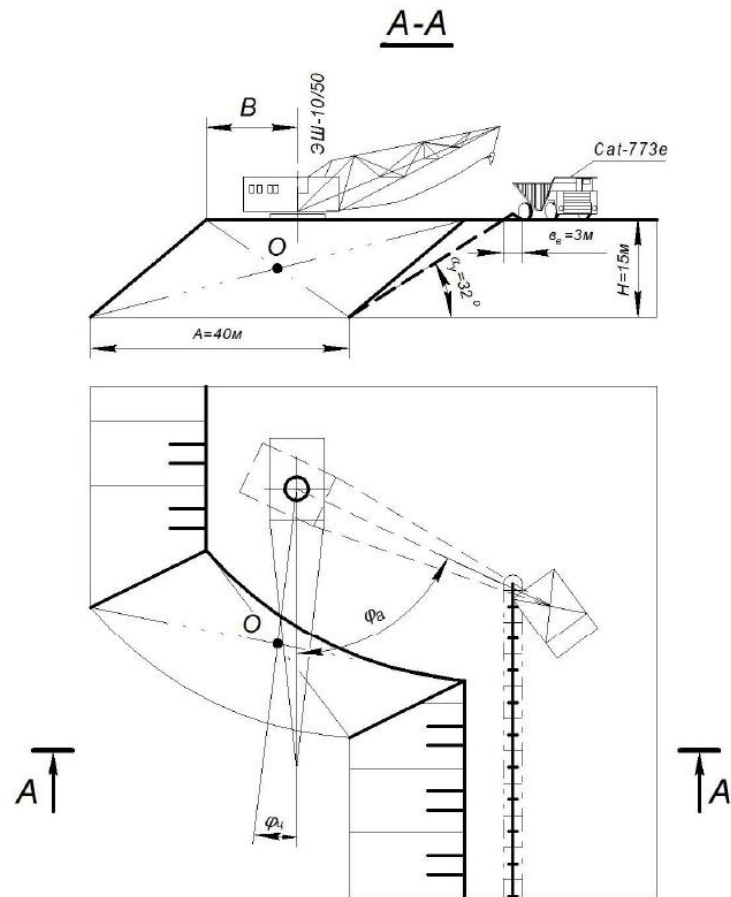


Рис. 3. Схема для визначення кута повороту драглайну при розміщенні його на безпечній відстані B від верхньої бровки уступу, та встановленні автосамоскиду на рівні стояння екскаватора

При розташуванні екскаватору на безпечній відстані B від верхньої бровки кут повороту у вибій φ_u може бути від'ємним від кута повороту до автосамоскиду φ_a та може входити в його склад, це зумовлено збільшенням ширини заходки A . Тому при умові, що $0,5A < B + 0,5H \cdot ctg \alpha$, кут φ_u не входить у кут повороту до автосамоскида φ_a , а при умові, що $0,5A > B + 0,5H \cdot ctg \alpha$, кут φ_u входить у кут φ_a . Для виключення появи від'ємних значень кута φ_u у чисельнику формули його визначення ставимо знак модуля, отримаємо вираз:

$$\varphi_u = \arctg \frac{|0,5A - B - 0,5H_y \cdot ctg \alpha|}{R_{u,max} - 0,5 \cdot H_y \cdot ctg \alpha_3}, \text{ град} \quad (7)$$

Перетворимо формулу (7) з врахуванням виразів (5),(6), отримаємо:

$$\varphi_{\text{ц}} = \arctg \frac{|0,5A - H_y \cdot \text{ctg} \alpha_y - r_{\delta} - a + 0,5H_y \cdot \text{ctg} \alpha|}{R_{\text{ч,max}} - 0,5H_y \cdot \text{ctg} \alpha_3}, \text{ град} \quad (8)$$

2. Визначимо кут $\varphi_{\text{ц}}$ для випадку установки автосамоскида нижче рівня стояння драглайна (рис.4)

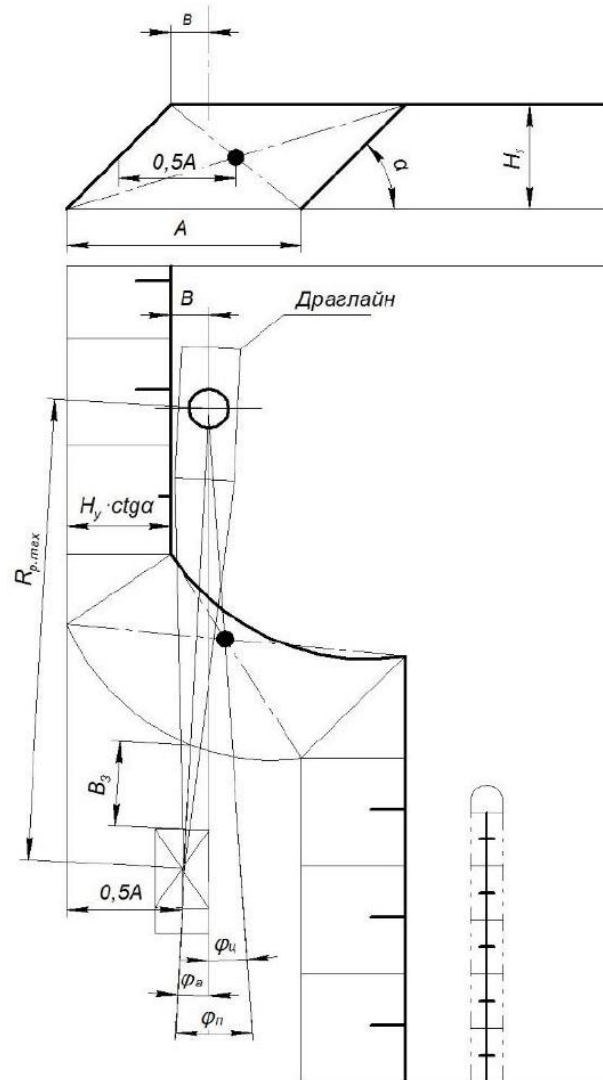


Рис.4.Схеми для визначення кута повороту у вибій $\varphi_{\text{ц}}$ при установці автосамоскида нижче рівня стояння екскаватора; B_3 – безпечна відстані від нижньої бровки уступу до автосамоскиду

Відмінністю при виведенні формули для визначення кута повороту у вибій у даному випадку є те, що центр маси кузова автосамоскида знаходиться на

безпечній відстані B_3 від нижньої бровки вибою. Тому радіус черпання крокуючого екскаватора при схемі розвантаження у автосамоскид що знаходиться нижче рівня стояння драглайну буде дорівнювати:

$$R_{ч.нр} = R_{ч.мах} - B_3, \text{ м} \quad (9)$$

Тоді кут повороту у вибій при розташуванні драглайна на відстані $0,5A$ від верхньої бровки уступу визначимо за формулою:

$$\varphi_{ц} = \text{arctg} \frac{0,5 \cdot H_y \cdot \text{ctg} \alpha}{R_{ч.мах} - B_3 - 0,5 \cdot H_y \cdot \text{ctg} \alpha_3}, \text{ град} \quad (10)$$

Кут повороту у вибій при розташуванні драглайна на безпечній відстані B_1 від верхньої бровки уступу:

$$\varphi_{ц} = \text{arctg} \frac{|0,5A - H_y \cdot \text{ctg} \alpha_y - r_{\delta} - a + 0,5H_y \cdot \text{ctg} \alpha|}{R_{ч.мах} - B_3 - 0,5H_y \cdot \text{ctg} \alpha_3}, \text{ град} \quad (11)$$

При виведенні формул визначення загального кута повороту для кожної з розглядаємих схем роботи драглайна, необхідно враховувати кут φ_y :

$$\varphi_n = \varphi_a \pm \varphi_{ц} + \varphi_y, \text{ град} \quad (12)$$

де φ_y – кут, що залежить від місця установки автосамоскида під завантаження, і обмежується віссю, яка проходить через центр маси екскаватора і центр маси автосамоскида у даному положенні, град.

