

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»  
Гірничо-металургійний факультет  
Кафедра гірничої справи

**Кваліфікаційна робота  
допущена до захисту**  
Гарант освітньої програми  
«Відкрита розробка родовищ»  
Ольга БОГОМАЗ

## **КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

на здобуття освітнього ступеня бакалавр  
за підсумками виконання освітньо-професійної програми  
«Відкрита розробка родовищ»  
за спеціальністю 184 Гірництво

на тему «Підвищення ефективності роботи виймально-  
навантажувального обладнання в умовах кар'єру ПРАТ  
"Інгулецький ГЗК"»

Керівник роботи

Юліан ГРИГОР'ЄВ

Консультант від  
баз практики

Олександр КИРИЧЕНКО

*Робота містить результати власних досліджень та напрацювань.  
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на  
відповідне джерело. Електронний та паперовий варіанти роботи є  
ідентичними.*

Здобувач

Євген КУЛАКОВ

Підсумкова оцінка за атестацію			
--------------------------------	--	--	--

Голова ЕК

Ігор ТОНЄВ

Запоріжжя, 2025

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»  
Факультет гірничо-металургійний  
Кафедра гірничої справи  
Ступінь  
вищої освіти бакалавр  
Спеціальність 184 Гірництво  
ОПП Відкрита розробка родовищ

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Гарант освітньої програми  
Ольга БОГОМАЗ  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_р.

#### ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

**Кулаков Є.О.**

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи **Підвищення ефективності роботи виймально-навантажувального обладнання в умовах кар'єру ПРАТ "Інгулецький ГЗК"** керівник роботи Григор'єв Юліан Ігорович, к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом Університету від наказом Університету № 81 від 31.03.2025

2. Термін подання роботи 16.06.2025

3. Вихідні дані до роботи Гірничо-геологічні умови кар'єру ПРАТ «Інгулецький ГЗК» включають магнетитові кварцити, глибину розробки до -420 м, горизонти від +48 м до -420 м, протяжність фронту робіт 3120 м. Використовуються екскаватори ЕКГ-5ау, ЕКГ-8і, ЕКГ-10, ЕКГ-12, Hitachi EX-2500, Hitachi EX-3600, CAT-993К та автосамоскиди БелАЗ-75306, БелАЗ-75131, БелАЗ-7547, CAT-785С. У 2023 році видобуто 7097,9 тис. т руди та 5238,4 тис. м<sup>3</sup> розкриву, на 2024 рік заплановано 29270 тис. т руди та 21611,2 тис. м<sup>3</sup> розкриву. Коефіцієнт технічної готовності обладнання становить 79,7%, витрати палива автосамоскидів – 95,8 г/ткм, 1,70% доріг не відповідають нормам

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань) Анотація. Зміст. Вступ. 1. Теоретичні аспекти ефективного використання виймально-навантажувального обладнання 2. Аналіз сучасного стану гірничих робіт кар'єру ПРАТ "Інгулецький ГЗК" 3. Розробка моделі оптимізації роботи виймально-навантажувального обладнання ПРАТ "Інгулецький ГЗК" 4. Розробка рекомендацій щодо експлуатації при виймально-навантажувальних роботах на ПРАТ "Інгулецький ГЗК .Висновки. Перелік використаних джерел. Додатки

5. Перелік графічного (демонстраційного) матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Кількість рисунків: 22; Кількість таблиць: 16.

6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи, що їх стосуються

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта
1	Кириченко О.В., Начальник технічного бюро Кар'єра
2	Кириченко О.В., Начальник технічного бюро Кар'єра
3	Кириченко О.В., Начальник технічного бюро Кар'єра
4	Кириченко О.В., Начальник технічного бюро Кар'єра

7. Дата видачі завдання 29.05.2025

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Збір та аналіз вихідних даних, огляд літератури	01.03.2025-14.03.2025	Виконано
2	Аналіз гірничо-геологічних умов і парку обладнання ПРАТ «Інгулецький ГЗК»	15.03.2025-28.03.2025	Виконано
3	Дослідження теоретичних аспектів ефективності виймально-навантажувального обладнання	29.03.2025-11.04.2025	Виконано
4	Розробка моделі оптимізації роботи виймально-навантажувального обладнання	12.04.2025-25.04.2025	Виконано
5	Моделювання виймально-навантажувальних робіт при різних кутах завантаження	26.04.2025-09.05.2025	Виконано
6	Аналіз результатів моделювання та розробка рекомендацій	10.05.2025-23.05.2025	Виконано
7	Розробка організаційних і технологічних пропозицій щодо підвищення безпеки праці	24.05.2025-06.06.2025	Виконано
8	Формулювання висновків, оформлення пояснювальної записки	07.06.2025-14.06.2025	Виконано
9	Підготовка презентаційних матеріалів	15.06.2025-20.06.2025	Виконано
10	Подання роботи на перевірку та підготовка до захисту	21.06.2025-24.06.2025	Виконано

Керівник роботи

Юліан ГРИГОР'ЄВ

Здобувач

Євген КУЛАКОВ

## ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ.....	5
ВСТУП.....	6
ОСНОВНА ЧАСТИНА.....	8
РОЗДІЛ 1. Теоретичні аспекти ефективного використання виймально-навантажувального обладнання .....	8
1.1. Класифікація та характеристика виймально- навантажувального обладнання .....	8
1.2. Фактори, що впливають на продуктивність роботи виймально-навантажувального обладнання.....	12
1.3. Сучасні методики оптимізації роботи виймально- навантажувального обладнання .....	17
РОЗДІЛ 2. Аналіз сучасного стану гірничих робіт кар'єру ПРАТ "Інгулецький ГЗК" .....	30
2.1. Особливості гірничо-геологічних умов кар'єру ПРАТ «Інгулецький ГЗК» .....	30
2.2. Огляд парку виймально-навантажувального обладнання ПРАТ «Інгулецький ГЗК» .....	38
2.3. Аналіз поточних показників ефективності роботи ПРАТ «Інгулецький ГЗК».....	49
РОЗДІЛ 3. Розробка моделі оптимізації роботи виймально- навантажувального обладнання ПРАТ "Інгулецький ГЗК" .....	55
3.1. Моделювання виймально-навантажувальних робіт при різних кутах завантаження.....	55
3.2. Аналіз результатів моделювання процесу завантаження та рекомендації на її основі .....	66
РОЗДІЛ 4. Розробка рекомендацій щодо експлуатації при виймально-навантажувальних роботах на ПРАТ "Інгулецький ГЗК	80
4.1. Рекомендації щодо оптимізації параметрів виймально-навантажувальних робіт на основі моделювання для ПРАТ "Інгулецький ГЗК".....	80
4.2 Аналіз сучасного стану охорони праці та робочої безпеки при виймально-навантажувальних роботах на ПРАТ "Інгулецький ГЗК" .....	83
4.3 Організаційні пропозиції щодо підвищення ефективності охорони праці .....	85
4.4 Технологічні пропозиції щодо підвищення ефективності охорони праці та робочої безпеки.....	89
ВИСНОВКИ .....	92
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	94

## АНОТАЦІЯ

Кулаков Є.А. Підвищення ефективності роботи виїмково-вантажного обладнання за умов кар'єру ПРАТ «Інгулецький ГЗК». Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавр зі спеціальності 184 Гірництво, ОПП «Відкрита розробка родовищ» – ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», Запоріжжя, 2025.

**Мета роботи** – підвищення ефективності роботи виїмково-вантажувального обладнання на кар'єрі ПРАТ «Інгулецький ГЗК» за рахунок оптимізації технологічних процесів та параметрів експлуатації.

Об'єкт дослідження - процес виїмково-вантажувальних робіт на кар'єрі ПРАТ «Інгулецький ГЗК».

**Предмет дослідження** – технології та параметри експлуатації виїмково-вантажного обладнання, що забезпечують підвищення продуктивності та безпеки.

### **Зміст роботи:**

У першому розділі розглянуто теоретичні аспекти використання виїмково-вантажного обладнання: класифікація екскаваторів, фактори, що впливають на продуктивність, та сучасні методи оптимізації.

У другому розділі проведено аналіз гірничо-геологічних умов кар'єру, парку обладнання та поточних показників ефективності ПРАТ «Інгулецький ГЗК».

У третьому розділі досліджено моделі оптимізації роботи виїмково-вантажувального обладнання на прикладі ПРАТ «Інгулецький ГЗК». На основі математичних розрахунків проаналізовано залежність продуктивності екскаваторів від кута повороту, часу циклу та автоматизації процесів. Запропоновано рекомендації щодо підвищення ефективності роботи техніки шляхом синхронізації з автотранспортом, впровадження систем автоматичного управління та організації нижнього завантаження. Результати показали можливість збільшення продуктивності на 25-40%.

У четвертому розділі надано практичні рекомендації щодо вдосконалення експлуатації виїмково-вантажувального обладнання. Зокрема, запропоновано оптимізувати параметри навантажувальних площадок, забезпечити узгодженість між об'ємами ковша і кузова самоскида, а також впровадити автоматизовану систему управління (АСУ), подібну до WENCO. Також розглянуто заходи щодо підвищення безпеки праці через удосконалення технологій та організації робочих процесів. Реалізація пропозицій сприятиме скороченню простоїв, зменшенню витрат та підвищенню загального рівня безпеки.

**Ключові слова:** виїмково-вантажне обладнання, кар'єр, Інгулецький ГЗК, продуктивність, оптимізація, безпека праці, автоматизація, гірничо-геологічні умови.

## ВСТУП

Гірничодобувна промисловість продовжує залишатися однією з ключових галузей економіки України, забезпечуючи матеріально-сировинну основу для розвитку інших важливих напрямків народного господарства. Зростання потреб високоякісної залізорудної сировини, яка використовується у чорній металургії, стимулює розвиток технологій, спрямованих на підвищення ефективності та безпеки видобувних процесів. У цьому контексті особливого значення набуває дослідження процесів виймально-навантажувальних операцій, що є одними з найбільш трудомістких та вартісних етапів у кар'єрному виробництві.

Підприємство — ПРАТ «Інгулецький ГЗК» — є одним із провідних підприємств гірничо-металургійного комплексу України. Кар'єр характеризується значними обсягами ведення розкривних та виймальних робіт, постійним зростанням глибини розробки родовища, а також широким парком виймально-навантажувального обладнання. Наразі в експлуатації перебувають різні типи екскаваторів, серед яких HITACHI EX-3600, ЕКГ-12, ЕКГ-10 (8і) тощо, які виконують завдання з видобутку руди та розкриву порід. Аналіз свідчить про наявність резервів з підвищення продуктивності та раціонального використання технічних засобів.

У зв'язку з плановим зростанням обсягів видобувних робіт у 2024 році до 29270 тис. м<sup>3</sup> руди та 21611,2 тис. м<sup>3</sup> розкривних порід, актуальною задачею є оптимізація технологічних процесів, модернізація систем управління роботою обладнання, а також удосконалення логістики автотранспорту в умовах складної просторової організації кар'єру.

Метою кваліфікаційної роботи є підвищення ефективності роботи виймально-навантажувального обладнання на ПРАТ «Інгулецький ГЗК» шляхом аналізу існуючого стану, виявлення проблемних зон

функціонування технічних засобів та обґрунтування рекомендацій щодо їхнього вдосконалення.

Для досягнення поставленої мети передбачено вирішення таких завдань: Виконати аналіз гірничо-геологічних умов, технологічних параметрів діючих екскаваторів та стану вантажно-транспортного комплексу на ПРАТ «Інгулецький ГЗК»; Дослідити фактори, що впливають на продуктивність виймально-навантажувального обладнання, зокрема — кут повороту, час циклу, місткість ковша, характеристики самоскидів; Розрахувати теоретичну та технічну продуктивність екскаваторів при різних режимах роботи, зокрема при нижньому завантаженні, автоматизованому управлінні, використанні оптимальних маршрутів навантаження; Виявити резерви підвищення ефективності роботи екскаваторно-автомобільного комплексу за рахунок узгодження обладнання, оптимізації параметрів навантаження, зменшення простоїв та впровадження нових технологій; Запропонувати конкретні заходи щодо поліпшення організації роботи, включаючи впровадження автоматизованої системи управління, створення умов для нижнього завантаження, оптимізації робочих майданчиків, підвищення рівня охорони праці; Оцінити очікувані техніко-економічні показники від реалізації запропонованих рішень, включаючи збільшення продуктивності, скорочення витрат, зменшення впливу на довкілля та підвищення безпеки ведення робіт.

У процесі дослідження використано аналітичні методи, графоаналітичні побудови, хронометраж циклів роботи техніки, економіко-математичне моделювання, а також порівняльний аналіз ефективності різних технологій. Базою для аналізу послужили внутрішні документи підприємства, нормативно-технічна база, наукові праці українських та зарубіжних авторів, зокрема Сокура М. І.,

Колесникова В. Ф., Трубецького К. М., Зікова П. А., Денисова Є. М та інших вчених та дослідників цього напрямку.

Отримані результати мають не лише теоретичну цінність, але й практичне застосування, оскільки можуть бути використані для оптимізації роботи виймально-навантажувального обладнання на ПРАТ «Інгулецький ГЗК» та аналогічних підприємствах гірничої галузі України.

## ОСНОВНА ЧАСТИНА

### РОЗДІЛ 1. Теоретичні аспекти ефективного використання виймально-навантажувального обладнання

#### ***1.1. Класифікація та характеристика виймально-навантажувального обладнання***

В сучасному гірничодобувному виробництві, зокрема у кар'єрних роботах, виймально-навантажувальне обладнання є ключовим елементом технологічного процесу. Екскаватори, як основний тип такого обладнання, забезпечують виконання широкого спектру завдань, починаючи від видобутку корисних копалин і закінчуючи погрузкою матеріалів для транспортування. Умови роботи у кар'єрах, особливо на великих промислових об'єктах, таких як ПРАТ "Інгулецький ГЗК", характеризуються значними навантаженнями, складними геологічними умовами та необхідністю забезпечення високої продуктивності. Тому класифікація та детальна характеристика екскаваторів мають важливе значення для оптимізації їхньої експлуатації.

*Класифікація екскаваторів за конструктивними та функціональними ознаками.* Екскаватори можуть бути класифіковані за кількома основними ознаками, кожна з яких визначає їхню призначеність для конкретних умов експлуатації. *Перша ознака* - принцип роботи. За цією характеристикою виділяють лопаткові, шламопідйомні та ковшові екскаватори. Лопаткові екскаватори, як правило, використовуються для масштабних робіт із видаленням великого об'єму ґрунту або породи. Шламопідйомні екскаватори спеціалізуються на роботі з рідкими або напіврідкими матеріалами, такими як мули, шлами або водонасичені ґрунти. Найпоширенішими є

ковшові екскаватори, які мають широкий спектр застосування від будівельних до кар'єрних робіт [1].

*Друга ознака* класифікації - спосіб переміщення. Екскаватори поділяються на колісні, гусеничні, пневматичні та мобільні. Колісні екскаватори характеризуються високою маневреністю та швидкістю переміщення, що робить їх придатними для робіт у міських умовах або на невеликих ділянках. Гусеничні екскаватори, навпаки, мають більшу стабільність і здатність працювати на слабких ґрунтах, що є важливим фактором для кар'єрних умов. Пневматичні екскаватори використовуються в умовах, де потрібно мінімізувати вплив на поверхню, наприклад, при роботі на асфальтованих покриттях. Мобільні екскаватори поєднують переваги колісних та гусеничних моделей, проте їх вартість є значно вищою [2].