Складання чи віднімання кута повороту у вибій залежить від того, чи входить він до складу кута повороту до автосамоскида.

3. Визначимо загальний кут повороту драглайну на розвантаження при розташуванні автосамоскида на рівні його стояння.

Для схеми з розміщення екскаватору на відстані $0,5A$ від верхньої бровки уступу, кут повороту до автосамоскида визначаємо за формулою:

$$\varphi_a = \arcsin \frac{0,5 \cdot A + z + b_b + 0,5 \cdot b_a}{R_{ч.мах}}, \text{ град} \quad (13)$$

де b_b - ширина запобіжного валу, м. Приймаємо $b_b = 3$ м;

b_a - ширина кузову автосамоскида, м. Приймаємо $b_a = 6$ м.

Як бачимо із формули (13) висота уступу майже не впливає на кут повороту до автосамоскида. Вона впливає на значення z , але це дуже не значні зміни.

Кут повороту до автосамоскида збільшується при збільшенні ширини заходки, це можна обґрунтувати тим, що при збільшенні ширини заходки відстань від автосамоскида до екскаватору також збільшується.

Підставимо формули (4; 13) у вираз (12), та отримаємо:

$$\varphi_n = \arctg \frac{0,5 \cdot H \cdot ctg \alpha}{R_{ч,max} - 0,5 \cdot H \cdot ctg \alpha_3} + \arcsin \frac{0,5 \cdot A + z + b_B + 0,5 \cdot b_a}{R_{ч,max}} + \varphi_y, \text{ град} \quad (14)$$

При розміщенні екскаватору на безпечній відстані B_1 від верхньої бровки уступу, кут повороту до автосамоскида буде дорівнювати:

$$\varphi_a = \arcsin \frac{A - B + z + b_B + 0,5 \cdot b_a}{R_{ч,max}}, \text{ град} \quad (15)$$

Підставивши у вираз (15) формули (5) та (6) отримаємо:

$$\varphi_a = \arcsin \frac{A - r_\delta - a + b_B + 0,5 \cdot b_a}{R_{ч,max}}, \text{ град} \quad (16)$$

При умові, що $0,5A < B + 0,5H \cdot ctg \alpha$, кут φ_y не входить у кут повороту до автосамоскида φ_a , тому загальний кут на розвантаження розраховуємо за формулою:

$$\varphi_n = \varphi_a + \varphi_y + \varphi_y, \text{ град} \quad (17)$$

При умові, що $0,5A > B + 0,5H \cdot ctg \alpha$ кут φ_y входить у кут повороту до автосамоскида φ_a , тому:

$$\varphi_n = \varphi_a + \varphi_y - \varphi_y, \text{ град} \quad (18)$$

Тоді загальний кут повороту на розвантаження буде дорівнювати:

$$\varphi_n = \arcsin \frac{A - r_\delta - a + b_B + 0,5 \cdot b_a}{R_{ч,max}} + \varphi_y \pm \arctg \frac{|0,5A - H_y \cdot ctg \alpha_y - r_\delta - a + 0,5H_y \cdot ctg \alpha|}{R_{ч,max} - 0,5H_y \cdot ctg \alpha_3}, \text{ град} \quad (19)$$

4 Визначимо загальний кут повороту драглайну на розвантаження при розташуванні автосамоскида нижче рівня його стояння.

При установці автосамоскида під завантаження на нижній площадці уступу можливо суттєво зменшити кут повороту драглайна на розвантаження φ_n .

Розглянемо схему роботи драглайна при його розташуванні на відстані $0,5A$ від верхньої бровки уступу

Визначимо кут повороту φ_n у випадку, коли автосамоскид стоїть у положенні 5 (рис.1):

$$\varphi_n = \operatorname{arctg} \frac{H_y \cdot \operatorname{ctg} \alpha}{R_p - B_3} - \varphi_{\psi}, \text{ град} \quad (20)$$

Підставимо у вираз (20) формулу (10), отримаємо:

$$\varphi_n = \operatorname{arctg} \frac{H_y \cdot \operatorname{ctg} \alpha}{R_p - B_3} - \operatorname{arctg} \frac{0,5 \cdot H_y \cdot \operatorname{ctg} \alpha}{R_{ч. \max} - B_3 - 0,5 \cdot H_y \cdot \operatorname{ctg} \alpha_3}, \text{ град} \quad (21)$$

Розглянемо схему роботи драглайна при його розташуванні на відстані B_1 від верхньої бровки уступу.

При умові, що $0,5A < 0,5H_y \cdot \operatorname{ctg} \alpha + B_1$

$$\varphi_n = \operatorname{arctg} \frac{H_y \cdot \operatorname{ctg} \alpha + B_1 - 0,5A}{R_p - B_3} - \operatorname{arctg} \frac{|0,5A - H_y \cdot \operatorname{ctg} \alpha_y - r_0 - a + 0,5H_y \cdot \operatorname{ctg} \alpha|}{R_{ч. \max} - B_3 - 0,5H_y \cdot \operatorname{ctg} \alpha_3}, \text{ град} \quad (22)$$

При умові, що $0,5H_y \cdot \operatorname{ctg} \alpha + B_1 < 0,5A < H_y \cdot \operatorname{ctg} \alpha + B_1$

$$\varphi_n = \operatorname{arctg} \frac{H_y \cdot \operatorname{ctg} \alpha + B_1 - 0,5A}{R_p - B_3} + \operatorname{arctg} \frac{|0,5A - H_y \cdot \operatorname{ctg} \alpha_y - r_0 - a + 0,5H_y \cdot \operatorname{ctg} \alpha|}{R_{ч. \max} - B_3 - 0,5H_y \cdot \operatorname{ctg} \alpha_3}, \text{ град} \quad (23)$$

Розглянемо інші можливі положення автосамоскида під завантаження і визначимо для них кут повороту φ_n :

Автосамоскид стоїть біля точки, що знаходиться на нижній бровці вибою і позначає крайню межу заходки зі сторони відпрацьованого простору, на безпечній відстані (до центру маси кузова автосамоскида) $B_3 = 10$ м від неї (положення б).

У випадку розташування екскаватору на відстані $0,5A$ від верхньої бровки кут φ_n визначаємо за формулою:

$$\varphi_n = \operatorname{arctg} \frac{H_y \cdot \operatorname{ctg} \alpha + 0,5A}{R_p - B_3} - \operatorname{arctg} \frac{0,5 \cdot H_y \cdot \operatorname{ctg} \alpha}{R_{ч. \max} - B_3 - 0,5 \cdot H_y \cdot \operatorname{ctg} \alpha_3} + \varphi_{\psi}, \text{ град} \quad (24)$$

Для схеми с розміщенням екскаватору на відстані B_1 від верхньої бровки,

при умові, що $0,5A < 0,5H \cdot ctg\alpha + B$, кут φ_n визначаємо за формулою:

$$\varphi_n = \arctg \frac{H_y \cdot ctg \alpha + B_1}{R_p - B_3} - \arctg \frac{0,5 \cdot H_y \cdot ctg \alpha}{R_{ч. max} - B_3 - 0,5 \cdot H_y \cdot ctg \alpha_3} + \varphi_y, \text{ град} \quad (25)$$

При умові, що $0,5A > 0,5H \cdot ctg\alpha + B$

$$\varphi_n = \arctg \frac{H_y \cdot ctg \alpha + B_1}{R_p - B_3} + \arctg \frac{0,5 \cdot H_y \cdot ctg \alpha}{R_{ч. max} - B_3 - 0,5 \cdot H_y \cdot ctg \alpha_3} + \varphi_y, \text{ град} \quad (26)$$

Отримані формули визначення загального кута повороту екскаватора драглайна, при його роботі в комплексі з автосамоскидами, формують математичну модель для розрахунку загального кута повороту при різних схемах. Отриману математичну модель наведемо у вигляді табл.2.

Таблиця 2

Математична модель визначення загального кута повороту екскаватора драглайна

№ схем	Рівень розміщення автосамоскиду екскаватору	Положення екскаватору в вибої	Положення автосамоскиду відносно кута повороту екскаватора на розвантаження	Розрахункові формули
1	2	3	4	5
1		На відстані $0,5A$ від верхньої бровки уступу	Положення 1, $\varphi_y = 0^0$	
2			Положення 2, $\varphi_y = 45^0$	$\varphi_n = \arctg \frac{0,5 \cdot H \cdot ctg \alpha}{R_{ч, max} - 0,5 \cdot H \cdot ctg \alpha_3} + \arcsin \frac{0,5 \cdot A + z + b_a + 0,5 \cdot b_a}{R_{ч, max}} + \varphi_y, \text{ Град}$
3			Положення 3, $\varphi_y = 90^0$	
4			Положення 4, $\varphi_y = 135^0$	
5	Розміщення на рівні стояння екскаватору	На безпечній відстані B_I від верхньої бровки уступу	Положення 1, $\varphi_y = 0$	При умові, що $0,5A < B_I + 0,5H \cdot ctg \alpha$:
6			Положення 2, $\varphi_y = 45^0$	$\varphi_n = \arcsin \frac{A - \tau_6 - a + b_a + 0,5 \cdot b_a}{R_{ч, max}} + \varphi_y + \arctg \frac{ 0,5A - H_y \cdot ctg \alpha_y - \tau_6 - a + 0,5H_y \cdot ctg \alpha }{R_{ч, max} - 0,5H_y \cdot ctg \alpha_3}, \text{ Град}$
7			Положення 3, $\varphi_y = 90^0$	При умові, що $0,5A > B_I + 0,5H \cdot ctg \alpha$:
8			Положення 4, $\varphi_y = 135^0$	$\varphi_n = \arcsin \frac{A - \tau_6 - a + b_a + 0,5 \cdot b_a}{R_{ч, max}} + \varphi_y - \arctg \frac{ 0,5A - H_y \cdot ctg \alpha_y - \tau_6 - a + 0,5H_y \cdot ctg \alpha }{R_{ч, max} - 0,5H_y \cdot ctg \alpha_3}, \text{ Град}$
9			Положення 5	$\varphi_n = \arctg \frac{H_y \cdot ctg \alpha}{R_p - B_3} - \arctg \frac{0,5 \cdot H_y \cdot ctg \alpha}{R_{ч, max} - B_3 - 0,5 \cdot H_y \cdot ctg \alpha_3}, \text{ Град}$
10	Розміщення нижче рівня стояння екскаватору	На відстані $0,5A$ від верхньої бровки уступу	Положення 6, $\varphi_y = 0^0$	
11			Положення 7, $\varphi_y = 45^0$	$\varphi_n = \arctg \frac{H_y \cdot ctg \alpha + 0,5A}{R_p - B_3} - \arctg \frac{0,5 \cdot H_y \cdot ctg \alpha}{R_{ч, max} - B_3 - 0,5 \cdot H_y \cdot ctg \alpha_3} + \varphi_y, \text{ Град}$
12			Положення 8, $\varphi_y = 90^0$	

Продовження таблиці 2

1	2	3	4	5
13	Розміщення нижче рівня стояння екскаватору	На безпечній відстані B_I від верхньої бровки уступу	Положення 5	<p>При умові, що $0,5A < 0,5H_y \cdot ctg\alpha + B_I$</p> $\varphi_{\Pi} = \arctg \frac{H_y \cdot ctg\alpha + B_I - 0,5A}{R_p - B_3} - \arctg \frac{[0,5A - H_y \cdot ctg\alpha \cdot r_6 - a + 0,5H_y \cdot ctg\alpha]}{R_{ч, \max} - B_3 - 0,5H_y \cdot ctg\alpha_3}, \text{ град}$ <p>При умові, що $0,5H_y \cdot ctg\alpha + B_I < 0,5A < H_y \cdot ctg\alpha + B_I$</p> $\varphi_{\Pi} = \arctg \frac{H_y \cdot ctg\alpha + B_I - 0,5A}{R_p - B_3} + \arctg \frac{[0,5A - H_y \cdot ctg\alpha \cdot r_6 - a + 0,5H_y \cdot ctg\alpha]}{R_{ч, \max} - B_3 - 0,5H_y \cdot ctg\alpha_3}, \text{ град}$
14			Положення 6, $\varphi_y = 0^0$	<p>При умові, що $0,5A < 0,5H \cdot ctg\alpha + B_I$:</p> $\varphi_{\Pi} = \arctg \frac{H_y \cdot ctg\alpha + B_I}{R_p - B_3} - \arctg \frac{0,5 \cdot H_y \cdot ctg\alpha}{R_{ч, \max} - B_3 - 0,5 \cdot H_y \cdot ctg\alpha_3} + \varphi_y, \text{ град}$
15			Положення 7, $\varphi_y = 45^0$	<p>При умові, що $0,5A > 0,5H \cdot ctg\alpha + B_I$</p> $\varphi_{\Pi} = \arctg \frac{H_y \cdot ctg\alpha + B_I}{R_p - B_3} + \arctg \frac{0,5 \cdot H_y \cdot ctg\alpha}{R_{ч, \max} - B_3 - 0,5 \cdot H_y \cdot ctg\alpha_3} + \varphi_y, \text{ град}$
16			Положення 8, $\varphi_y = 90^0$	$\varphi_{\Pi} = \arctg \frac{H_y \cdot ctg\alpha + B_I}{R_p - B_3} + \arctg \frac{0,5 \cdot H_y \cdot ctg\alpha}{R_{ч, \max} - B_3 - 0,5 \cdot H_y \cdot ctg\alpha_3} + \varphi_y, \text{ град}$

3. Розробка методики визначення раціональних параметрів вибою екскаватора драглайна для підвищення його продуктивності

Основними технологічними параметрами вибою драглайна є висота уступу та ширина заходки, тому при розробці методики підвищення продуктивності драглайна, визначаються раціональні значення висоти уступу та ширини заходки.

Основні положення методики визначення раціональних параметрів вибою екскаватора драглайна для підвищення його продуктивності полягають в наступному:

1. Згідно з проектом обирається одна з запропонованих схем роботи комплексів обладнання «ЕШ+автосамоскид» (табл. 1).

2. Для обраної схеми роботи обирається формула розрахунку загального кута повороту (табл.2).

3. Обрана формула водиться до виразу визначення часу повороту, який запропонував В.В. Ржевський [2].

$$t_{\text{п}} = \left(0,5 + \frac{2,5}{E}\right) \cdot \sqrt[3]{\frac{(103E-300)^{5/3} \cdot \varphi_n^2}{E}}, \text{ с} \quad (27)$$

де E – ємність ковша екскаватора, м^3 .

Отриманий вираз враховується при визначенні тривалості циклу:

$$t_{\text{ц}} = t_{\text{сум}} + 2t_{\text{п}}, \text{ с} \quad (28)$$

де $t_{\text{сум}}$ – загальний час на виконання операцій які не залежать від кута повороту екскаватора, с.

4. Тривалість циклу заноситься до класичної формули визначення продуктивності екскаватора. Також при розрахунках продуктивності враховуються не виробничі витрати часу, а саме час на переміщення екскаватору у новий блок T_6 та час на закуску уступу T_3 :

$$Q_{\text{е.ф.}}^{\text{год}} = Q_{\text{е.т}}^{\text{год}} (1 - T_6 - T_3), \text{ м}^3/\text{год} \quad (29)$$

5. За отриманою формулою визначається фактична продуктивність екскаватора драглайна для мінімальних та максимальних значень ширини заходки і висоти уступу за умовами безпеки [3].