*Третя ознака*, вид виконуваних робіт. За цією характеристикою екскаватори поділяються на машини для копання ґрунту, для погрузки матеріалів та спеціальні екскаватори, які використовуються для демонтажу, дренажу або інших спеціалізованих завдань. У кар'єрних умовах найчастіше застосовуються екскаватори перших двох типів, оскільки вони забезпечують високу продуктивність при масовому копанні та погрузці.

*Четверта ознака* - конфігурація робочого органу. За цією характеристикою виділяють обертові, прямокутні та зворотні екскаватори. Обертові екскаватори мають здатність повертати ковш на 360 градусів, що розширює їхні можливості при виконанні складних завдань. Прямокутні екскаватори використовуються для робіт, які вимагають точності та контрольованості рухів. Зворотні екскаватори є найпоширенішими у кар'єрних умовах через їхню здатність працювати на великих глибинах та вузьких просторах [3].

*Основні технічні характеристики екскаваторів.* Технічні характеристики екскаваторів є ключовими параметрами, які

визначають їхню придатність для конкретних умов експлуатації. До основних характеристик належать габаритні розміри, маса машини, потужність двигуна, радіус досягнення, глибина викопу, ємність ковша та максимальна швидкість переміщення. Розглянемо детальніше кожен з цих характеристик.

*Габаритні розміри екскаватора* визначають його маневреність та можливість працювати в обмежених просторах. У кар'єрних умовах, де робочий простір часто є достатньо великим, цей параметр менш критичний, ніж у міських умовах. Проте важливо враховувати, що великі габарити екскаватора можуть ускладнювати його транспортування та розміщення на об'єкті.

*Маса машини* є одним із ключових параметрів, які визначають стабільність екскаватора під час роботи. Чим більша маса, тим вища стабільність, що особливо важливо при виконанні робіт на слабких ґрунтах або при великій висоті підйому ковша. Однак велика маса також збільшує навантаження на поверхню, що може бути проблематичним у певних умовах.

*Потужність двигуна* безпосередньо впливає на продуктивність екскаватора. Сучасні екскаватори оснащуються дизельними двигунами потужністю від 100 до 300 кВт, що дозволяє їм ефективно працювати з великими навантаженнями. Важливо відзначити, що висока потужність двигуна часто супроводжується збільшенням витрат палива, що є важливим фактором при плануванні експлуатаційних витрат [4].

*Радіус та глибина копання* є критичними параметрами для кар'єрних умов. Екскаватори, які використовуються у кар'єрах, зазвичай мають радіус досягнення від 8 до 12 метрів та глибину копання від 5 до 9 метрів. Ці параметри визначають можливість екскаватора працювати з великими об'ємами матеріалу та забезпечувати ефективну погрузку [4].

*Ємність ковша* є одним із найважливіших параметрів, які впливають на продуктивність екскаватора. Ковши сучасних екскаваторів мають різну ємність від 1 до 65 (Caterpillar 6120) кубічних метрів, в залежності від потреб та призначення, що дозволяє їм ефективно працювати з різними типами матеріалів. Для кар'єрних умов, де потрібно виконувати масштабні роботи, використовуються екскаватори з великими ковшами .

Максимальна швидкість переміщення є менш критичним параметром для кар'єрних умов, оскільки екскаватори рідко переміщуються на великі відстані. Проте цей параметр може бути важливим при плануванні транспортування екскаватора між різними ділянками кар'єру.

Сучасні екскаватори оснащуються передовими *системами управління*, які дозволяють оптимізувати їхню роботу. До таких систем належать електронні системи контролю, GPS-навігація, системи діагностики та системи безпеки. Ці технології дозволяють не лише підвищити продуктивність екскаваторів, але й зменшити витрати на їхню експлуатацію. Наприклад, система GPS-навігації дозволяє точно визначати положення екскаватора на об'єкті та оптимізувати траєкторію його руху. Електронні системи контролю дозволяють моніторити стан усіх ключових компонентів екскаватора та своєчасно виявляти можливі проблеми. Системи безпеки забезпечують захист оператора та іншого персоналу від травм та аварій.

Класифікація екскаваторних заходок є взаємозалежністю від виймально-навантажувального обладнання. Класифікація екскаваторних заходок залежно від типу, ширини й характеру руху транспортних засобів представлена на рисунку 1.1.

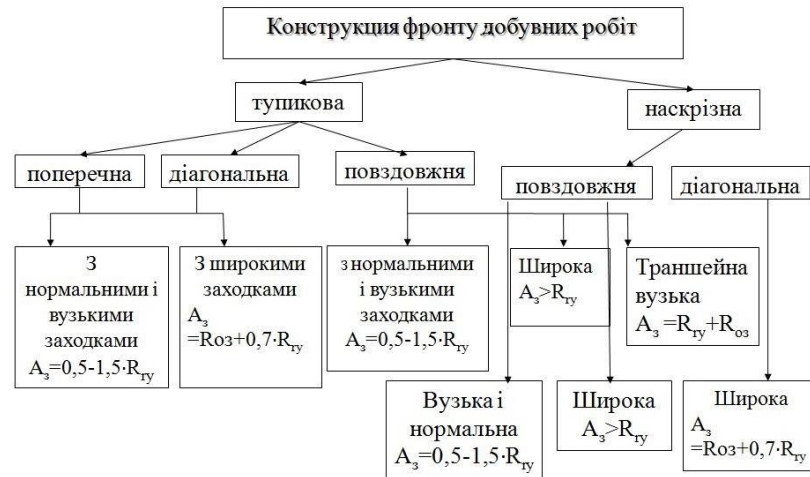


Рисунок 1.1 - Класифікація фронту видобувних робіт і екскаваторних заходок

*Особливості експлуатації екскаваторів у кар'єрних умовах.* Умови експлуатації екскаваторів у кар'єрах, таких як ПРАТ "Інгулецький ГЗК", мають ряд специфічних особливостей. По-перше, це складні геологічні умови, які можуть включати наявність твердих порід, водонасичених ґрунтів або інших факторів, які ускладнюють роботу. По-друге, це значні навантаження, які вимагають від екскаваторів високої надійності та міцності. По-третє, це необхідність забезпечення високої продуктивності, що вимагає від операторів та технічного персоналу професійної підготовки та використання сучасних технологій.

### **1.2. Фактори, що впливають на продуктивність роботи виймально-навантажувального обладнання**

Продуктивність екскаватора визначається як об'єм виконаної роботи за конкретний проміжок часу. Розрізняють 3 види розрахункових значень цього параметра: *теоретичний, технічний та експлуатаційний*.

*Теоретична продуктивність:*

$$W_{\text{теор}} = ((3600 * q) / T_{\text{ц}}) * \text{м}^3/\text{час} \quad (1.1)$$

$W_{\text{теор}}$  - це теоретична продуктивність екскаватора (м<sup>3</sup>/година),

$q$  – об'єм ковша (м<sup>3</sup>),

$T_{\text{ц}}$  – найменша тривалість циклу у усереднених умовах роботи машини (сек.).

Тривалість циклу ( $T_{\text{ц}}$ ) включає послідовність окремих дій:

$$T = t_{\text{к}} + t_{\text{р}} + t_{\text{д}} + t_{\text{г}} + t_{\text{в}} + t'_{\text{р}} + t'_{\text{п}} + t'_{\text{г}} + t_{\text{п}} + t'_{\text{п}} \quad (1.2)$$

$t_{\text{к}}$  - тривалість копки (сек.),

$t_{\text{р}}$  - час розгону при навантаженому ковші,

$t_{\text{д}}$  - час рівномірного переміщення з навантаженим ковшем,

$t_{\text{г}}$  - тривалість гальмування з навантаженим ковшем,  $t$  - час вивантаження ковша,

$t_{\text{в}}$  - час вивантаження ковша,

$t'_{\text{р}}$  - тривалість прискорення з розвантаженим ковшем,

$t'_{\text{п}}$  - час, коли екскаватор рівномірно рухається з розвантаженим ковшем,

$t'_{\text{г}}$  - тривалість гальмування розвантаженим ковшем (в сек.),

$t_{\text{п}}$  - тривалість виконання повного повороту в забій,

$t'_{\text{п}}$  - тривалість повного повороту на вивантаження.

*Технічна продуктивність:* Максимально можливе видобування за 1 годину постійного виконання завдань у конкретних умовах. Технічна продуктивність екскаватора, враховує характеристики ґрунту та розмір вибою, де працює машина. Властивості ґрунту впливають на заповнення ковша, через розпушення землі, відділяємої від масиву. Об'єм рихлого ґрунту буде менше, ніж розрахунковий показник для щільної маси. Заповнення ковша залежить від характеристик ґрунту. Для виконання робіт, при яких платформа екскаватора повертається на кут  $\neq 90^\circ$ , тривалість циклу буде змінюватися [5].

$$W_{\text{тех}} = ((3600 * q * K_{\text{н}}) / T_{\text{цт}} K_{\text{р}}) * \text{М}^3/\text{год} \quad (1.3)$$

Де:  $W_{\text{тех}}$  - технічна продуктивність (м<sup>3</sup>/годину у щільному тілі),

$T_{цт}$  – тривалість робочого циклу машини у вибої (сек.), яка замірюється хронометром чи приймається рівної  $T_{ц}$  з урахуванням умови виконання роботи,

$K_{н}$  - показник наповнення ковша землею,

$K_{р}$  – коефіцієнт зміни обсягу ґрунту в ковші в результаті розпушування,

$q$  - обсяг ковша.

Коефіцієнт  $K$  (наповнення ковша) визначається як відношення обсягів розпушеного ґрунту, який потрапляє в ківш і самого ковша. Його значення залежить від конструкції навісного обладнання та умов, яких працює техніка.

Змінна продуктивність екскаватора:

$$W_{\text{тех}} = ((3600 * q * K_{н} * K_{ц} * T) / T_{цт}K_{р}) * M^3/\text{час} \quad (1.4)$$

Де:  $W_{\text{тех}}$  - технічна продуктивність (м<sup>3</sup>/годину у щільному тілі),

$T_{цт}$  – тривалість робочого циклу машини у вибої (сек.), яка замірюється хронометром чи приймається рівної  $T_{ц}$  з урахуванням умови виконання роботи,

$K_{н}$  - показник наповнення ковша землею,

$K_{р}$  – коефіцієнт зміни обсягу ґрунту в ковші в результаті розпушування,

$q$  - обсяг ковша.

$W$  - експлуатаційна продуктивність (м<sup>3</sup>) п за встановлений час,  $K$  - коефіцієнт експлуатації техніки за часом за досліджуваний період.

У процесі роботи екскаватора виникають деякі тимчасові втрати, пов'язані з його пересуванням, поточним ремонтом, обслуговуванням, заправкою паливом. Щоб обчислити продуктивність екскаватора в зміну, втрачений час  $T_{пр}$  слід відняти від загального за зміну  $T$ . Чистий час роботи техніки:

$$T_{ч} = T - T_{пр} \quad (1.5)$$

Коефіцієнт  $K_d$  показує ставлення чистого робочого дня  $T_{ч}$ , яке йде виконання операцій з ґрунтом (копка, поворот, розвантаження у відвал та навантаження на самоскид), до загального часу  $T$  (обидва показники вказуються в годиннику) за конкретний період роботи екскаватора. Для  $K_d$  розрахунку використовується формула:

$$K_d = T_{ч}/T \quad (1.6)$$

*Експлуатаційна продуктивність:* Середня продуктивність екскаватора у певних умовах. Враховується характеристика ґрунту та вибою. Особливості організації робіт та експлуатації техніки. Розрахунок продуктивність одноковшового екскаватора проводиться для встановлення норм. Експлуатаційна продуктивність, як правило, менша, ніж технічна та теоретична. Проте досвідчені екскаваторники, максимально використовуючи свої навички, здатні перевершити встановлені технічні та теоретичні показники [6].

Продуктивність роботи виймально-навантажувального обладнання є комплексним показником, який залежить від багатьох взаємопов'язаних факторів. Дослідження, проведені на кар'єрах, де ведеться видобуток суглинків і глин, дозволили визначити ключові параметри, що впливають на продуктивність основного обладнання.

*Технічні характеристики.* Об'єм ковша екскаватора безпосередньо впливає на продуктивність одноковшових машин. Потужність двигуна і швидкість виконання операцій визначають темп роботи, а маневреність обладнання дозволяє ефективно працювати в обмеженому просторі. Надійність конструкції і ремонтпридатність забезпечують стабільність роботи та зменшують простой через технічні несправності.

*Технологічні фактори.* Співвідношення місткості ковша екскаватора і кузова автосамоскида визначає ефективність завантаження. Відстань транспортування безпосередньо впливає на продуктивність комплексу - збільшення відстані призводить до

збільшення часу рейсу. Умови формування відвалів визначають можливості швидкої розвантаження транспортних засобів.

*Характеристики розроблюваних порід.* Категорія породи за важкістю розробки визначає час циклу роботи екскаватора. Вологість порід особливо важлива при розробці глин - вологі глинисті породи, які налипають на ковш, зменшують його корисний об'єм і збільшують тривалість циклу через довшу розвантаження. Коефіцієнт розпушення для однієї і тієї самої породи відрізняється в ковші екскаватора і в кузові автосамоскида через різні геометричні параметри.

*Організаційні фактори.* Достатність транспортних засобів є критичним чинником - недостатня кількість автосамоскидів призводить до простоїв екскаватора. Стан доріг безпосередньо впливає на швидкість транспортування: якісне дорожнє покриття дозволяє зменшити час рейсу. Ефективна організація роботи екскаваторного парку передбачає правильне планування чергування машин і забезпечення своєчасного технічного обслуговування і ремонту.

*Кваліфікація персоналу.* Досвід роботи операторів і водіїв визначає якість виконання операцій. Навички управління обладнанням дозволяють оптимізувати процес навантаження і транспортування. Здатність швидко реагувати на зміни ситуації та координація дій між оператором екскаватора і водієм автосамоскида забезпечують безперебійну роботу комплексу.

*Кліматичні умови.* Температурні умови, особливо низькі температури, вимагають додаткового обслуговування техніки. Оподи можуть ускладнювати роботу, особливо при транспортуванні сипучих матеріалів. Вітрові навантаження і сезонні зміни стану порід також потрібно враховувати при плануванні робіт.

*Експлуатаційні фактори.* Регулярність технічного обслуговування дозволяє попередити несправності. Якість запасних частин впливає на надійність роботи машин. Дотримання режимів

роботи і відпочинку обладнання забезпечує його довговічність. Своєчасність проведення ремонтних робіт дозволяє мінімізувати простої.

*Економічні аспекти* включають вартість експлуатації обладнання, витрати на паливо і мастильні матеріали, амортизаційні відрахування та витрати на технічне обслуговування. Ці фактори впливають на загальну ефективність використання техніки і повинні враховуватися при плануванні робіт.

*Логістичні фактори.* При збільшенні відстані транспортування зростає час рейсу, що призводить до збільшення необхідної кількості автосамоскидів для забезпечення безперебійної роботи екскаватора. Оптимізація маршрутів і покращення стану доріг дозволяють зменшити негативний вплив цього фактора.

*Інноваційні фактори.* Впровадження нових технологій видобутку дозволяє оптимізувати процеси. Автоматизація процесів забезпечує точність виконання операцій і зменшує вплив людського фактора. Використання сучасних систем моніторингу дозволяє контролювати стан обладнання і прогнозувати несправності. Впровадження енергозберігаючих технологій знижує експлуатаційні витрати.

*Нормативно-правові фактори та фактори безпеки.* Включає базові вимоги охорони праці та спеціальні заходи, пов'язані з особливостями конкретного обладнання. Системи контролю забезпечують постійний моніторинг потенційно небезпечних ситуацій. Системи захисту обладнання запобігають аваріям і поломкам. Професійна підготовка персоналу з питань безпеки забезпечує відповідальне ставлення до виконання робіт.