За отриманими результатами розрахунку фактичної годинної продуктивності драглайну будується графік залежності $Q_{e.ф.}^{год} = f(A)$ та $Q_{e.ф.}^{год} = f(H)$.

6. Обираються раціональні значення висоти уступу і ширини заходки, при яких отримується максимальна продуктивність екскаватора.

Апробація розробленої методики визначення раціональних параметрів вибою екскаватора-драглайна проведена на прикладі розкривних робіт Мотронівсько-Аннівської ділянки Малишевського розсипного титан-цирконієвого родовища.

Для розробки порід розкриву запроєктовано використання екскаваторів драглайнів ЕШ-10/50, та автосамоскидів Cat-773Е. Родовище має складну гідрогеологічну структуру, тому обрана схема роботи драглайну з нижчим черпанням, при установці автосамоскиду на рівні екскаваторі у положенні поблизу охоронного валу.

За розробленою методикою була отримана формула визначення фактичної продуктивності екскаватора-драглайна:

$$Q_{e.ф.}^{год} = \frac{d}{t_{сум} + 2 \cdot c \cdot \sqrt[3]{v \cdot \left(\arctg_{R_{ч,max} - 0,5 \cdot H \cdot ctg \gamma} \frac{0,5 \cdot H \cdot ctg \gamma}{R_{ч,max}} + \arcsin \frac{0,5 \cdot A + z + b_B + 0,5 \cdot b_a}{R_{ч,max}} \right)^2}} \cdot t_6 - \frac{d}{A \cdot H \cdot (R_{ч} - H \cdot ctg \alpha_{\gamma} - 5,5)} - \frac{d}{A \cdot \sin \alpha_{\gamma} \cdot \sqrt[3]{v \cdot \left(\arctg_{R_{ч,max} - 0,5 \cdot H \cdot ctg \gamma} \frac{0,5 \cdot H \cdot ctg \gamma}{R_{ч,max}} + \arcsin \frac{0,5 \cdot A + z + b_B + 0,5 \cdot b_a}{R_{ч,max}} \right)^2}} \cdot t_3), M^3/год \quad (30)$$

де: d, v, c - const, які не залежать від A та H ,

$$d = \frac{3600 \cdot E \cdot k_H}{k_p}, \quad (31)$$

$$v = \frac{(103 \cdot E - E)}{E}, \quad (32)$$

$$c = 0,5 + \frac{2,5}{E}, \quad (33)$$

За отриманою формулою розрахована фактична продуктивні драглайну ЕШ-10/50, та побудовані графіки залежності $Q_{e.ф.}^{год} = f(A)$ (рис.5) та $Q_{e.ф.}^{год} = f(H)$ (рис.6)



Рис. 5. Залежність фактичної продуктивності драглайна ЕШ-10/50 від ширини заходки

Із даних графіка (5) бачимо що фактична продуктивність драглайна ЕШ-10/50 має максимальне значення $Q_{e.f.max}^{год} = 577,67 \text{ м}^3/\text{год}$ при $A_{opt} = 25 \text{ м}$. Але відхилення дуже не значне, тому раціональними значенням ширини заходки для екскаватора ЕШ-10/50 можна вважати такий діапазон та $A_{opt} = 21 \div 30 \text{ м}$.

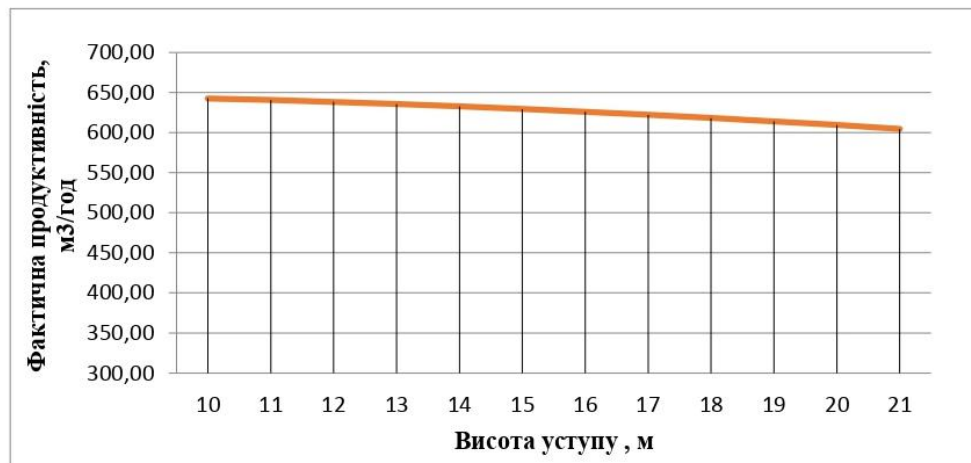


Рис. 6. Залежність фактичної продуктивності ЕШ-10/50 від висоти уступу

Із даних зображених на графіку бачимо, що найбільша продуктивність буде при мінімальній висоті уступу, вона складе $Q_{e.f.max}^{год} = 642,71 \text{ м}^3/год$. Тому раціональна висота уступу буде $H=10 \text{ м}$.

Аналізуючи приведенні вище розрахунки, нами встановлено, що оптимальне значення ширини заходки, для умов Мотронівсько-Аннівської ділянки, знаходяться у діапазоні $A_{opt}=21\div30 \text{ м}$ для ЕШ-10/50. Також оптимальне значення висоти уступу дорівнює $H=10 \text{ м}$. При цих значеннях досягається найбільша фактична продуктивність драглайна.

Висновки

В результаті виконаних робіт отримані наступні науково-практичні результати:

1. Вперше систематизовані основні технологічні схеми роботи комплексів екскаваторів - драглайнів та автосамоскидів.
2. Розроблена математична модель визначення кута повороту драглайна при навантаженні автосамоскидів, яка враховує місце розташування екскаватору у вибої, та положення автосамоскидів під навантаження.
3. Розроблена математична модель дозволяє визначати загальний кут повороту драглайна для різних технологічних схем.
4. Розроблена методика визначення раціональних значень висоти уступу та ширини заходки, для підвищення продуктивності роботи комплексів гірничо-транспортного обладнання «ЕШ+автосамоскиди».
5. Використання розробленої методики рекомендовано при проектуванні відкритих гірничих робіт, а також на діючих кар'єрах, з цілю підвищення продуктивності підприємства та подальшим удосконаленням технологічних схем роботи комплексів «ЕШ+автосамоскиди».
6. Використана методика для умов Мотронівсько-Аннівської ділянки дозволила встановити, що раціональні значення ширини заходки знаходяться у діапазоні $A_{opt}=21\div30 \text{ м}$, при висоті уступу $H=10 \text{ м}$

Список літератури

1. Новожилов М.Г., Эскин В. С., Корсунский Г. Я. (1978) Теория и практика открытой разработки горизонтальных месторождений- Москва : Недра, с. 327
2. Ржевский В. В. (1985) Открытые горные работы. Часть I. Производственные процессы: Учебник для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – Москва : Недра,. с.509
3. Собко, Б.Ю., Чебанов, М.О. (2017) Безпечні параметри вибою екскаватора драглайна при навантаженні автосамоскидів. Збірник наукових праць Національного гірничого університету (52), 8-16.

Додаток Д

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Директор
ТОВ «Мотронівський ГЗК»
О.М. Лазніков
2019 р.



АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

результатів дисертаційної роботи на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, аспіранта Національного технічного університету «Дніпровська політехніка», Чебанова Максима Олександровича

Дійсним актом підтверджується, що результати дисертаційної роботи М.О. Чебанова, представлені у вигляді “Рекомендацій з вибору раціональних схем роботи екскаватора драглайна при навантаженні автосамоскидів, та встановленню оптимальних параметрів вибою” впроваджені на гірничотранспортному виробництві «Мотронівського» ГЗК.

1. Вид впроваджених результатів “Рекомендацій з вибору раціональних схем роботи екскаватора драглайна при навантаженні автосамоскидів, та встановленню оптимальних параметрів вибою”

2. Характеристика масштабу впровадження одиничне

(унікальне, одиничне, партія, серійне)

3. Форма впровадження:

Методика (метод) Рекомендації

4. Новизна результатів науково-дослідницьких робіт _____

принципово нові

(піонерські, принципово нові, якісно нові, модифікації,

модернізація старих розробок)

5. Дослідно-промислова перевірка _____
(вказати номер і дату актів випробування,

найменування підприємства, період)

6. Впроваджені:

– в промислове виробництво гірничотранспортне виробництво
(ділянка, цех(цеха), процес)

– в проектні роботи _____
(впровадження в проект)

7. Річний економічний ефект:

очікуємий 12,8 млн грн за рахунок зменшення собівартості розробки 1 куб.м розкривних порід на 1,6 грн.

(від впровадження в проект)

фактичний _____ тис. грн

в тому числі часткова участь

_____ тис. грн
(%, цифрами прописом)

8. Соціальний і науково-технічний ефект: Підвищення ефективності гірничих робіт на кар'єрах за рахунок вибору раціональних схем роботи екскаватора драглайна та їх параметрів

Директор ГТВ

ТОВ «Мотронівський ГЗК»

_____ В.Г. Лисенко

Начальник кар'єру

ТОВ «Мотронівський ГЗК»

_____ К.А. Шеремет

Додаток Е

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Проректор з наукової роботи
НТУ «Дніпровська політехніка»
д-р. техн. наук, проф.
О.С. Бешта
_____ 2018 р.

РЕКОМЕНДАЦІЇ

**вибору раціональних схем роботи екскаватора драглайна при навантаженні
автосамоскидів, та встановленню оптимальних параметрів вибою**

Дніпро
2019

Список виконавців:

керівник робіт, д.т.н., проф.



Собко Б.Ю.

аспірант кафедри ВГР



Чебанов М.О.

ЗМІСТ

	Стр.
1. Актуальність роботи.....	4
2. Вибір раціональної технологічної схем роботи драглайнів в комплексі з автосамоскидами.....	5
3. Встановлення залежності тривалості циклу від параметрів вибою екскаватора.....	6
4. Вплив параметрів вибою на втрати часу, на допоміжні операції та продуктивність драглайну.....	9
5. Залежність фактичної продуктивності драглайна від висоти уступу і ширини заходки.....	11
6. Розрахунок економічної ефективності від запропонованої технологічної схеми та її параметрів.....	14
Висновки.....	15
Список літератури.....	16

1. Актуальність роботи

В теперішній час на кар'єрах зі складними гідрогеологічними умовами, все частіше застосовують екскаватори драглайни в комплексі з автосамоскидами. Це зумовлено низьким питомим тиском на ґрунт екскаватору, та маневреністю автосамоскидів. В Україні такі комплекси обладнання застосовуються на Мотронівському гірничо-збагачувальному комбінаті.

Мотронівсько-Аннівський кар'єр ТОВ «Мотронівський ГЗК» створено на базі Малишевського розсіпного циркон-рутил-ільменітового родовища, який є основною сировинною базою титанової продукції України.

Промислові запаси Малишевського родовища, представлені горизонтально залягаючими шарами рудних пісків неогенового віку, під комплексом розкривних осадових порід неоген-четвертинного віку потужністю до 50 м, визначили можливість відпрацювання родовища відкритим способом, з широким використанням комплексів обладнання циклічної дії на розкривних роботах і високопродуктивної гірничої техніки на видобутку і транспортуванні корисних копалин.

Продукція Мотронівського гірничо-збагачувального комбінату - ільменітовий, рутиловий та цирконієвий концентрати, а також піски для скляної та будівельної промисловості.

Концентрат ільменіту - використовується для виготовлення чистого металу титану, частково для пігменту білил, де немає особливих вимог до їх якості, так як через присутність хрому пігмент пофарбований в жовтий колір.

Мотронівсько-Аннівський кар'єр розташований північно-западніше від міста Вільногірська на відстані 12 км.

Для розробки порід розкриву та видобутку рудного піску запроектовано використання екскаваторів драглайнів ЕШ-10/50, та автосамоскидів Cat-773Е.

Технологія з використанням екскаваторів-драглайнів та автосамоскидів, у гірничій промисловості почала використовуватися відносно недавно, та не досліджена у достатній мірі. Основна більшість наукових робіт, які досліджують

технології з використанням екскаваторів-драглайнів, були присвячені області використанню і обґрунтуванню параметрів технологічних схем при безтранспортній системі розробки. Тому дослідження технологічних параметрів роботи драглайна в комплексі з автосамоскидами є своєчасним та актуальними.

2. Вибір раціональної технологічної схем роботи драглайнів в комплексі з автосамоскидами

В складних гідрогеологічних умовах схеми роботи екскаватора драглайна з верхнім черпанням та розвантаженням гірничої маси в автосамоскиди дуже ускладнені та не мають практичного застосування, тому були розглянуті схемою роботи драглайнів з розробкою вибою нижнім черпанням.

Важливим є та місце установки автосамоскиді під навантаження, він може розташовуватися на рівні та нижче рівня стояння екскаватора. Однак в мовах високої обводненості горизонтів розташування автосамоскиду нижче рівня установки драглайну не можливе виходячи з умов безпеки.

При без транспортній системі розробці, драглайн розташовується як можна ближче до верхньої бровки уступу, щоб була можливість сипати гірничу масу у внутрішній відвал. Це розташування обмежується бермою безпеки, але при розгляданні комплексів обладнання "ЕШ+автосамоскид", навпаки, драглайн потрібно розташовувати як можна ближче до автосамоскида, щоб зменшити кут повороту на розвантаження. Та необхідно враховувати відстань від нижчої бровки уступу до осі екскаватора, вона не повинна перевищувати максимального радіусу черпання.

Виходячи з наведених факторів при розробці обводнених розсипних родовищ пропонується використовувати технологічну схему роботи драглайну з нижчим черпанням, та розташуванням його на середині заходки, при установці автосамоскиду на рівні екскаватора у положенні поблизу охоронного валу(рис.1.).

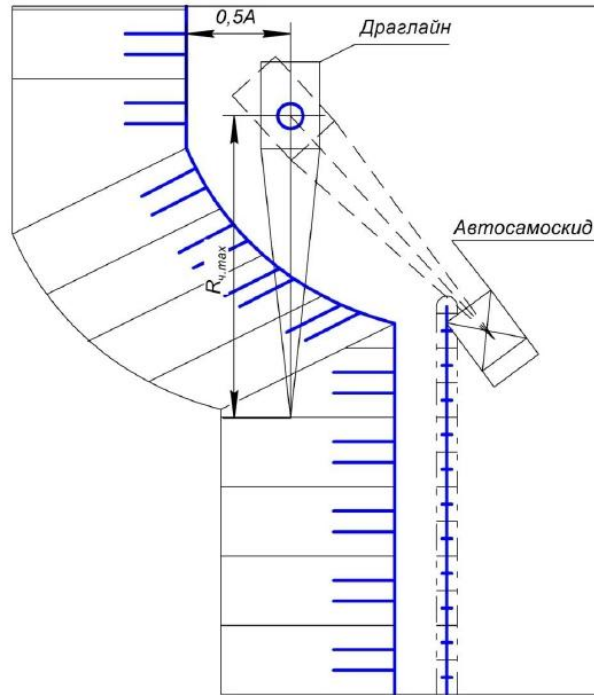


Рис.1. Схема роботи драглайну з нижнім черпанням, та розгрузкою в автосамоскид, що розташований на рівні установки екскаватора

3. Встановлення залежності тривалості циклу від параметрів вибою екскаватора

Основними технологічними параметрами вибою екскаватора є висота уступу H та ширина заходки A , тому потрібно встановити залежність тривалості циклу від цих параметрів.