Взаємодія всіх цих факторів визначає загальну ефективність роботи виймально-навантажувального обладнання. Оптимальне поєднання технічних, організаційних і технологічних чинників дозволяє

досягти максимальних показників продуктивності при мінімальних витратах.

### ***1.3. Сучасні методики оптимізації роботи виймально-навантажувального обладнання***

На сучасному етапі розвитку відкритих гірничих робіт, питання оптимізації виймально-навантажувальних процесів залишаються актуальними і немає єдиного рішення. Різні підходи до вирішення цієї проблеми представлені у роботах та дослідженнях таких вчених, як В.І. Залеських, М.І. Сокур, К.М. Трубецькій, О.М. Домбровський, М.М. Котровський, В.Д. Кассов та інші. Ці роботи охоплюють широкий спектр аспектів: від вибору техніки та узгодження параметрів обладнання до створення спеціалізованих програмних комплексів для розрахунку оптимальних режимів роботи екскаваторно-автомобільних комплексів. Незважаючи на різноманітність запропонованих методик, усі автори сходяться на думці про необхідність комплексного підходу до вирішення завдань оптимізації, що враховує особливості гірничо-геологічних умов, технічні характеристики обладнання та економічні показники роботи кар'єрів.

К.М. Трубецькій, О.М. Домбровський, М.М. Котровський, А.В. Федоров, В.П. Шорохов, В.Є. Кисляков, С.А. Бобров та А.В. Нікітін пропонують метод оптимізації виймально-навантажувальних процесів через використання кранлайнів. Метод ґрунтується на заміні існуючих екскаваторів (мехлопат та гідравлічних зворотних лопат) на кранлайни для відпрацювання високих уступів нижнім черпанням. Це дозволяє збільшити висоту уступу, що розробляється, в два рази в порівнянні з мехлопатами і гідравлічними зворотними лопатами [7].

Суть методу полягає у поєднанні кількох низьких уступів в один високий уступ, що призводить до скорочення числа робочих горизонтів та транспортних комунікацій. Приклад, наведений, на розрізі

«Назаровський» три верхні розкривні уступи загальною потужністю до 30 м були об'єднані в один уступ з використанням ДШП 20.55. Такий підхід також дозволяє підвищити загальний кут робочого борту кар'єру на 6-10°, що знижує обсяги гірничо-капітальних робіт та розміри територій, що відриваються під відвали.

Метод передбачає оптимізацію транспортної системи за рахунок скорочення протяжності забійних залізничних колій завдяки концентрації горизонтів в один уступ. З можливою заміною залізничного транспорту, автотранспортом на верхніх розкривних уступах для підвищення гнучкості та ефективності перевезень. Пропонується регулювання обсягів безтранспортного та транспортного розкриву для досягнення оптимального балансу між внутрішніми транспортними та безтранспортними відвалами.

Економічний ефект досягається за рахунок зниження витрат на інфраструктуру, включаючи зменшення обсягів буропідривних робіт та витрати вибухових речовин, а також скорочення кількості обладнання, що використовується. Наприклад, демонтаж та виключення з експлуатації зайвих забійних залізничних глухих кутів дозволяють вивільнити додаткові ресурси. Метод також забезпечує підвищення технічної продуктивності кранлайнів за рахунок зниження питомої ваги робочого часу на пересування екскаватора у високому вибої та ненаголошеного вивантаження гірської маси в кузов автосамоскида або думпкара.

В своїй роботі М.І. Сокур та В.Д. Кассов пропонують метод оптимізації виймально-навантажувальних процесів на гірничо-збагачувальних підприємствах, заснований на узгодженні параметрів навантажувальних майданчиків з характеристиками гірничо-транспортного обладнання. Метод спрямований на підвищення ефективності роботи екскаваторно-автомобільних комплексів (ЕАК) за

рахунок покращення взаємодії між габаритами робочих майданчиків та технічними можливостями обладнання, що використовується [8].

Основна мета методу - максимізація експлуатаційної продуктивності ЕАК за рахунок узгодження розмірів маневрових майданчиків з параметрами кар'єрних самоскидів і екскаваторів. Для цього створено математичну модель, що враховує ширину та висоту уступу, час маневрування, радіус установки екскаватора, кількість ковшів при завантаженні та інші фактори. Продуктивність розраховується з урахуванням технічної продуктивності екскаватора, коефіцієнта використання часу та втрат на перетин фронту робіт.

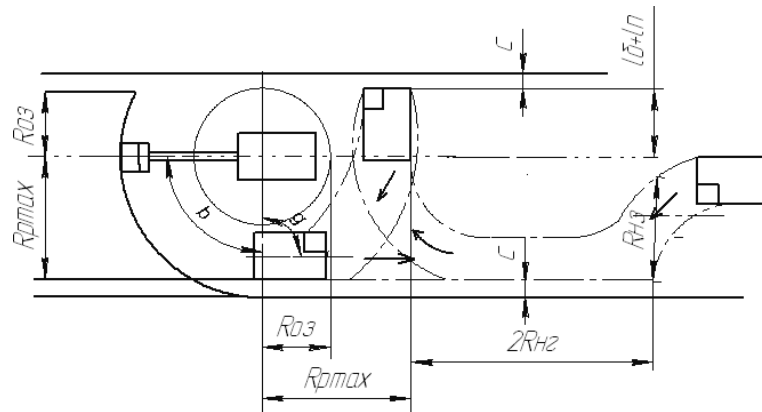


Рисунок 1.2- Схема маневру й параметри маневрової площадки: тупикова поздовжня широка заходки [8]

Методика класифікує фронти гірничих робіт і типи екскаваторних заходок за шириною та характером руху транспорту. Для кожного типу заходки визначаються мінімальні розміри майданчиків, кути повороту екскаватора та положення самоскида. Наприклад, для тупикової поздовжньої заходки розміри майданчика залежать від радіусу повороту самоскида, зони безпеки та радіусу розвантаження екскаватора.

Графоаналітичний аналіз простору кар'єру дозволяє визначити траєкторію маневрування самоскида та час його виконання, що впливає на загальну ефективність роботи. Алгоритм включає вибір

типу заходки, розрахунок розмірів майданчика та оптимізацію схеми роботи за критерієм максимальної продуктивності.

Дослідження показали, що продуктивність ЕАК залежить від типу заходки та способу відпрацювання уступу [8]. Кільцева схема під'їзду є найефективнішою для діагональної заходки, поширеної на кар'єрах Криворізького регіону, але частіше використовуються тупикові схеми, особливо для поздовжніх заходок. Розроблена методика дозволяє вибирати раціональні схеми під'їзду, забезпечуючи максимальну продуктивність та безпеку при мінімальних розмірах майданчиків.

В праці О.О. Фролова, І.Д. Литвинчука та А.О. Остапчука пропонується метод оптимізації роботи виймально-навантажувальних обладнання при розробці флювіогляціальних відкладень. Метод ґрунтується на визначенні оптимального співвідношення між місткістю кузова самоскида та ковша екскаватора для забезпечення максимально ефективної роботи комплексу у заданих умовах [9].

Ціль методу, підвищення продуктивності екскаваторно-автомобільного комплексу (ЕАК) за рахунок узгодження параметрів устаткування з гірничо-геологічними та технологічними умовами кар'єру. Дослідження показують, що для досягнення високої продуктивності при мінімальних витратах необхідно оптимальне співвідношення між місткістю кузова самоскида та ковша екскаватора. Для цього запропоновано дві технологічні схеми розробки розкривного уступу: перша передбачає використання гідравлічного екскаватора із зворотною лопатою, друга з прямою лопатою.

Метод включає моделювання поверхні кар'єрного поля в AutoCAD Civil 3D (рисунок 1.3) для визначення параметрів трас транспортування породи. Розрахунки показали, що для першої схеми тривалість рейсу самоскида становить 4,03 хвилини, а співвідношення місткостей кузова самоскида та ковша екскаватора 5,64. Для другої схеми ці значення дорівнюють 11,67 хвилини та 8,16 відповідно. При

роботі з ковшем місткістю  $2,1 \text{ м}^3$  рекомендовано використовувати самоскиди з кузовами місткістю  $11,84 \text{ м}^3$  для першої схеми та  $17,44 \text{ м}^3$  для другої.

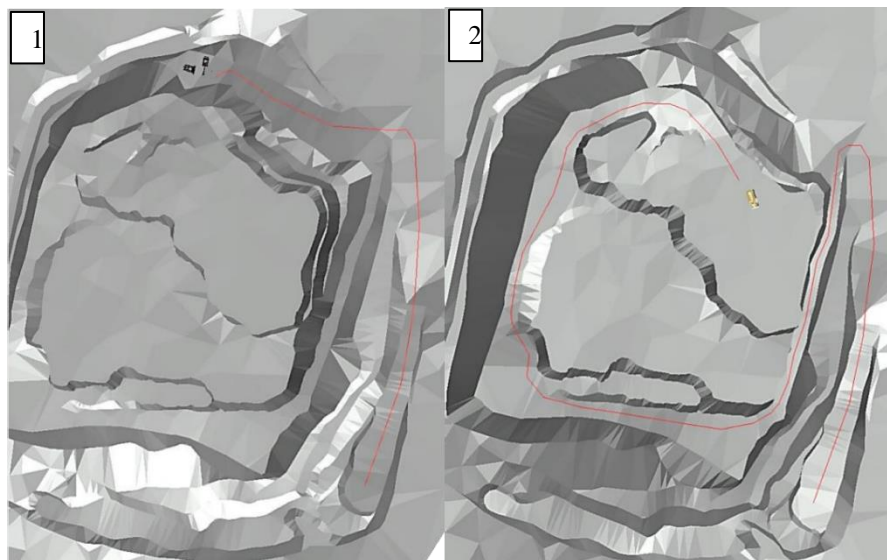


Рисунок 1.3 - 1) Маршрут транспортування розкриття на відвал за першою технологічною схемою; 2) Маршрут транспортування розкриття на відвал за другою технологічною схемою [9]

Для визначення оптимального співвідношення місткостей використовується аналітична залежність, яка враховує коефіцієнт наповнення ковша, тривалість циклу навантаження, час обміну самоскидів та середню тривалість рейсу. Важливим елементом методу є детальне моделювання профілів трас, що дозволяє точно визначити довжину перевезень, висоту підйому, ухил траси та швидкості руху самоскидів.

Застосування методу підвищує ефективність роботи ЕАК за рахунок врахування місцевих умов та вибору оптимальних параметрів техніки. Це створює основу для подальших досліджень щодо оптимізації роботи технологічного комплексу при реалізації запропонованих схем розробки флювіогляційних відкладень.

Згідно з працею Г.І. Ткаченко, Т.М. Ковальчук та М.В. Михайленко, запропоновано метод оптимізації виймально-

навантажувальних процесів на кар'єрах Кривбасу через управління якістю подрібнення гірничої маси під час вибухових робіт. Метод базується на визначенні залежності виробничих витрат від оптимального середнього розміру фрагментів зруйнованої породи, що дозволяє знизити витрати на транспортування та додаткове дроблення [10].

Методика передбачає аналіз статистичних даних промислових вибухів та техніко-економічних показників гірничо-збагачувальних комбінатів. Середній розмір фрагментів у розвалі використовується як інтегральний показник для оцінки ефективності екскавації, транспортування та дроблення. Дослідження показують, що найбільш енергоємними є процеси середнього дроблення (94,2% енерговитрат), тоді як буріння свердловин, вибухове руйнування та механічне дроблення негабаритів становлять лише 5,8%.

Виділяється чотири види питомих витрат: буро-вибухові роботи (Сбвр), виймально-навантажувальні роботи (Секск), транспортування (Стр) та механічне дроблення негабаритів (Сподр). Якість подрібнення впливає на всі ці процеси. Незадовільне подрібнення збільшує вміст великих фрагментів, ускладнює екскавацію, збільшує прості та знижує продуктивність обладнання. Це також призводить до зростання витрат на транспортування та знос обладнання.

За допомогою спеціальної комп'ютерної програми було встановлено загальну закономірність зміни сумарних витрат у залежності від середнього розміру фрагментів. Графічно отримана параболічна залежність, де точка екстремуму відповідає оптимальному середньому розміру шматків зруйнованої породи. Використання цього результату дозволяє оперативно приймати технологічні рішення, підвищуючи ефективність управління виймально-навантажувальним обладнанням та дозволяє знизити

витрати на транспортування та додаткове дроблення на кар'єрах Кривбасу.

У спільній дослідницькій праці І.Є. Григор'єв, Ю.І. Григор'єв, Є.М. Швець, С.О. Луценко та А.Ю. Лукін пропонують метод оптимізації виймально-навантажувальних процесів на основі кар'єру «Єристівський ГЗК». Метод спрямований на підвищення ефективності використання виймально-навантажувального обладнання за рахунок впровадження інформаційних технологій, таких як автоматизована система управління (АСУ) гірничим транспортом WENCO [11].

Аналіз показав, що продуктивність екскаваторів залежить від організації обмінних операцій, узгодження параметрів обладнання та схем завантаження. Час циклу навантаження складається з таких компонентів: повороту (25%), заповнення ковша (41%), повороту з ковшем (24%) та розвантаження (10%). Оптимальна кількість ковшів для завантаження самоскида 3-6. Висота самоскидів щодо рівня екскаватора також впливає на продуктивність: нижнє завантаження зменшує час циклу до 20-23 секунд, а верхнє, знижує ефективність.

Дослідження за період 2021-2022 років показали [11], що фактична продуктивність драглайнів ЕШ-14/50 та ЕШ-11/70 нижча за розрахункову: для RH-200 -на 7%, для CAT 6060 -на 39%, для ЕШ-14/50 - на 21%. Для покращення пропонується використовувати нижнє завантаження, що скорочує кут повороту і підвищує продуктивність. Наприклад, при куті  $10^\circ$  річна продуктивність ЕШ-14/50 становить 3,95 млн м<sup>3</sup>, а при  $90^\circ$  знижується вдвічі.

Впровадження системи WENCO дало значні результати: час простою самоскидів скоротився на 20-30%, середнє завантаження збільшилося на 2-3%, а кількість завантажених самоскидів CAT 789С зросла на 1042 одиниці завдяки підвищенню швидкості завантаження. Таким чином, комбінація організаційних заходів (оптимізація схем завантаження) та технічних рішень (впровадження АСУ) дозволяє

підвищити продуктивність, знизити витрати та покращити технологічні параметри робіт.

В.І. Залеських пропонує метод оптимізації виймально-навантажувальних процесів та транспортування на родовищі ім. М.В. Ломоносова, спрямований на зниження собівартості видобутку за рахунок покращення організації робіт та раціонального використання обладнання [12].

Метод базується на аналізі поточних технологічних схем. Основна проблема полягає у необхідності перевантаження руди з автосамоскидів вантажопідйомністю 90 тонн на менші (39-45 тонн) через неможливість розвантаження великотоннажних машин безпосередньо до бункера збагачувальної фабрики. Це призводить до додаткових витрат на експлуатацію виймальних екскаваторів для перевантаження. Пропонується відмовитися від проміжних складів та організувати пряме перевезення руди автосамоскидами меншої вантажопідйомності (40 тонн). Буферний склад перед фабрикою залишається лише для надзвичайних ситуацій.