Тривалість циклу визначаємо по формулі:

$$t_{\text{ц}} = t_{\text{сум}} + 2t_{\text{п}}, \text{с} \quad (1)$$

де $t_{\text{сум}}$ – загальний час на виконання операцій які не залежать від кута повороту екскаватора, с. За даними хронометражу для ЕШ-10/50 $t_{\text{сум}} = 19,59 \text{ с}$;

$t_{\text{п}}$ – час повороту драглайну, с

Тривалість повороту екскаватору визначаємо за емпіричною формулою, запропонованою В.В. Ржевським [1].

$$t_{\text{п}} = \left(0,5 + \frac{2,5}{E}\right) \cdot \sqrt[3]{\frac{(103E - 300)^{5/3} \cdot \varphi_{\text{п}}^2}{E}}, \text{с} \quad (2)$$

де E – ємність ковша екскаватора, m^3

φ_n – загальний кут повороту драглайна, с.

Загальний кут повороту складається з двох кутів (рис.2): кута повороту у вибій $\varphi_{ц}$ та кута повороту до автосамоскида φ_a :

$$\varphi_n = \varphi_{ц} + \varphi_a, \text{ град} \quad (3)$$

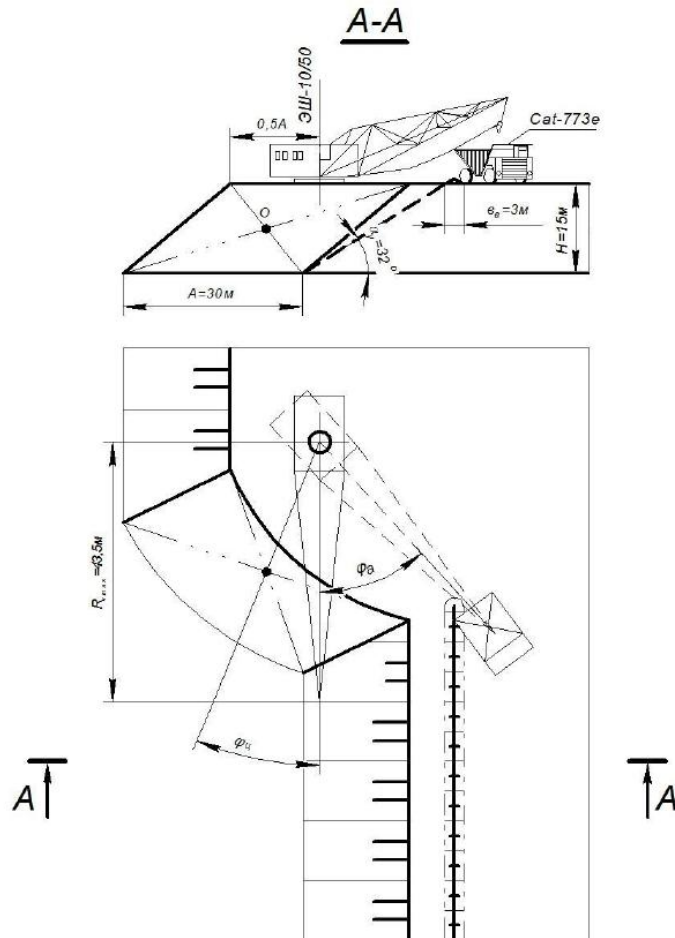


Рис. 2. Схема для визначення кута повороту драглайну при змінній висоті уступу

Кут повороту у вибій знаходиться між віссю екскаватора та центром мас забою O , та визначається за формулою:

$$\varphi_{ц} = \text{arctg} \frac{0,5 \cdot H \cdot \text{ctg} \alpha}{R_{ч. max} - 0,5 \cdot H \cdot \text{ctg} \alpha_3}, \text{ град} \quad (4)$$

де α_3 - кут укосу вибою драглайна, град;

$R_{ч. max}$ – максимальний радіус черпання, м;

Кут повороту до автосамоскида знаходиться між віссю екскаватора та центром кузову автосамоскида, він буде дорівнювати:

$$\varphi_a = \arcsin \frac{0,5 \cdot A + z + b_B + 0,5 \cdot b_a}{R_{ч. max}}, \text{ град} \quad (5)$$

де b_B - ширина запобіжного валу, м. Приймаємо $b_B = 3$ м;

b_a - ширина кузову автосамоскида, м. Приймаємо $b_a = 6$ м.

z - ширина призми можливого обрушення, м.

Загальний кут повороту визначаємо за формулою:

$$\varphi_{\Pi} = \arctg \frac{0,5 \cdot H \cdot ctg \alpha}{R_{ч. max} - 0,5 \cdot H \cdot ctg \alpha} + \arcsin \frac{0,5 \cdot A + z + b_B + 0,5 \cdot b_a}{R_{ч. max}}, \text{ град} \quad (6)$$

Визначимо час повороту екскаватора ЕШ-10/50, при змінній ширині заходки від мінімальних та максимальних значеннях, та висоті уступу $H = 15$ м. Для цієї технологічної схеми, за умовами безпеки, максимальні та мінімальні параметри ширини заходки дорівнюють: $A_{max} = 46$ м, $A_{min} = 17$ м [2]. Побудуємо графік залежності $\sum t_n = f(A)$ (рис. 3).



Рис. 3. Залежність часу повороту t_n від ширини заходки

З даних, наведених на рис.3 видно, що час повороту прямо-пропорційно залежить від ширини заходки, при збільшенні останньої також збільшується і час повороту від $\sum t_{n.min} = 21,1$ с при $A_{min} = 39,23^\circ$, до $\sum t_{n.max} = 28,2$ с при $A_{max} = 60,76^\circ$.

Аналогічно розрахуємо загальний час повороту, при змінній висоті уступу. Мінімальні та максимальні значення висоти уступу: $H_{max} = 21$ м, $H_{min} = 10$ м. Побудуємо графік залежності $\sum t_n = f(H)$ (рис. 4).

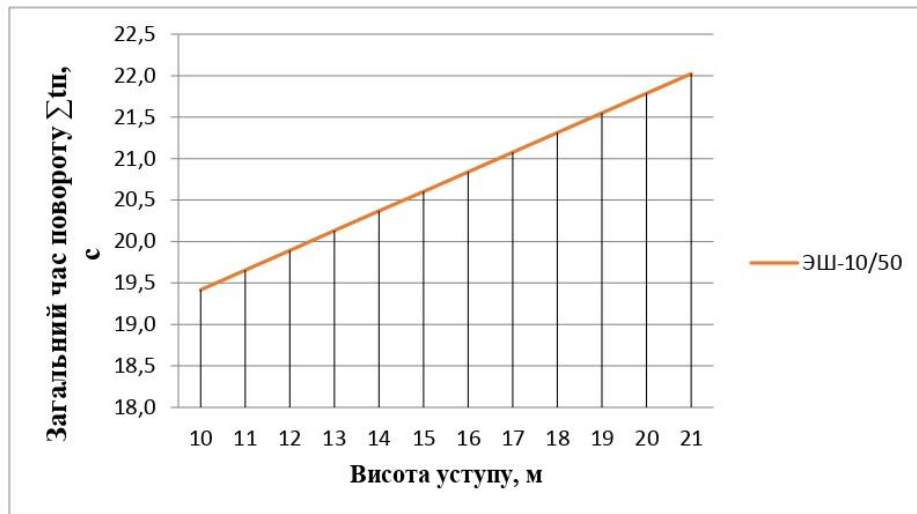


Рис. 4. Залежність часу повороту t_n від висоти уступу

Аналізуючи дані, що наведені на графіку (рис.4), ми бачимо що загальний час повороту також пропорційно збільшується при збільшенні висоти уступу, від $\sum t_{n.min} = 21,1$ с при $H_{min} = 10$ м, $\sum t_{n.max} = 22,0$ с при $H_{max} = 21$ м.

4. Вплив параметрів вибою на втрати часу, на допоміжні операції та продуктивність драглайну

Величина невиробничих втрат часу безпосередньо впливає на продуктивність драглайнів. Тому втрати годинної продуктивності драглайну за рахунок переміщення його у новий блок розраховуються по формулі:

$$\Delta Q_{e.T}^{год} = Q_{e.T}^{год} \cdot T_{б}, \text{ м}^3/\text{рік}, \quad (5)$$

Щоб визначити годинну продуктивність використовуємо формулу:

$$Q_{e.T}^{год} = \frac{3600 \cdot E \cdot k_H}{k_p \cdot (t_{сум} + 2t_n)}, \text{ м}^3/\text{рік}, \quad (6)$$

де k_n - коефіцієнт наповнення ковша екскаватора, ($k_n=1$); k_p - коефіцієнт розпушення гірничої маси в ковші екскаватора, ($k_p=1,3$).

Проведені дослідження вказують на те, що при збільшенні ширини заходки, також збільшуються об'єм блоку, але зменшується кількість блоків, що в свою чергу сприяє зменшенню втрат продуктивності екскаватора. Також дослідження дозволили встановити, що ширина заходки та висота уступу значно впливають на втрати часу та продуктивність екскаваторів, Таким чином можемо стверджувати, що при збільшенні ширини заходки втрати продуктивності зменшуються гіперболічно до мінімальних значень $\Delta Q_{e.m.min}^{год} = 18,20 \text{ м}^3/\text{год}$ для драглайна ЕШ-10/50. А при зміні висоти уступу отримуємо мінімальні втрати продуктивності для області значень $H_{opt} = 15 \div 18 \text{ м}$.

При роботі драглайну по схемі з нижнім черпанням, машиністу необхідно виконувати закуску уступу.

Час, що витрачається на закуску за годину, визначимо за формулою:

$$T_3 = \frac{Q_{e.т}^{год} \cdot t_3}{A \cdot \sin \alpha_y}, \text{ год} \quad (7)$$

де t_3 – тривалість закуски 1 м^2 уступу, $\text{год}/\text{м}^2$.

Аналогічно витратам на переміщення екскаватора, визначаємо величину втрат годинної продуктивності драглайнів котра складає:

$$\Delta Q_{e.т}^{год} = Q_{e.т}^{год} \cdot T_3, \text{ м}^3/\text{год} \quad (8)$$

Виконавши аналіз впливу параметрів забою на втрати часу та продуктивності, за рахунок витрачання часу на закуску уступу, можна стверджувати що значний вплив на втрати має ширина заходки, і при її збільшенні до $A_{max} = 47 \text{ м}$, втрати зменшуються до $\Delta Q_{e.m.min}^{год} = 13,23 \text{ м}^3/\text{год}$. Висота уступу в незначній мірі впливає на втрати, її вплив у самій продуктивності екскаватору. На основі аналізу приймаємо втрати часу на закуску уступу як ще один фактор, для визначення оптимальних параметрів вибою.

5. Залежність фактичної продуктивності драглайна від висоти уступу і ширини заходки

Визначимо годинну фактичну продуктивність екскаваторів драглайн за впливом кута повороту, втрати часу на переміщення у новий блок, та втрати часу на заукоску уступу (вплив трьох факторів). Для цього введемо формулу:

$$Q_{e.ф.}^{год} = Q_{e.т}^{год} (1 - T_6 - T_3), м^3/год \quad (9)$$

За отриманими результатами розрахунку фактичної годинної продуктивності драглайну побудуємо графік залежності $Q_{e.ф.}^{год} = f(A)$ (рис.5.) та $Q_{e.ф.}^{год} = f(H)$ (рис.6.). Та додамо на графік апроксимуюче рівняння для визначення фактичної продуктивності екскаваторів при будь-якому значенні ширини заходки та висоті уступу.

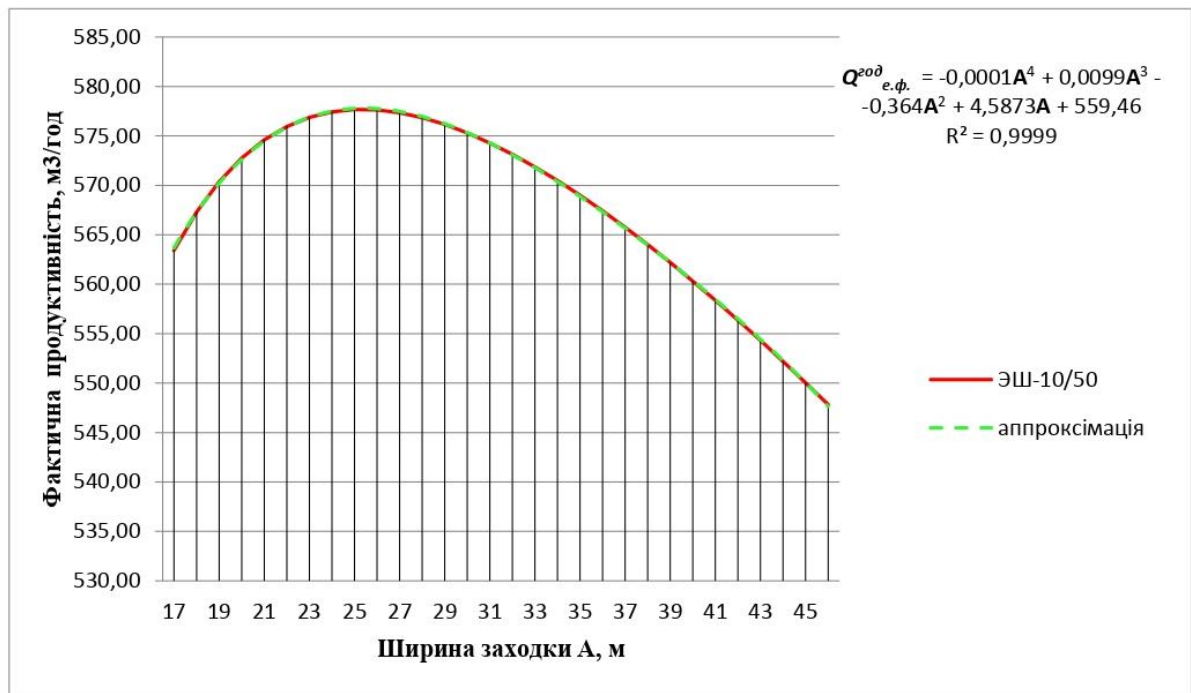


Рис. 5. Залежність фактичної продуктивності драглайна ЕШ-10/50 від ширини заходки

Із даних графіка (5) бачимо що фактична продуктивність драглайна ЭШ-10/50 змінюється по параболі, та має максимальне значення $Q_{e.ф.}^{год, max} = 577,67$

$m^3/год$ при $A_{opt} = 25$ м. Але відхилення дуже не значне, тому оптимальним значенням ширини заходки для екскаватора ЕШ-10/50 можна вважати такий діапазон та $A_{opt} = 21 \div 30$ м.