Для розкривних робіт рекомендується використовуються екскаватори з ковшами 15 м<sup>3</sup>, які працюватимуть з 90 тонними автосамоскидами. Для видобутку запропоновано екскаватори з ковшами 7 м<sup>3</sup> для навантаження руди в автосамоскиди 39-45 тонн. Така комбінація мінімізує втрати корисних копалин і забезпечує ефективну розробку контактних зон. Перерахунок обладнання дозволяє скоротити кількість екскаваторів з ковшами 15 м<sup>3</sup> з трьох до двох та повністю виключити виймані екскаватори для перевантажувальних робіт, що зменшує штат співробітників, витрати пального та витрати на ремонт.

Результати розрахунків демонструють покращення техніко-економічних показників: обсяг розкривних робіт зростає до 13,04 млн м<sup>3</sup>/рік, видобуток до 2 млн м<sup>3</sup> (4 млн тонн) на рік. Штат скорочується зі

120 до 108 осіб, загальні витрати знижуються з 196,871 млн грн. до 171,756 млн грн., а собівартість руди з 141,1 до 128,6 грн./т. Прибуток збільшується на 49,8 млн грн [12].

Таким чином, метод передбачає відмову від перевантажувальних складів, раціональний розподіл функцій між обладнанням та вибір ефективних типів транспорту, що дозволяє знизити витрати, підвищити продуктивність та стабільність постачання фабрики сировиною.

Вчені В.Ф. Колесников, А.І. Корякін, В.А. Єрмолаєв та В.Ф. Воронков пропонують метод оптимізації виймально-навантажувальних процесів у насичених зонах кар'єрних полів розрізів. Метод спрямований на підвищення ефективності використання гірничого обладнання за рахунок раціонального формування технологічних схем відпрацювання складних порід блоків та комплексного підходу до вибору машин для різних умов роботи [13].

Метод базується на аналізі існуючих схем розробки насичених зон і виявленні проблем, пов'язаних із втратами та збідненням ресурсів при традиційному використанні обладнання. Для вирішення цих проблем пропонується комбінація мехлопат (ЕКГ), гідравлічних екскаваторів зворотної (ЕГО) та прямої лопати (ЕГ), бульдозерів і розпушувальних агрегатів. Такий підхід дозволяє розділити функції машин за висотою вибою, забезпечуючи якісне відпрацювання пластів.

При формуванні комплексу враховуються параметри, такі як висота уступу, ширина заходки, майданчиків для техніки та транспортних смуг. Для пластів з кутами падіння до 20° рекомендовано використовувати мехлопати разом із бульдозерами, а для крутопадаючих пластів (46-90°) -гідравлічні екскаватори зворотної лопати. Для зближених пластів забій розділяється на два шари, кожен з яких відпрацьовується окремим типом екскаватора.

Продуктивність обладнання підбирається так, щоб забезпечити взаємопов'язану роботу всіх машин комплексу. Це досягається за

допомогою розрахунку співвідношення продуктивності мехлопат і екскаваторів, враховуючи обсяг породи, середню годинну продуктивність і кут падіння пласта. Особлива увага приділяється структурним схемам проходки траншей, які можуть включати буровибухове або безвибухове розпушування.

Традиційні технології не реалізують повний потенціал сучасного обладнання. Запропонований метод дозволяє адаптувати технологію до будь-яких умов залягання пластів, скорочуючи втрати вугілля, покращуючи якість відпрацювання і економічні показники. Результати дослідження демонструють, що використання комбінованих комплексів сприяє раціональному комплектуванню виїмково-транспортних систем, де кожна машина ефективно взаємодіє з усім комплексом.

В роботі Р.В. Слободяню та М.М. Пижик, пропонується метод оптимізації виймально-навантажувальних процесів при використанні тимчасових внутрішніх відвалів на глибоких залізородних кар'єрах. Метод спрямований на підвищення ефективності роботи екскаваторно-автомобільного комплексу за рахунок оптимізації становища тимчасових відвалів та параметрів кар'єрних вантажопотоків [14].

Методика базується на аналізі умов функціонування комплексів, враховуючи особливості внутрішнього відвалювання, гірничо-геологічні та технічні умови. Автори наголошують на важливості впливу тимчасових відвалів на систему вантажопотоків, що часто ігнорується при плануванні, що призводить до перевантаження транспортної системи на глибоких горизонтах.

Метод включає два основні етапи. На першому етапі за допомогою оптимізаційних моделей визначається необхідна кількість транспорту для виконання завдань. Якщо поточного парку недостатньо, розраховується оптимальне місце розміщення тимчасового відвалу з урахуванням геологічних особливостей,

параметрів кар'єру та порядку розвитку робочих черг. На другому етапі за допомогою імітаційного моделювання досліджується робота комплексу та коригується положення відвалу для організації кільцевої схеми руху автосамоскидів, що зменшує холостий пробіг і підвищує продуктивність.

Особлива увага приділяється вибору місця розміщення відвалу, яке має враховувати тектонічні розломи, кут падіння рудних тіл, наявність с'їздів та транспортних берм. У деяких випадках можливе створення контрфорсів або збільшення висоти валів для згладжування пікових обсягів перевезень. При поетапній системі розробки відвали можуть бути розміщені на перспективних або малонавантажених етапах.

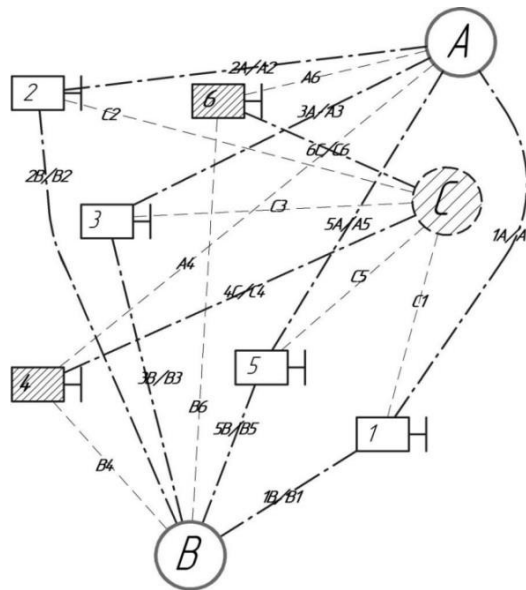


Рисунок 1.4 - Схема екскаваторно-автомобільного комплексу [14]

Згідно рисунку 1.4, де: 1-6 - порядкові номери працюючих екскаваторів; А,В – місця розвантаження розкривних порід і руди (С); основною штрихпунктирною лінією зображені можливі маршрути автотранс- порту у двох напрямках (вантажний та порожній), тонкою штриховою – у порожньому напрямі

Запропоновані оптимізаційні моделі дозволяють знайти найкраще місце для відвалу та забезпечити умови для кільцевої схеми

руху. Імітаційне моделювання перевіряє ефективність роботи комплексу в нових умовах. Дослідження показали, що використання тимчасових відвалів значно знижує обсяг транспортних операцій, але важливо враховувати термін їх служби, щоб уникнути обмежень розвитку кар'єру.

Таким чином, запропонована методологія поєднує лінійні оптимізаційні та імітаційні моделі для визначення раціонального застосування технологічних схем з внутрішнім відвалюванням, кільцевим рухом та попутним навантаженням. Це відкриває можливості для підвищення ефективності роботи глибоких кар'єрів, особливо при обмеженому парку транспорту та великих відстанях перевезень. Подальші дослідження спрямовані на виявлення закономірностей між параметрами вантажопотоків, схемами руху та характеристиками екскаваторно-автомобільного комплексу.

П.А. Зиков та Є.М. Денисов, пропонують метод оптимізації виймально-навантажувальних процесів через використання інноваційного програмного забезпечення для вибору відповідних машин для кар'єрних перевезень. Метод ґрунтується на кількісній оцінці якості функціонування екскаваторів у заданих гірничо-геологічних та технічних умовах [15].

Метод дозволяє вибрати машину з оптимальними параметрами для заданих умов експлуатації та визначити необхідні параметри для розробки нових моделей обладнання. Програмне забезпечення включає актуальний каталог кар'єрних екскаваторів, який оновлюється через інтернет, що гарантує доступність останніх даних про техніку. Завдяки цьому методу можна порівнювати технічні характеристики різних моделей між собою та вибирати найбільш підходящі рішення для кожного випадку.

Для створення програмного забезпечення авторами було реалізовано кілька ключових етапів: розробку бази даних кар'єрних

екскаваторів, алгоритм визначення показника якості машин, а також алгоритм порівняння та вибору екскаваторів під задані умови роботи. Крім того, була створена система елементів інтерфейсу користувача, що робить програму зручною для використання. Програма працює за принципом СУБД (системи управління базами даних), дозволяючи клієнту взаємодіяти з інформацією бази даних екскаваторів, яка містить основні параметри машин, фотографії, технічну документацію та іншу інформацію. Користувачі можуть самостійно доповнювати базу даних, використовуючи спеціальні форми для введення інформації.

Програмне забезпечення було протестовано на практиці в умовах ВАТ КК «Кузбасрозрізвугілля» на Талдинському вугільному розрізі та ТОВ «ПГПІ». У ході тестування дані, що відповідають гірничо-технічним та геологічним параметрам підприємств, було внесено у форму програми для перевірки її адекватності. Отримані результати проаналізували разом із фахівцями компаній, які підтвердили коректність висновків. На основі цих досліджень програму було прийнято до використання, як свідчать акти впровадження програмного забезпечення.

Розвиток цього методу передбачає розширення можливостей програмного забезпечення за рахунок створення аналогічних каталогів для інших видів гірничої техніки, таких як автосамоскиди, бурові установки та навантажувачі. Також планується доопрацювання сервісу для підбору оптимальних моделей кар'єрних автосамоскидів та навантажувачів, оптимізація роботи екскаваторно-автомобільного комплексу та підбір типорозміру гірничих машин під конкретні умови експлуатації. Інтерфейс програми адаптуватиметься під вимоги користувачів, а алгоритми покращуватимуться та вдосконалюватимуться. Таким чином, даний метод відкриває нові можливості для підвищення ефективності відкритих гірничих робіт,

зниження собівартості та збільшення продуктивності всього технологічного комплексу.

## РОЗДІЛ 2. Аналіз сучасного стану гірничих робіт кар'єру ПРАТ "Інгулецький ГЗК"

### 2.1. Особливості гірничо-геологічних умов кар'єру ПРАТ «Інгулецький ГЗК»

Інгулецьке родовище магнетитових кварцитів розташоване у крайній південній частині криворізького басейну, в 30 км на південь від центру м. Кривий Ріг. У будові родовища беруть участь граніти і мігматити архею, і метаморфічні породи криворізької серії нижнього протерозою. Породи докембрію перекриті глинами, пісками, мергелями, вапняками палеогену і неогену, а також суглинками четвертинного віку загальною потужністю до 40 м.

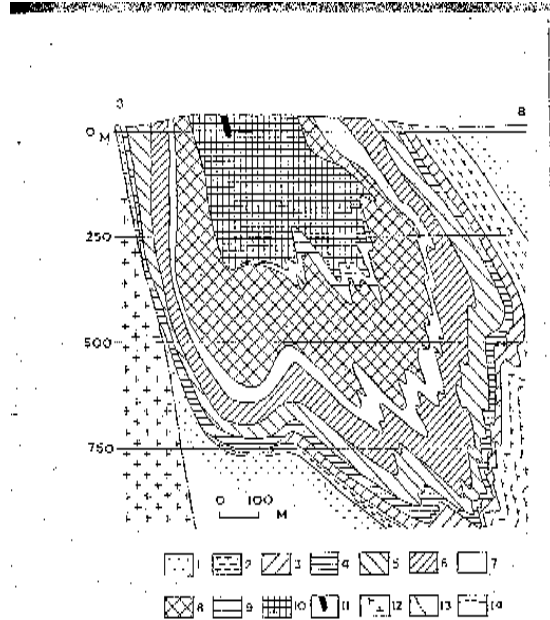


Рисунок 2.1 - Схематична карта району розташування Інгулецького родовища [16]

Основною корисною копалиною родовища є магнетитові кварцити, які використовуються для виробництва концентрату залізорудного агломераційного магнетитового з вмістом заліза 63,7%

та масовою долею вологи 10,5%. Продукція комбінату поставляється металургійним підприємствам України та на експорт [16].

Рисунок 2.2 - Схематичний геологічний розріз Інгулецького



родовища, де: 1-кварцити слюдисті PR1sk1; 2-сланці талькові PR1sk3; 3-сланці амфібол-біотитові PR1sx1s; 4- кварцити магнетит-силікатні PR1sx1f; 5- сланці амфібол-біотитові PR1sx2s; 6- кварцити магнетитові і силікат-магнетитові PR1sx2f; 7-сланці амфібол-біотитові PR1sx3s-4s; 8-кварцити гематит-магнетитові і магнетитові PR1sx4f; 9- кварцити з сланцями PR1sx5s; 10- кварцити і джеспіліти PR1sx5f; 11- багаті руди PR1sx-gd; 12-граніти і мігматити; 13- розривні порушення; 14- ерозійний зріз нижньопротерозойських порід [17].

Гірничі роботи в кар'єрі посуваються в північному напрямку з одночасним їх зниженням та формуванням на кінцевому контурі західного, східного та південного бортів кар'єру. Відпрацювання

горизонтів здійснюється переважно поперечними заходками, по всій ширині рудного поля.

Гідрогеологічні умови родовища складні і визначаються кліматичними факторами, геоморфологією та геологічною будовою.

Виділяються наступні водоносні горизонти та комплекси:

- водоносний горизонт у відкладах четвертинної системи;
- водоносний горизонт у відкладах понтичного регіоярису верхнього міоцену;
- водоносний горизонт у відкладах сарматського регіоярису верхнього міоцену.

Для забезпечення геологічного та маркшейдерського обслуговування гірничих робіт передбачений штат геологічної та маркшейдерської служби. З метою контролю за станом підземних та поверхневих вод щорічно здійснюються режимні спостереження по свердловинам режимної мережі.

Важливою характеристикою є стійкість бортів кар'єру та відвалів. Для їх контролю проводяться систематичні спостереження:

Таблиця 2.1 - Комплекс робіт по моніторингу за стійкістю бортів кар'єрів та відвалів

№ з/п	Вид робіт	Виконавець робіт	Об'єм робіт	Періодичність робіт
1	Візуальні спостереження за бортами кар'єру	Служба маркшейдерського забезпечення	Гор.+80м-150 м	1 раз на місяць
2	Інструментальні спостереження	ПЛ «Схід 68 вісь» (480 м); ПЛ «Схід 74 вісь» (490 м)	-	1 раз на квартал

Джерело: [16]

Основні параметри кар'єру включають:

- Висота уступів: 12-14 м на уступах, що складені рихлими породами; 15 м на скельних породах;
- Здвоєні уступи в скельних породах на проектному контурі мають висоту 30 м;
- Мінімальна ширина робочих площадок та транспортних берм становить 30 м.

Осушення відкладів осадового чохла в кар'єрі проводиться за допомогою прибортового дренажу у вигляді відкритих водозбірних дренажних канав та водоперепусків на кожному з бортів кар'єру. Дренаж кристалічних порід здійснюється за допомогою зумпфів на нижніх горизонтах гірничих робіт і системи пересувних і стаціонарних насосних станцій і напірних трубопроводів.

Таблиця 2.2 - Мінімальна ширина робочих площадок для умов кар'єру ПРАТ «ІнГЗК»

Тип екскаватора	Тип транспорту	По рудо-скельним породам	По наносним породам
ЕКГ-8і, ЕКГ-10	БілАЗ-75131, CAT-785С	≥ 31 м.	≥ 36 м.
ЕКГ-8і, ЕКГ-10, ЕКГ-12	БілАЗ-75306	≥ 34,7 м.	≥ 40,8 м.
НІТАСНІ-ЕХ-2500; НІТАСНІ-ЕХ-3600;	БілАЗ-75131, CAT-785С	≥ 31 м.	≥ 36,4 м.
НІТАСНІ-ЕХ-2500; НІТАСНІ-ЕХ-3600;	БілАЗ-75306	≥ 34,7 м.	≥ 40,8 м.
ЕКГ-8і, ЕКГ-10	Електровоз ОПЕ-1АМ, думпкари 2ВС-105-115	31,5 м.	32,3 м.

Джерело: [16]

Система водовідливу кар'єру включає два ступені:

1. Перший ступінь – пересувна водовідливна установка на горизонті (-150 м)

2. Другий ступінь – стаціонарна водовідливна установка на горизонті (-300 м)

Стан основного гірничого устаткування (екскаватори та бурові станки) регулярно оновлюється та модернізується. Для недопущення дефіциту бурового обладнання планується придбання нового верстату підвищеної продуктивності.

Безпечне ведення гірничих робіт забезпечується через:

- Розроблення паспортів безпечного ведення гірничих робіт;
- Роздвоювання уступів та формування берм безпеки;
- Систематичне очищення запобіжних берм;
- Виконання заходів щодо запобігання раптових проривів води із затоплених підземних виробок;
- Контроль за стійкістю бортів кар'єру та ярусів відвалів.

Таблиця 2.3 - Ширина транспортних берм для умов кар'єру ПРАТ «ІНГЗК»

Тип автосамоскиду	По рудо-скельним породам	По наносним породам
БілАЗ-75131, САТ-785С	≥ 26м;	≥ 28м;
БілАЗ-75306	≥ 33м;	≥ 37,5м;

Джерело: [16]

Особливу увагу приділяється питанням екологічної безпеки та рекультивації порушених земель. Основним напрямком рекультивації є виконання природоохоронного напрямку через насадження багатолітніх дерев та чагарників.

При проведенні гірничих робіт враховуються особливості зони впливу колишньої шахти "Центральна", що включає:

- Наявність ділянок, вироблених підземними гірничими виробками;
- Зони обвалення і зони можливого утворення воронок шахтними полями;
- Екстремальні зони по нестійкості порід.

Для забезпечення безпечного ведення робіт в таких умовах виконуються спеціальні заходи:

- Винос положення колишніх стволів шахт і шурфів;
- Негайне повне заповнення розконсервованих стволів і шурфів скельними породами;
- Відкачування води з виробок для осушення зон обвалення;
- Розташування підосви уступів борту кар'єру не менше чим на 6-8 м вище за абсолютну відмітку кривлі виробок.

Важливо відзначити, що у 2023 році очікується видобуток руди в обсязі 7097,9 тис.т при коефіцієнті розкриття 0,738 м<sup>3</sup>/т. На 2024 рік планується збільшення видобутку до 29270 тис.т при збереженні аналогічного коефіцієнту розкриття.

У 2024 році продовжаться роботи по розконсервації північного борту кар'єру. Планується розпочати роботи по розконсервації горизонтів +48, +36, +24 м. З другого півріччя заплановано розпочати роботи по розконсервації рудного цілика горизонту -240 м [16].

Для підтримання виробничих потужностей комбінату в 2019 році інститутом ДП «ДПІ «Кривбаспроект» виконано проект "Будівництво об'єктів обслуговування для відпрацювання Інгулецького родовища з розширенням кар'єру ПрАТ "ІНГЗК" в межах ліцензійної площі". Проект затверджено наказом №756 по підприємству від 03.07.2019 р [16].

Проектна потужність комбінату за період 2018-2025 рр. становить:

- видобуток руди 218,4 млн. т.;
- об'єм розкритих порід 164,04 млн. м<sup>3</sup>.;

Середній коефіцієнт розкриття за період 2018-2025 рр. становить 0,751 м3/т.

У склад комбінату входять основні об'єкти:

- Кар'єр з видобутку магнетитових залізистих кварцитів. Кар'єр, як структурна одиниця комбінату, складається з виробничих екскаваторних ділень, бурової ділянки, ділень з ремонту електроустаткування, загальноцехової ділянки, маркшейдерської та геологічної служби та служби нагляду за зсувом гірничих порід в кар'єрі та на відвалах.

- Цех технологічного автотранспорту, до складу якого входить дві технологічні автоколони (вантажопідйомність самоскидів 130-220 тонн), одна технологічна автоколони (вантажопідйомність самоскидів 30-45 тонн), автоколони спеціального автотранспорту, дорожня ділянка з будівництва та ремонту доріг в кар'єрі, ділянка внутрішньокар'єрного транспорту (тракторний парк).

- Дробильна фабрика, що працює за 4-х стадійною схемою дроблення, оснащена дробарками крупного дроблення ККД-1500/180, дробарками КРД-700/100, дробарками середнього дроблення КСД-2200/400 і дробарками дрібного дроблення КМД-2200/600. Заводи-виробники дробарок УЗТМ та НКМЗ. Технологічний процес здійснюється по циклічно-поточній технології.

Після дроблення руда крупністю 25-0 мм транспортується на РЗФ-1, крупністю 400-0 мм подається на РЗФ-2.

- Рудозбагачувальна фабрика №1 виробляє концентрат за трьохстадійною схемою кульового подрібнення на 10 секціях з попереднім збагаченням дрібно дробленої руди за технологією сухої магнітної сепарації (СМС).

- Рудозбагачувальна фабрика №2 виробляє концентрат ММС за двохстадійною схемою повного рудного самоподрібнення. До РЗФ входить виробнича ділянка з магнітно-флотаційного збагачення

концентрату. Для підвищення якості готової продукції концентрат ММС подається на комплекс магнітно-флотаційного збагачення. Вміст заліза в концентраті МФЗ не менше 66,5 % (згідно з технологічною інструкцією). Цех оснащено флотомашинами РИФ, контактним чаном КЧ-30, насосами LCC-R300, LCC-R200, LCC-M300, дешламаторами МД-9, вакуум-фільтрами ДОО-100, згущувачем СЦ 18.

- Цех технічної води і шламового господарства (ЦТВШГ) забезпечує процес збагачення руди технічною водою, гідравлічне транспортування і складування відходів збагачення. Цех оснащено пульпонасосними станціями (ПНС), обладнаними землесосними агрегатами виробництва «Уралгідромаш» (Росія) марки 2ГРТ 8000/71 і високопродуктивними агрегатами виробництва США марки LHD-49 і HHD-76.

Розчистка від шламів аварійної ємності, яка існує для технологічних та аварійних скидів пульпи для стабілізації роботи комбінату, здійснюється земснарядом «Гідромех 4000 Е».

Стаціонарна насосна станція (СНС) забезпечує подачу необхідного для виробництва обсягу води. СНС обладнана насосами марки 24 НДС.

Для підтримання виробничої потужності комбінату з виробництва концентрату у липні 2007 р. введена в експлуатацію 2-а черга шламосховища («Західна карта»), що дозволяє укласти шлами збагачення, які утворюються під час виробництва концентрату. Заповнення нового шламосховища виконується за проектом паралельної роботи шламосховищ першої та другої черги [16].

- Залізничний цех – виконує вивозку розкривних порід з кар'єру (дільниця кар'єрного транспорту) та відвантаження концентрату зі складу готової продукції і відправку його на станцію «Інгулець-Новий» (зовнішній транспорт).

Ритмічну роботу комбінату забезпечують допоміжні цехи:

Автотранспортний цех, Цех підготовки виробництва, Цех мереж і підстанцій та інші.

У рамках охорони земель проводиться систематичний моніторинг за станом навколишнього середовища, включаючи контроль за змінами рельєфу, станом ґрунтів та рослинності в зоні впливу гірничих робіт. Особливу увагу приділяється рекультивації порушених земель, де проводиться відновлення родючого шару ґрунту та насадження рослинності.

Для забезпечення екологічної безпеки та раціонального використання ресурсів передбачаються наступні заходи:

- Розробка техногенного родовища талькових сланців обсягом 194,7 тис.т;
- Використання розкривних порід для виробництва щебню;
- Контроль за місцями збирання та тимчасового зберігання відходів;
- Реалізація талькових сланців через укладену угоду з покупцями.

Ці заходи дозволять не лише зменшити негативний вплив на довкілля, але й оптимізувати використання вторинних матеріалів, що є важливим аспектом сучасного гірничодобувного виробництва.

Таким чином, геологічно-гірничі умови кар'єру ПРАТ "Інгулецький ГЗК" характеризуються складною геологічною будовою, наявністю водоносних горизонтів, необхідністю забезпечення стійкості бортів і відвалів, а також врахуванням впливу колишніх підземних розробок. Управління цими факторами здійснюється через комплексну систему моніторингу, технічного обслуговування та застосування сучасних технологій видобутку. Комплексний підхід до управління геологічно-гірничими умовами кар'єру ПРАТ "Інгулецький ГЗК" дозволяє забезпечити безпечне та ефективне ведення гірничих робіт при одночасному збереженні екологічної рівноваги в регіоні.

## **2.2. Огляд парку виймально-навантажувального обладнання ПРАТ «Інгулецький ГЗК»**

Основним парком виймально-навантажувального обладнання на ПРАТ «Інгулецький ГЗК» є екскаватори різних моделей і модифікацій. Для експлуатації в кар'єрі використовуються наступні види техніки:

1. Екскаватори механічної дії серії ЕКГ. Екскаватори ЕКГ - це важке гірничо-транспортне обладнання, що використовується для розробки родовищ відкритим способом. Вони оснащені прямим ковшем і мають механічну систему керування. Перевагами цих машин є висока продуктивність і надійність при роботі в складних гірничих умовах. Зусилля навантаженого ковша бере на себе стріла, підвіски стріли екскаватора і платформа з противагою, забезпечуючи стійкість і гасіння інерції підйому ковша. Власне поворотна платформа є базою для всіх вантажно-розвантажувальних механізмів, включаючи поворотний механізм, кабіну машиніста з системою управління та важелями.

Ці машини виготовлені Іжорським заводом (ЗАТ ІРО Трейдінг). Вони призначені для розробки скельних порід і мають об'єм ковша від 8 до 12 м<sup>3</sup>. Екскаватори ЕКГ характеризуються високою продуктивністю і надійністю при роботі в важких гірничих умовах.

*ЕКГ-8і* - кар'єрний гусеничний екскаватор, розроблений у СРСР для виконання важких гірничих робіт. Призначений для розробки ґрунтів та корисних копалин. Екскаватор складається з трьох основних частин: платформа з поворотним механізмом, ходова платформа і технологічне устаткування, що включає в себе стрілу, ківш і пристрої для їх роботи. На ходовій платформі розташовується механізм з роликами на рейковому колі, який служить опорним пристроєм для платформи і забезпечує її круговий рух.

Пересування ЕКГ-8і по робочій зоні забезпечується гусеничним ходом засобами індивідуального електроприводу на кожен гусеницю, застосованим вперше у вітчизняній практиці і в світовій історії.

Ківш складається з сталевих литих пластин зварної конструкції з високоміцної передньою частиною. Вона виконана з легованої сталі з п'ятьма змінними зубами (вага одного зуба 190 кг). Днище ковша забезпечено гальмівною системою, що забезпечує гасіння інерції коливань при вивантаженні і ударів при закритті ковша.

Кабіна машиніста забезпечує чудовий огляд за рахунок піднятого розташування над кузовом і механізмами. Комфорт забезпечує система кондиціонування, вентиляції, опалення, підігріву стекол. Поворотна платформа оснащена місцями зберігання для службових механізмів і запчастин, які використовують при виконанні ремонтних робіт і обслуговуванні сервісними фахівцями. Сумарна маса такого ЗІПа становить близько 10 тонн, який підсилює тридцяти тонний противагу [18].

Загальні характеристики: Тип екскаватора: одноковшовий, гусеничний, повноповоротний. Призначення: розробка ґрунтів та корисних копалин. Експлуатаційна вага: 373 тонн. Робоче обладнання: пряма лопата. Місткість ковша: 8м<sup>3</sup> (базового, складний ґрунт), 10м<sup>3</sup> (змінний, середній ґрунт). Найбільше зусилля на підвісці ковша: 980 кН. Максимальний радіус копання: 18,34м. Максимальна висота копання: 13,16 м. Максимальний радіус при вивантаженні: 16,3м. Максимальна висота розвантаження: 9,2 Тип ходової частини: гусенична. Робочий нахил місцевості: до 120°. Тривалість одного циклу (кут 90°): 28с. Тиск на ґрунт під час руху: 2,05 кгс/см<sup>2</sup>. Тип двигуна: електричний. Потужність двигуна: 520 кВт. Швидкість руху в робочій зоні: 0,42-0,45 км/год [18].

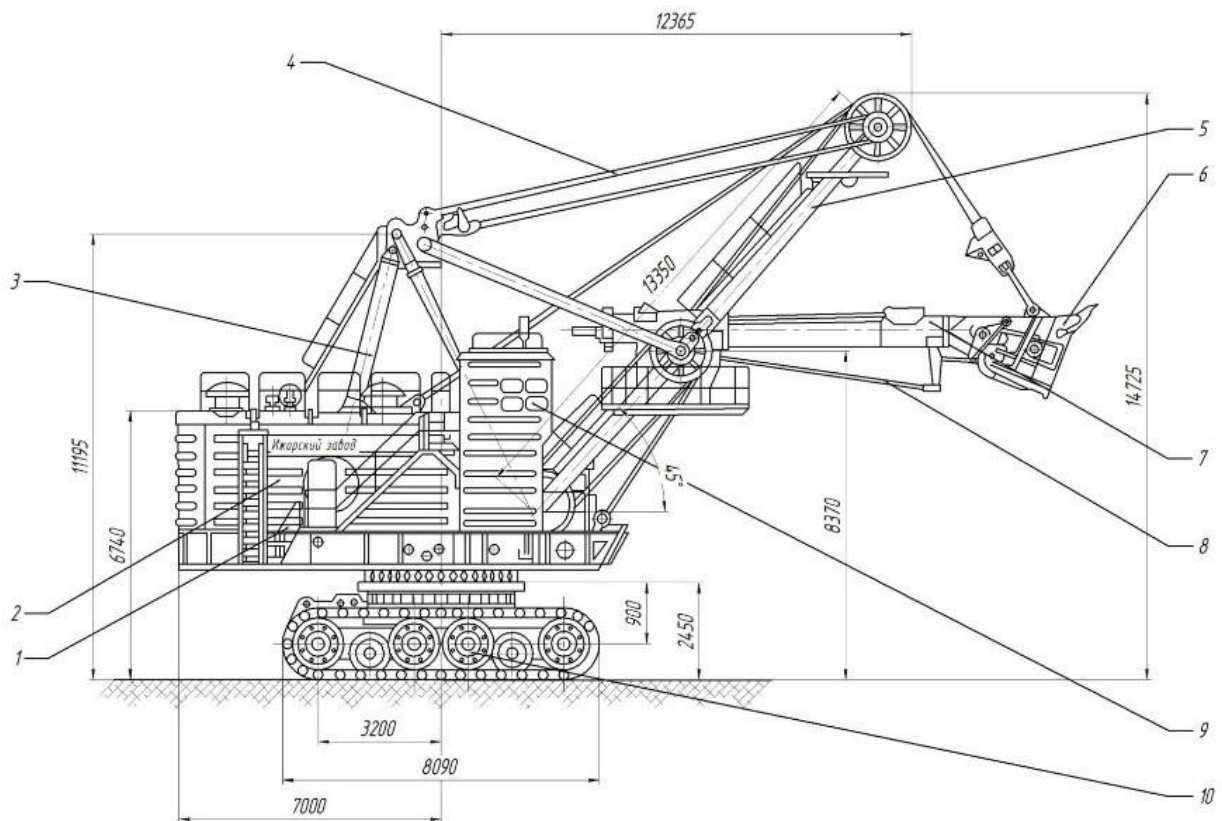


Рисунок 2.3 - Схема экскаватора ЕКГ-8і, де : 1 - вхідні східці; 2 - поворотна платформа з механізмом; 3 - двунога стійка; 4 - підвіска стріли; 5 - стріла; 6 - ковш з підвіскою; 7 - рукоять; 8 - механізм відкривання дна ковша; 9 - кабіна машиніста з органами управління экскаватором; 10 - ходовий візок [19].