Завдяки апроксимації було отримано рівняння залежності фактичної продуктивності від ширини заходки:

$$Q_{e.f.2}^{год} = -0,0001A^4 + 0,0099A^3 - 0,364A^2 + 4,5873A + 559,46, \quad m^3/год \quad (10)$$

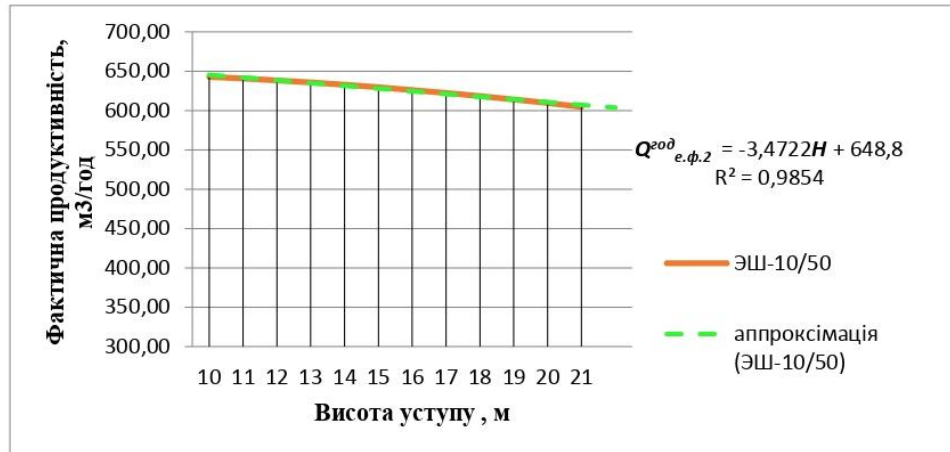


Рис. 6. Залежність фактичної продуктивності ЕШ-10/50 від висоти уступу

Як бачимо із даних зображених на графіку (рис.6) фактична годинна продуктивність драглайна обернено пропорційна висоті уступу, тобто при збільшенні H продуктивність драглайна падає. Найбільша продуктивність буде при мінімальній висоті уступу, вона складе $Q_{e.f.max}^{год} = 642,71$ $m^3/год$. Тому оптимальною висотою уступу буде $H=10$.

Апроксимація даних графіку (рис.6) дозволила отримати лінійні рівняння для ЕШ-10/50:

$$Q_{e.f.}^{год} = -3,4722H + 648,8, \quad m^3/год \quad (11)$$

Аналізуючи приведенні вище розрахунки, нами встановлено, що оптимальне значення ширини заходки, для умов Мотронівсько-Аннівського кар'єру, знаходяться у діапазоні $A_{opt} = 21 \div 30$ м для ЕШ-10/50. Також оптимальне значення

висоти уступу дорівнює $H=10$ м. При цих значеннях досягається найбільша фактична продуктивність драглайна.

Дослідивши функції $Q_{e.ф.}^{год} = f(A)$ на екстремум ми отримали її першу похідну та дорівняли її нулю. Для знаходження області екстремуму необхідно розв'язати рівняння отримане рівняння, але це практично не можливо зробити математично, тому використовуємо метод варіацій, тобто підставляємо значення змінної A . Ширину заходку будемо підставляти від $A_{min} = 17$ м до $A_{max} = 46$ м, висота уступу буде дорівнювати $H=10$ м. Отримані значення похідної заносимо до табл.1.

Таблиця 1.

Значення похідної при змінній ширини заходки

Ширина заходки А, м	Значення загальної похідної	Ширина заходки А, м	Значення загальної похідної
17	-0,726	32	0,137
18	-0,566	33	0,155
19	-0,440	34	0,171
20	-0,340	35	0,187
21	-0,259	36	0,202
22	-0,192	37	0,217
23	-0,135	38	0,232
24	-0,087	39	0,246
25	-0,046	40	0,260
26	-0,010	41	0,275
27	0,021	42	0,290
28	0,049	43	0,306
29	0,074	44	0,322
30	0,097	45	0,340
31	0,118	46	0,359

Як бачимо з даних табл.1, область екстремуму буде знаходитись у діапазоні $A=26\div 27$ м. Тому, що при цих значеннях ширини заходки, загальна похідна дорівнює нулю.

Виконавши дослідження функції $Q_{e.ф.}^{год} = f(A)$ на екстремум, отримане значення локального максимуму $Q_{e.ф.}^{год}$, це означає фактична продуктивність екскаватору ЕШ-10/50 буде максимальною при $A_{opt} = 26$ м.

Отримані значення оптимальної ширини заходки при дослідженні функції на екстремум більші за отримані при розрахунку графічно-аналітичним методом. Це зумовлено тим, що при дослідженні функції використовувалось значення висоти уступу $H=10$ м, яке є оптимальним, а при графічно-аналітичному методі $H=15$ м. тому оптимальна ширина заходки буде дорівнювати $A_{opt} = 26$ м.

6. Розрахунок економічної ефективності від запропонованої технологічної схеми та її параметрів

Розрахуємо зниження питомої собівартості розробки розкривних порід 1 м^3 , при застосуванні рекомендованої схеми.

Загальну собівартість розкривних робіт розрахуємо по формулі:

$$\sum C = C_{пит1} \cdot Q_{e.ф.1}^{рік} \cdot 10^{-6}, \text{ млн. грн.}, \quad (12)$$

де $C_{пит1}$ – питома собівартість 1 м^3 розкриву за існуючою схемою, грн./ м^3 . За даними Мотронівсько-Аннівського кар'єру (дані травня 2015 р.) $C_{пит1} = 51,3$ грн./ м^3 .

$Q_{e.ф.1}^{рік}$ – річна фактична продуктивність екскаватору за існуючою технологічною схемою.

$$\sum C = 51,3 \cdot 3502824,00 \cdot 10^{-6} = 179,69 \text{ млн. грн.}$$

Питома собівартість 1 м^3 розкриву за запропонованою схемою буде дорівнювати:

$$C_{пит2} = \frac{\sum C \cdot 10^6}{Q_{e.ф.2}^{рік}}, \text{ грн./}\text{м}^3, \quad (13)$$

де $Q_{e.ф.2}^{рік}$ – річна фактична продуктивність екскаватору, за запропонованою технологічно схемою.

$$C_{пит2} = \frac{179,69 \cdot 10^6}{3614083,20} = 49,7 \text{ грн/м}^3$$

Внаслідок запропонованої технологічної схеми роботи драглайну, та прийнятих параметрів вибою, питома собівартість 1 м^3 розкриву знизиться від $51,3 \text{ грн./м}^3$ до $49,7 \text{ грн./м}^3$.

Висновки

Виконані дослідження дозволили стверджувати, що раціональною схемою роботи екскаватора драглайна в комплексі з автосамоскидом для умов Мотронівського ГЗК, є схема з нижнім черпанням, та розташуванням драглайну на середині заходки, при навантаженні автосамоскида який розташовується на рівні стояння екскаватора.

При дослідженні даної схеми були визначені оптимальні значення ширини заходки та висоти уступу, за рахунок отримання максимальної фактичної продуктивності драглайну, та впливом на неї трьох факторів: кута повороту, втрати часу на переміщення у новий блок, та втрати часу на заукоску уступу. Так для екскаватору ЕШ-10/50 при запропонованій схемі оптимальні параметри вибою дорівнюють $A_{opt} = 26 \text{ м}$, $H = 10 \text{ м}$.

Економічний ефект від результатів роботи отриманий позитивний, а саме зменшення собівартості 1 м^3 розкриву від $51,3 \text{ грн./м}^3$ до $49,7 \text{ грн./м}^3$.

Список літератури

1. Ржевский В. В. (1985) Открытые горные работы. Часть I. Производственные процессы: Учебник для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – Москва : Недра, с.509
2. Собко, Б.Ю., Чебанов, М.О. (2017) Безпечні параметри вибою екскаватора драглайна при навантаженні автосамоскидів. Збірник наукових праць Національного гірничого університету (52), 8-16.
3. Новожилов М.Г., Эскин В. С., Корсунский Г. Я. (1978) Теория и практика открытой разработки горизонтальных месторождений- Москва : Недра, с. 327
4. Маєвський А.М., Дробаха А.В. (2010) Оптимізація параметрів забою екскаваторів-драглайнів, що працюють у комплексі з автосамоскидами. Збірнику статей «110-річчя Кременчуцького державного політехнічного університету», с.72-81.