*ЕКГ-10* - кар'єрний гусеничний экскаватор, що випускався в СРСР. Він призначений для розробки ґрунтів та корисних копалин. Як і всі кар'єрні экскаватори цієї серії, Екскаватор ЕКГ 10 складається з таких основних частин, як ходовий візок, поворотна платформа з механізмами і робоче обладнання. Ходова (основні частини): рама, електродвигун, роликівий коло, гусеничний хід. Робоче обладнання: ківш з підвіскою, рукоять, стріла, механізм відкривання днища ковша, підвіска стріли. Поворотна платформа: кузов, кабіна, комплексний пристрій керування приводами, підйомна лебідка, платформа, перетворюючі агрегат. Майже всі механізми на поворотній платформі

закриті металевим кузовом з примусовою вентиляцією і внутрішнім освітленням, що має велике значення при оглядах і ремонтних роботах.

Однобалочна рукоять екскаватора виконана з високоміцної штампованої труби. Кріплення ковша до рукояті - фланцеве, нерухоме, на високоміцних болтах, це забезпечує просту заміну і високу надійність (зазори і рухливість в з'єднанні відсутні). Рукоять розвантажена від крутіння і забезпечена демпфером двосторонньої дії, вбудованим в хвостовій частині. У головній частині рукояті встановлений змінний поворотний полублок з високою твердістю поверхонь. На екскаваторах застосований седлової підшипник з регульованими бічними і верхніми роликками для напрямку руху рукояті при напорі повернення. Це дає можливість компенсувати знос і знизити динамічні навантаження на робоче обладнання екскаватора [20].

Загальні характеристики: Тип екскаватора: одноковшовий, гусеничний, повноповоротний. Призначення: розробка ґрунтів та корисних копалин. Експлуатаційна вага: 395 тонн. Робоче обладнання: пряма лопата. Місткість ковша: 10м<sup>3</sup> (базового, складний ґрунт: змінного, середній ґрунт). Найбільше зусилля на підвісці ковша: 980 кН. Максимальний радіус копання: 18,4м. Максимальна висота копання: 13,5 м. Максимальний радіус при вивантаженні: 16,3м. Максимальна висота розвантаження: 8,6 м. Тип ходової частини: гусенична. Робочий нахил місцевості: до 120°. Тривалість одного циклу (кут 90°): 26с. Середній питомий тиск на ґрунт при пересуванні: 216 кПа. Тип двигуна: електричний. Потужність двигуна: 800 кВт. Швидкість руху в робочій зоні: 0,7 км/год [21].

*ЕКГ-12* - гусеничний кар'єрний екскаватор, призначений для розробки порід I та II категорії без попереднього розпушування, а також III-V категорій з попереднім розпушуванням. Робоче обладнання

складається з рейкового напірного механізму, двобалкової рукоятті та цільнозварної стріли коробчатого перерізу, що забезпечує ефективну відпрацювання важких скельних вибоїв великокускової або погано підірваної породи.

Підйом ковша реалізується канатним способом безполіспастного типу з автоматичним вирівнюванням зусиль у гілках каната. Ковш виготовлено зварно-литим методом, має двостінчасту задню стінку і самозатягвані зуби з клиновим кріпленням. Дно ковша вольнопадне, що виключає динамічний контакт з рукояттю. У пристрої є стрілопідйомна лебідка, фільтровентиляційні установки для очищення повітря та створення надлишкового тиску повітря в закритому кузові, а також пневматично-колодкові гальма головних механізмів.

Ходовий візок двогусеничний, з малоопорним виконанням гусениць і окремим приводом для кожної. Провідні колеса ("зірочки") піднято від опорних реакцій. Ходовий візок оснащено кабельним барабаном (місткість 250 м) та системою натягу гусениць за допомогою гідроциліндрів. Основні металоконструкції, включаючи нижню та поворотну раму, стійку, виготовлені з низьколегованої сталі, стріла та рукоятка - з високоміцної сталі.

Кабіна машиніста двоповерхова: нижній поверх для слюсарного інвентарю та запчастин, верхній - герметичні побутове та робоче приміщення з тепло-звуковою ізоляцією. Поворотна платформа має протипожежну систему з автоматичною сигналізацією та вуглекислотними вогнегасниками. Головний уальний регульований привід постійного струму за схемою Г-Д (генератор-двигун) з напівпровідниковим збудженням. Управління приводами головних механізмів проводиться через два безконтактні командоконтролери: однокоординатний (для напору-ходу) та двокоординатний (для повороту, підйому-ходу) [22].

Загальні характеристики: Тип екскаватора: одноковшовий, гусеничний, повноповоротний. Призначення: розробка ґрунтів та корисних копалин. Експлуатаційна вага: 655 тонн. Робоче обладнання: пряма лопата. Місткість ковша: 12м<sup>3</sup>, 14м<sup>3</sup>, 16м<sup>3</sup>. Найбільше зусилля на підвісці ковша: 1225 кН. Максимальний радіус копання: 21м. Максимальна висота копання: 15 м. Максимальний радіус при вивантаженні: 18,5 м. Максимальна висота розвантаження: 9,3 м. Тип ходової частини: гусенична. Робочий нахил місцевості: до 120°. Тривалість одного циклу (кут 90°): 26с. Тиск на ґрунт під час руху: 2,85 кгс/см<sup>2</sup>. Середній питомий тиск на ґрунт при пересуванні: 280 кПа. Тип двигуна: електричний. Потужність двигуна: 1250 кВт. Швидкість руху в робочій зоні: 1,1 км/год [22].

*ЕКГ-5ау* - легша модель механічного екскаватора з об'ємом ковша 5 м<sup>3</sup>, яка використовується для робіт у вибраному просторі або при розробці менш міцних порід.

Модель ЕКГ-5ау складається з поворотної частини, що включає механізми на платформі, та ходового візка з гусеничним ходом. Кузов закриває всі механізми, але має знімні панелі для ремонту та монтажу. Більшість вузлів взаємозамінні, що дозволяє застосовувати агрегатно-вузловий метод ремонту.

Робоче обладнання включає ківш, рукоять, механізм відкривання, стрілу та двоногу стійку. Стріла спирається на підп'ятники платформи знизу та підтримується канатним поліспастром зверху. Підйомна лебідка, два поворотні механізми, електрообладнання, пневмосистема та кузов встановлені на поворотній платформі. Машиністська кабіна розташована у передній правій частині. Платформа з'єднується з ходовим візком через роликіве коло та центральну цапфу [23].

Ківш виконаний з високомарганцевистої сталі з наплавкою типу "Сормайт" та п'ятьма знімними зубами. Корпус ковша з'єднується з коромислом та днищем за допомогою пальців. Рукоятка являє собою

дві балки прямокутного перерізу з низьколегованої сталі з привареними рейками. Стріла - зварна конструкція коробчатого перерізу, обладнана напірним механізмом, головними блоками, блоками каната та лебідкою відкривання ковша.

Пневматична система забезпечує керування гальмами, продування обладнання та роботу інструментів стисненим повітрям від компресора. Гідросистема служить для керування гальмами ходового механізму та перемикання гусениць, основні елементи якої знаходяться на задній стінці нижньої рами.

Така конструкція забезпечує зручність обслуговування, ремонтпридатність та ефективність роботи машини за рахунок використання взаємозамінних вузлів, компактного розміщення основних агрегатів та сучасних систем керування.

Загальні характеристики: Тип екскаватора: гусеничний, повноповоротний. Експлуатаційна вага: 211 тонн. Робоче обладнання: пряма лопата. Місткість ковша: 5 м<sup>3</sup>. Найбільше зусилля на підвісці ковша: 500 кН. Максимальний радіус копання: 15,5 м. Максимальна висота копання: 12,9 м. Максимальний радіус при вивантаженні: 13,7 м. Максимальна висота розвантаження: 5,9 м. Тип ходової частини: гусенична. Тривалість одного циклу (кут 90°): 29с. Тиск на ґрунт під час руху: 2,26 кгс/см<sup>2</sup>. Середній питомий тиск на ґрунт при пересуванні: 221 кПа. Тип двигуна: електричний. Потужність двигуна: 250 кВт. Швидкість руху в робочій зоні: 0,55 км/год [24].

2. Гідравлічні екскаватори Hitachi. Потужні машини японського виробництва з об'ємом ковша до 22 м<sup>3</sup>. Гідравлічні екскаватори Hitachi відрізняються високою маневреністю, сучасною системою керування, більшою маневреністю та точністю копання. Вони мають електронні системи контролю і діагностики, що дозволяє оптимізувати їх роботу і знизити витрати на обслуговування.

Hitachi EX-2500 - є гідромеханічною машиною, призначеною для виконання виймально-навантажувальних робіт на кар'єрах. Машина характеризується високою продуктивністю і може працювати з породами різної твердості, включаючи добре взорвану горну масу. Конструкція екскаватора дозволяє виконувати безударне навантаження матеріалу у кузова автосамосвалів або інші транспортні засоби [25].

Всі основні механізми екскаватора закриті корпусом, який має зручний доступ до всіх важливих вузлів для обслуговування. Установлені блоки мають модульну конструкцію, що спрощує ремонт і заміну деталей.

Для управління обладнанням застосовується сучасна автоматизована система, що забезпечує точне керування рухом ковша і рукоятки. Також має місце регулювання швидкості роботи екскаватора через систему насосів і електронного контролю. Кабіна машиніста є двоповерховою: нижній поверх призначений для зберігання слюсарного інструменту і запчастин, верхній – для роботи машиніста. Верхній поверх складається з двох приміщень: побутового та робочого, які є герметичними і мають тепло-звукову ізоляцію для комфорту персоналу.

Характеризується стабільною роботою завдяки своєму пневматичному системному управлінню гальмами головних механізмів. Робота екскаватора можлива у широкому діапазоні температур, що робить його універсальним для різних кліматичних умов. Обладнання має високий показник часу циклу навантаження, що дозволяє зменшити тривалість роботи у комплексі з автосамосвалами.

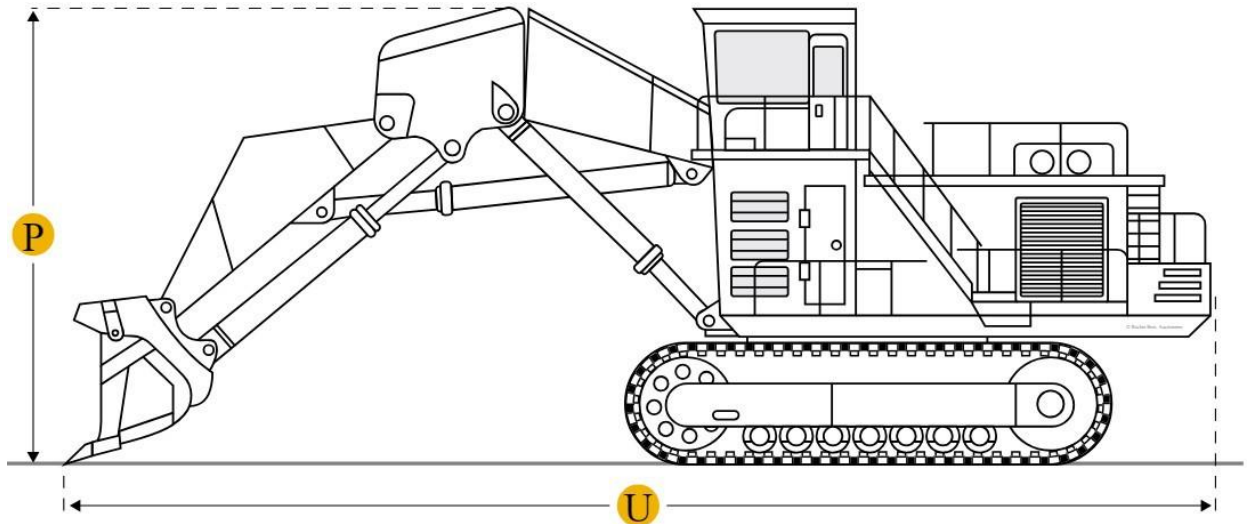


Рисунок 2.4 - Схема екскаватора Hitachi EX-2500, Hitachi EX-3600 [25]

Загальні характеристики: Тип екскаватора: гусеничний, гідравлічний, повноповоротний. Експлуатаційна вага: 242 тонн. Місткість ковша: 15 м<sup>3</sup>. Найбільше зусилля на підвісці ковша: 825 кН. Максимальна висота копання: 16,2 м. Максимальна глибина копання: 8,6 м. Максимальний радіус при вивантаженні: 13,7 м. Максимальна висота розвантаження: 10,36 м. Тип ходової частини: гусенична. Тривалість одного циклу: 28-30с (кут 10°); 30-40с(кут 20-30°); 50-60с (кут 90°). [26]. Середній питомий тиск на ґрунт при пересуванні: 172 кПа. Тип двигуна: дизельний або електричний (залежить від комплектації). Потужність двигуна: 971 кВт. Швидкість руху в робочій зоні: 2,3 км/год [25].

*Hitachi EX-3600* - гідромеханічна машина прямого і оберненого копання, призначеним для виконання виймально-навантажувальних робіт на великих кар'єрах. Обладнання має значну вагову та розмірну масштабність, що дозволяє йому працювати з важкою скельною породою і гірничою масою. Екскаватор універсальним для багатьох

типів робіт, включаючи вскриття пород і видобування корисних копалин.

Структура машини забезпечує оптимальну роботу за допомогою гідронапорного механізму, який сприяє точному керуванню рухом рукояті та ковша. Характеристики роблять його ефективним для використання в складних гірничо-геологічних умовах. Установлені блоки мають модульну конструкцію, що спрощує процес ремонту і заміни деталей. Кабіна машиніста є двоповерховою: нижній поверх призначений для зберігання слюсарного інструменту і запчастин, верхній – для управління технікою. Останній поверх складається з двох приміщень – побутового та робочого, які є герметичними і мають тепло-звукову ізоляцію для збереження комфорту оператора під час тривалої роботи [27].

За даними аналітичних досліджень, продуктивність EX-3600 значно вища за аналоги меншої потужності, оскільки модель забезпечує більший показник годової експлуатаційної продуктивності при схожих умовах роботи. Має високий показник ремонтпригодності, що зменшує простой та затрати на обслуговування.

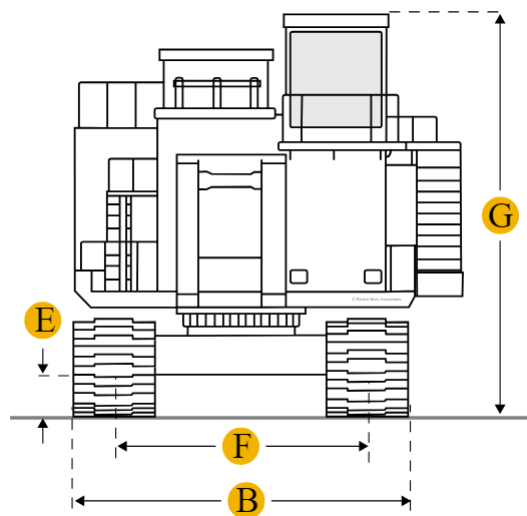


Рисунок 2.5 - Схема, торцева, екскаватора Hitachi EX-2500, Hitachi EX-3600 [25]

Загальні характеристики: Машина характеризується низьким кутом повороту (від 20° до 30°) для максимально швидкого завантаження автосамосвалів, що знаходяться нижче по рівню стояння екскаватора. Тип екскаватора: гусеничний, гідравлічний, повноповоротний. Експлуатаційна вага: 369 тонн. Місткість ковша: 22 м<sup>3</sup>; 24 м<sup>3</sup>. Найбільше зусилля на підвісці ковша: 1050 кН. Максимальний радіус копання: 18,2 м. Максимальна висота копання: 17,7 м. Максимальна глибина копання: 8,6 м. Максимальна висота розвантаження: 11,5 м. Тип ходової частини: гусенична. Тривалість одного циклу: 28-30с (кут 10°); 30-40с(кут 20-30°); 50-60с (кут 90°). Середній питомий тиск на ґрунт при пересуванні: 193 кПа. Тип двигуна: дизельний або електричний (залежить від комплектації). Потужність двигуна: 1450 кВт. Швидкість руху в робочій зоні: 2,2 км/год [27].

3. Фронтальний навантажувач CAT-993K - високопродуктивний колісний екскаватор, розроблений для виконання завдань з видобутку та навантаження руди, а також інших сипучих матеріалів. Машина оснащена потужним багаточиліндровим двигуном внутрішнього згоряння, що забезпечує оптимальне співвідношення продуктивності та енергоефективності. Конструкція екскаватора характеризується застосуванням удосконалених технологій, спрямованих на збільшення експлуатаційного ресурсу та зниження витрат на обслуговування.

Основні елементи конструкції Caterpillar 993K виготовлені з міцних матеріалів, що дозволяє машині ефективно функціонувати в умовах значних механічних навантажень. Робоче обладнання спроектовано для обробки великих обсягів матеріалу за одиницю часу, що робить екскаватор незамінним інструментом у великомасштабних гірничодобувних операціях. Кабіна оператора обладнана сучасними

системами керування та ергономічним дизайном, що забезпечують високий рівень комфорту при тривалій експлуатації.

Вбудовані системи моніторингу технічного стану дають змогу здійснювати постійний контроль основних параметрів роботи машини, що сприяє своєчасному виявленню потенційних несправностей та продовженню терміну служби обладнання. Caterpillar 993K демонструє високу надійність та ефективність, що підтверджує його роль передового рішення у сфері відкритих гірничих робіт [28].

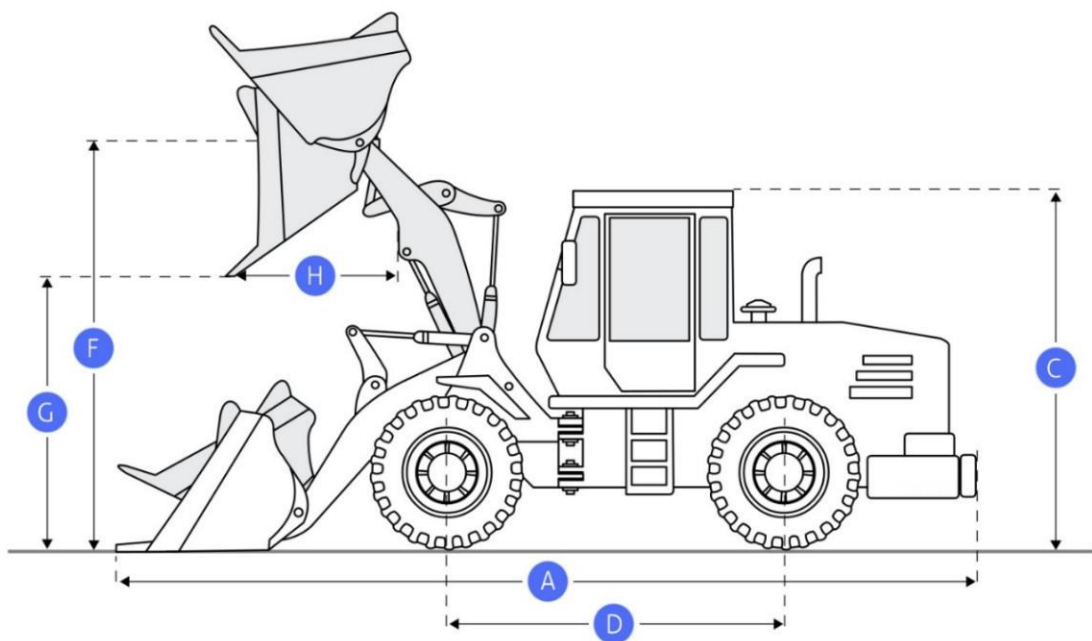


Рисунок 2.6 - Схема навантажувача Caterpillar 993K [28]

Загальні характеристики: Тип екскаватора: колісний, одноковшовий, гідравлічний. Експлуатаційна вага: 133,7 тонн. Місткість ковша: 12,2-23,7 м<sup>3</sup>. Максимальна глибина копання: 199 мм. Максимальна висота розвантаження: 5,4 м. Тип ходової частини: колісний. Тривалість одного циклу: 17,2 с. Тип двигуна: дизельний або електричний (залежить від комплектації). Потужність двигуна: 775 кВт (1039 л.с.). Швидкість: 22,8 км/год (передня); 25,2 км/год (задня) [28].

### **2.3. Аналіз поточних показників ефективності роботи ПРАТ «Інгулецький ГЗК»**

*Характеристика парку виймально-навантажувального обладнання.* Основним парком виймально-навантажувального обладнання на Інгулецькому ГЗК є екскаватори механічної та гідравлічної дії, а також фронтальні навантажувачі. До складу парку входять моделі екскаваторів ЕКГ з об'ємом ковша від 8 до 12 м<sup>3</sup>, вироблені Іжорським заводом (ЗАТ ІРО Трейдінг), гідравлічні екскаватори Hitachi EX-2500 та EX-3600, а також фронтальний навантажувач CAT-993K. Екскаватори серії ЕКГ характеризуються високою надійністю та довговічністю, проте потребують регулярного технічного обслуговування. Гідравлічні екскаватори Hitachi відрізняються більшою маневреністю, точністю копання та меншими експлуатаційними витратами порівняно з механічними аналогами. Фронтальний навантажувач CAT-993K використовується для завантаження руди та породи в автосамоскиди, володіючи високою вантажопідйомністю та продуктивністю завдяки потужній гідравлічній системі [16].

*Продуктивність обладнання.* Продуктивність виймально-навантажувального обладнання є ключовим показником ефективності роботи кар'єру. Очікуване виконання основних показників роботи ПРАТ «Інгулецький ГЗК» за 2023 рік та проект плану на 2024 рік демонструє такі тенденції:

- У 2023 році очікується видобуток руди обсягом 7 097,9 тис. т.
- на 2024 рік заплановано збільшення видобутку до 29 270,0 тис. т.
- Це значне збільшення пояснюється розширенням площі розробки та запровадженням нових горизонтів (+48, +36, +24 м).

Таблиця 2.4 - Кількість задіяного виймально-навантажувального обладнання ПРАТ «Інгулецький ГЗК»

Руда	Розкриття (авто)	Розкриття (з/д)	Перевант	Відвал	Відвал	Дамба	Екскарвація всього	Руда	У	Придбанн я
Кількість екскаваторів, всього, од	8	8	3	5	-	9	-	33	33	2
- НІТАСНІ ЕХ-3600, од	-	1	-	-	-	-	-	1	1	-
- НІТАСНІ ЕХ-2500, од	-	1	-	-	-	-	-	1	1	-
-ЕКГ -12, од	1	6	2	1	-	-	-	10	10	2
-ЕКГ -10 (8i), од	7	-	1	4	-	9	-	21	21	-
- ЕКГ -5ау, од	н/д	н/д	н/д	н/д	н/д	н/д	н/д	н/д	н/д	н/д

Джерело: [16]

Обсяг розкривних робіт у 2023 році становить 5 238,4 тис. м<sup>3</sup>, а на 2024 рік заплановано збільшення до 21 611,2 тис. м<sup>3</sup>. Середній коефіцієнт розтину залишається стабільним лише на рівні 0,738 м<sup>3</sup>/т.

*Коефіцієнти використання обладнання*, показник, який відображає частку часу, протягом якого техніка знаходиться в робочому стані.

- У 2023 році коефіцієнт технічної готовності становив 79,7%, що нижче порівняно з попередніми періодами (88,6% у 2022 році).

- Зниження коефіцієнта пов'язане зі збільшенням термінів експлуатації окремих одиниць техніки, зокрема екскаваторів ЕКГ-5 та ЕКГ-8і, які потребують капітальних ремонтів чи заміни.

Середньодобова продуктивність обладнання зросла з 14,78 години у 2022 році до 16,20 години у 2023 році, що свідчить про інтенсифікацію використання наявного парку техніки.

Таблиця 2.5 - Порівняння, наявного, парку виймально-навантажувального обладнання ПрАТ «Інгулецький ГЗК»

№п/п	Найменування	Од. виміру	ЕКГ - 5ау, EL	ЕКГ-8і EL	ЕКГ-10 EL	ЕКГ-12 EL	HITACHI EX-2500, EL/DIZ	HITACHI EX-3600 EL/DIZ
1	Місткість ковша	м <sup>3</sup>	5	8	10	12	10,5	15,5
2	Маса екскаватора	т	211	337	395	410	249	361
3	Потужність двигуна	кВт	400 кВт	630 кВт	800 кВт	1120 кВт	1400 кВт	400 кВт
4	Продуктивність	м <sup>3</sup> /год	до 1000	до 1000	до 1000	до 1500	до 2500	до 1000
5	Швидкість пересування	км/год	0,6	0,7	0,7	0,8	2,3	2,3
6	Швидкість повороту	об/хв	3	3,1	3,0	3,0	3,2	3,2
7	Максимальний радіус копання	м	14,5	16	18,4	18,6	14	14
8	Максимальна висота копання	м	10	12	13,5	15	15	15
9	Час циклу	с	29	28	26	26	50	60
10	Кількість ковшів в а/с (130 т)	шт.	10	9	8	7	8	5
11	Час завантаження а/с	хв	5,8	5,5	5,3	4,4	6,7	7,2
12	Вартість	\$ тис.	2000	2500	3175	3984	4500	5714
13	Умови поставки	-	DDU	DDU	DDU	DDU	DDU	DDU
14	Страховання	%	-	-	-	-	-	-
15	Монтаж	\$ тис.	110	120	130	145	Входить у вартість	Входить у вартість
16	Гарантійний термін	міс.	24	24	24	24	12	12
17	Годинна продуктивність	м <sup>3</sup>	250	270	284	321	378	476
18	Коефіцієнт використання обладнання (KIO)	%	71	71	71	71	80	80
19	Річна продуктивність	тис. м <sup>3</sup>	879	1407	1759	1986	2648	3330
20	Термін служби	років	20	20	20	20	11	11
21	Продуктивність за весь період	тис. м <sup>3</sup>	17075	27316	35175	39719	29139	36626
22	Коефіцієнт дисконтування	-	0,28	0,28	0,28	0,28	0,44	0,44
23	Дисконтований обсяг гірничої маси	тис. м <sup>3</sup>	8700	9400	9891	11168,25	12821	16016
24	Початкові інвестиції	\$ тис.	2110	2620	3305	4748	4500	4792
25	Дисконтовані експлуатаційні затрати	\$ тис.	8000	9000	10029	11477	12499	15624
26	Загальні затрати за весь період	\$ млн	10110	11620	13333	16225	16999	20415
27	Питома вартість	\$/м <sup>3</sup>	1,16	1,24	1,35	1,45	1,33	1,27

Створено автором на основі: [16]

В таблиці 2.6 наведена продуктивність обладнання за типами робіт. Загальний обсяг екскавації становить 52 301,6 тис. м<sup>3</sup>/рік, з яких найбільший внесок припадає на розкриття автошляхами (16 425,2 тис. м<sup>3</sup>). Hitachi EX-3600 та EX-2500 ефективно застосовуються для розкривних робіт, тоді як ЕКГ-8і та ЕКГ-12 універсальні, працюючи на руді, розкритті та перевантаженні. Аналіз підтверджує раціональний розподіл техніки за забоями, але для підвищення ефективності доцільно модернізувати парк, зокрема замінити застарілі моделі на сучасні з вищим КІО та нижчою питомою вартістю.

Таблиця 2.6 - Продуктивність задіяного виймально-навантажувального обладнання ПРАТ «Інгулецький ГЗК»

Найменування	Руда	Розкриття (авто)	Розкриття (з/д)	Перевантаження	Відвал №1	Відвал №2	Дамба	Екскавация всього
- HITACHI EX-3600, тис.м <sup>3</sup> /рік	-	173,1	-	-	-	-	-	-
- HITACHI EX-2500, тис.м <sup>3</sup> /рік	-	152,4	-	-	-	-	-	-
-ЕКГ -12К, тис.м <sup>3</sup> /рік	107,3	173,1	173,3	126,9	-	-	-	-
- ЕКГ -8і (10), тис.м <sup>3</sup> /рік	85,2		126,4	119	-	121,7	-	-
- ЕКГ -5ау, тис.м <sup>3</sup> /рік	н/д	н/д	н/д	н/д	н/д	н/д	н/д	н/д
Загальна продуктивність одного екскаватора, тис.м <sup>3</sup> /рік	1 076,1	2 053,2	1 728,9	1 505,6	-	1 422,0	-	-
	89,7	171,1	144,1	125,5	-	118,5	-	-
Обсяг робіт, тис.м <sup>3</sup> /рік	8 608,8	16 425,2	5 186,6	9 033,7	7 391,5	14 220,3	1 173,0	52 301,6

Джерело: [16]

Продуктивність окремих моделей екскаваторів також показує позитивну динаміку. Екскаватори серії ЕКГ показують стабільну продуктивність розробки скельних порід, з обсягами навантаження, що коливаються не більше очікуваних нормативів. Гідравлічні екскаватори Hitachi EX-2500 та EX-3600 демонструють більш високу продуктивність завдяки великому об'єму ковша та оптимізації роботи через електронні системи.

*Витрати на одиницю видобутку*, важливий економічний показник, який впливає загальну ефективність роботи підприємства.

Витрати палива автосамоскидами вантажопідйомністю 120-220 тонн зросли з 86,9 г/ткм у 2022 році до 95,8 г/ткм у 2023 році.

- Це може бути пов'язане із збільшенням середньої дальності транспортування та зниженням коефіцієнта використання пробігу.

Рекультивация та раціональне використання ресурсів. Особлива увага приділяється використанню шлаків як будівельного матеріалу для формування намівної частини греблі хвостосховища. Фронтальні навантажувачі САТ-993К активно задіяні в цьому процесі, що дозволяє не лише оптимізувати витрати, а й зменшити негативний вплив на довкілля.

*Порівняльний аналіз показників* роботи обладнання за 2022 та 2023 роки дозволяє виділити кілька ключових тенденцій. По-перше, спостерігається значне збільшення обсягів видобутку руди та розкривних робіт, що пов'язано з розширенням площі розробки та запровадженням нових горизонтів. По-друге, зниження коефіцієнта технічної готовності обладнання вказує на необхідність модернізації парку техніки та проведення капітальних ремонтів. По-третє, зростання витрат на одиницю видобутку наголошує на важливості оптимізації логістичних процесів та підвищення ефективності використання паливних ресурсів.

При порівнянні продуктивності окремих моделей обладнання можна відзначити, що гідравлічні екскаватори Hitachi демонструють більшу продуктивність порівняно з механічними екскаваторами ЕКГ. Це більшими обсягами ковша і наявністю сучасних електронних систем управління. Однак механічні екскаватори залишаються незамінними при роботі зі складними скельними породами, де їхня надійність і довговічність відіграють ключову роль.

*Стан технологічних автомобільних доріг*, також впливає на загальну ефективність роботи кар'єру.

- Станом на 1 січня 2023 року довжина доріг з невідповідною шириною проїжджої частини становила 350 м, що становить 1,49% від загальної протяжності доріг.

– на 1 січня 2024 року цей показник збільшився до 350 м, або 1,70%.

Невідповідність ширини проїжджої частини проектним нормам може призвести до зниження швидкості руху автотранспорту та збільшення часу циклу перевезення вантажів. Це, своєю чергою, негативно позначається загальної продуктивності кар'єру.

*Стан бортів та уступів кар'єру* є фактором, що впливає на безпеку та ефективність

- На 1 січня 2023 року загальна довжина діючого фронту робіт з руди становила 3120 м, з яких 1911 м припадало на роботи з невідповідними мінімальною шириною робочими майданчиками.

– На 1 січня 2024 року ці показники залишаться практично незмінними.

Наявність уступів з невідповідною шириною робочих майданчиків може призвести до зниження безпеки роботи обладнання та збільшення ризику аварійних ситуацій. Для усунення цих проблем необхідно проводити регулярні роботи із зачистки та зміцнення бортів кар'єру [16].

*Моніторинг стану підземних та поверхневих вод* є важливою частиною екологічної безпеки кар'єру. За даними документа, коливання рівнів підземних вод залежать від водоносних горизонтів і становлять:

- Водоносний обрій у відкладах четвертинної системи: коливання рівня води становлять від 0,5 до 2,0 м.
- Водоносний обрій у відкладах палеогену: коливання рівня води становлять від 1,0 до 3,0 м.

Регулярний моніторинг стану вод дозволяє прогнозувати можливі ризики підтоплення прилеглих територій та вживати своєчасних заходів для їх запобігання.

*Використання земель* на території ПРАТ «Інгулецький ГЗК», у 2023 році проводилися доглядові (доглядаючі) роботи щодо утримання площ, на яких раніше були виконані роботи з рекультивації. У 2024 році виконання гірничотехнічної та біологічної рекультивації не планується через відсутність відпрацьованих земель [16].

Виймально-навантажувальне обладнання ПРАТ «Інгулецький ГЗК» є основою видобутку, але його ефективність залежить від транспортної системи. Екскаватори (Hitachi EX-3600, ЕКГ-12) формують потік руди та розкриву, який доставляється автосамоскидами (БелАЗ-75131, САТ-785С) або залізничним транспортом до переробки чи відвалів. Прості транспорту знижують КІО (80% для Hitachi EX-3600) і продуктивність кар'єру. Для оптимізації потрібна узгодженість місткості ковша, вантажопідйомності транспорту та ширини площадок. Моніторинг стану транспорту допомагає виявляти «вузькі місця», оптимізувати маршрути та підтримувати ритмічність видобутку.

Таблиця 2.7 - Кількість автосамоскидів, станом на 01.01.2024 рік

№	Марка, тип автосамоскида	Вантажопідйомність, тонн	Кількість, одиниць
1	БелАЗ-7540	30	3
2	БелАЗ-7547	45	2
3	БелАЗ-75131	130	39
4	САТ-785С	136	12
5	БелАЗ-75306	220	2

Джерело: [16]

Станом на 01.01.2024 автопарк включає 58 самоскидів, переважно БелАЗ-75131 (130 т, 39 одиниць) і САТ-785С (136 т, 12 одиниць). Менш чисельні моделі (БелАЗ-7540, 7547, 75306) використовуються для специфічних завдань. Зменшення парку порівняно з попередніми роками вимагає оптимізації маршрутів або оновлення техніки.

Таблиця 2.8 - Показники роботи технологічного автотранспорту по ПрАТ "ІНГЗК" за 2023 рік

№ п/п	Показники	2022 р. (факт)	2023р. (очік.)	2022 р. до 2023 р.	
				`+,` -	%
1	Середньосписочна чисельність автомобілів всього, шт.	61,42	56,16	-5,26	91,4
	в т.ч. а/с вантажопід. 120-220 т	56,42	51	-5,42	90,4
2	Обсяг перевезень, млн.тонн	20,3	18,2	-2,1	89,7
3	Середня відстань транспортування, км	3,500	2,608	-0,892	74,5
4	Вантажообіг, тис.ткм	71,0	47,4	-23,6	66,8
5	Середня тривалість роботи, час	14,78	16,20	1,42	109,6
6	Коефіцієнти: технічної готовності	0,886	0,797	-0,09	90,0
	використання парку	0,563	0,582	0,02	103,4
	використання пробігу	0,473	0,46	-0,01	97,8
	використання вантажопідйомності	1,031	1,031	0,00	100,0
7	Відпрацьовано машинозмін, всього	7 938	7 132	-806	89,8
	в т.ч. а/с вантажопід. 120-220 т	7 616	6 257	-1 359	82,2
8	Виробка на 1 машинозмину всього, тонн	2 555	2 549	-5	99,8
	в т.ч. а/с вантажопід. 120-220 т	2 648	2 871	223	108,4
9	Виробка на 1 середньосписочний автомобіль всього, тонн	330 162	323 755	-6 407	98,1
	в т.ч. а/с вантажопід. 120-220 т	357 447	352 230	-5 217	98,5
10	Виробка на 1 середньосписочний автомобіль всього, ткм	1 155 679	844 338	-311 341	73,1
	в т.ч. а/с вантажопід. 120-220 т	1 250 086	918 961	-331 124	73,5

11	Витрати палива автосамоскидами вантажопідйомністю 120-220 т, г/ ткм	86,9	95,8	8,90	110,2
----	---	------	------	------	-------

Джерело: [16]

Аналіз за 2023 рік показує скорочення перевезень з 20,3 до 18,2 млн тонн (-10,3%) та вантажообігу на 33,2% через зменшення середньої відстані транспортування (з 3,5 до 2,608 км). Проте коефіцієнт використання парку зріс до 0,582 (+3,4%), а продуктивність самоскидів 120-220 т збільшилася на 8,4%. Зниження чисельності парку (-8,6%) та технічної готовності (-10%) і зростання витрат палива (+10,2%) вказують на потребу в модернізації.

Таблиця 2.9 - Розрахунок потреби в технологічних самоскидах на 2024 рік

№ п/п	Показники	Од. виміру	2021 р. (факт)	2022 р. (очік)	2023 р. (план)	2023 р. до 2022 р.	
						"+ -"	%
1.	Обсяг перевезень	тис.т	20 278,6	18 182,1	13 861,9	-4 320,2	76,2
2.	Середня відстань транспортування	км	3,500	2,608	2,736	0,128	104,9
3.	Вантажообіг	тис.ткм	70 981,8	47 418,0	37 928,4	-9 489,6	80,0
4.	Річна продуктивність на 1 середньосписочну автотонну (середня)	ткм	8 745	6 406	5 734	-672	89,5
5.	Середньосписочна потреба в а/с для використання річної програми, всього	шт.	61,42	56,16	50,42	-6	89,8
	у т.ч. вантажопідйомністю -30 т		3,00	3,00	2,67	0	89,0
	-38 т						
	-45т		2,00	2,00	1,67	0	83,5
	-130т (136т)		42,42	37,16	32,83	-4	88,3
	-136т (142т)		12,00	12,00	12,00	0	100,0
	220т (232т)		2,00	2,00	1,25	-1	62,5

Джерело: [16]

Для 2024 року планується перевезення 13 861,9 тис. т (-23,8% порівняно з 2022), зі зниженням вантажообігу на 20%. Потреба в самоскидах скоротилася до 50,42 одиниць, що вимагає підвищення технічної готовності та оновлення парку для стабільної логістики.

Залізничний транспорт доповнює автотранспорт, перевозячи руду, розкрив і концентрат до станції «Інгулець-Новий». Протяжність колій — 190,7 км (130,6 км електрифікованих), що знижує витрати порівняно з автосамоскидами. Електровози ОПЕ-1АМ і вагони-самоскиди забезпечують перевезення великих обсягів.

Таблиця 1.8 - Локомотивно-вагонний парк, станом на 01.10.2023 рік

Тип, марка з/д транспорту	Кількість
Локомотиви:	
Тепловози ТЭ10	8 од.
ТЭМ2	5 од.
Тягові агрегати ОПЭ1АМ	22 од.
Вагони:	
- цистерни	1 од.;
- платформи	28 од.;
- хопер-дозатори	12 од.;
- вагони-самоскиди	217 од.

Джерело: [16]

Локомотивний парк включає 8 тепловозів ТЭ10, 5 ТЭМ2, 22 ОПЕ-1АМ і 217 вагонів-самоскидів. Залізничний транспорт стабільніший за автотранспорт, але потребує модернізації для підвищення пропускної здатності.



Рисунок 2.7 - Схема подання руди та вивезення розкривних порід

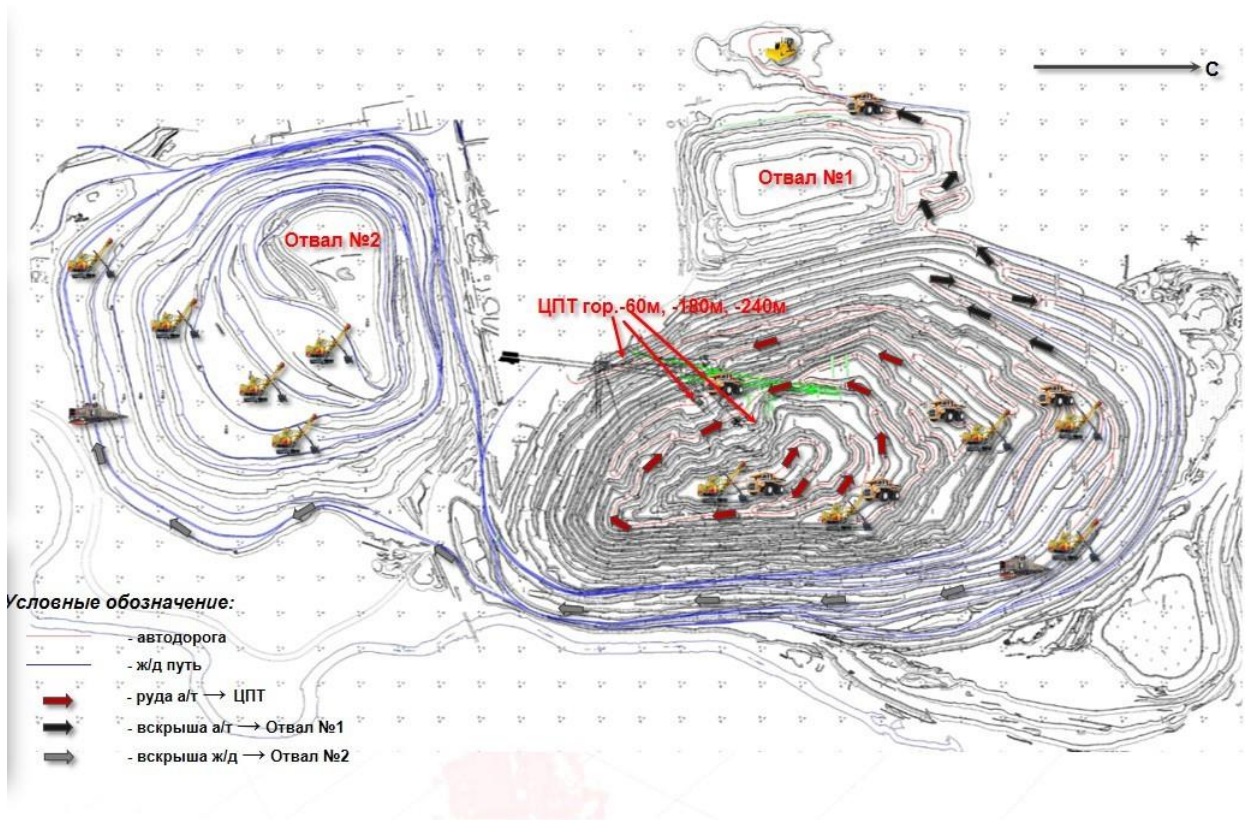


Рисунок 2.8 - Схема вантажних потоків на ПрАТ "ІнГЗК"

Поточні показники ефективності роботи виймально-навантажувального обладнання ПРАТ «Інгулецький ГЗК» демонструють позитивну динаміку щодо обсягів видобутку руди та розкривних робіт. Однак існують проблеми, пов'язані зі зниженням коефіцієнта технічної готовності обладнання та збільшенням витрат на одиницю видобутку. Для підвищення загальної ефективності роботи кар'єру необхідно продовжити модернізацію парку техніки, оптимізувати логістичні процеси та впроваджувати інноваційні технології.

## **РОЗДІЛ 3. Розробка моделі оптимізації роботи виймально-навантажувального обладнання ПРАТ "Інгулецький ГЗК"**

### **3.1. Моделювання виймально-навантажувальних робіт при різних кутах завантаження**

Підвищення ефективності роботи виймально-навантажувального обладнання на кар'єрі ПРАТ "Інгулецький ГЗК" є ключовою задачею для забезпечення планового зростання обсягів видобутку руди та розкривних робіт з фактичних обсягів до планових. Розроблена модель оптимізації спрямована на підвищення продуктивності екскаваторів шляхом зменшення часу робочого циклу, узгодження параметрів обладнання з транспортними засобами (автосамоскидами) та врахування геологічно-гірничих умов кар'єру, описаних у Розділі 2.1. Модель базується на аналізі поточних показників роботи обладнання та впровадженні сучасних технологічних рішень, таких як нижнє завантаження та автоматизовані системи управління.

Для розробки моделі використано дані про парк виймально-навантажувального обладнання (Таблиця 2.4) та його продуктивність. У кар'єрі ПРАТ "Інгулецький ГЗК" застосовуються екскаватори ЕКГ-5ау, ЕКГ-8і, ЕКГ-10, ЕКГ-12, Hitachi EX-2500, Hitachi EX-3600, які задіяні в розробці руди та розкривних порід. Основними напрямками оптимізації роботи парку виймально-навантажувального є:

1. *Параметри виймально-навантажувальних робіт при різних кутах завантаження:* Зменшення кута повороту екскаватора до 10-30° замість стандартних 90°, що скорочує тривалість циклу навантаження. Дослідження показали, що нижнє завантаження може підвищити продуктивність екскаваторів на 15-20%.

2. *Узгодження параметрів обладнання та транспорту:* Оптимізація співвідношення об'єму ковша екскаватора до місткості

кузова автосамоскида для мінімізації простоїв і підвищення ефективності завантаження.

3. *Автоматизація процесів*: Впровадження автоматизованої системи управління (аналог WENCO), дозволить оптимізувати технічну готовність підприємства на 20-30% за рахунок кращої координації між екскаваторами та транспортом [11] .

Модель включає математичні розрахунки продуктивності для всіх екскаваторів ЕКГ-5ау, ЕКГ-8і, ЕКГ-10, ЕКГ-12, Hitachi EX-2500, Hitachi EX-3600 - з урахуванням поточних і оптимізованих умов роботи. Розрахунки базуються на формулах із Розділу 1 та даних із Розділу 2.

Щоб визначити тривалість циклу навантаження екскаватора при куті повороту 30 градусів, потрібно врахувати компоненти циклу та скористатися наявними даними або емпіричними залежностями. Можемо спиратися на інформацію з наукової праці "Дослідження ефективності використання виймально-навантажувального обладнання в умовах ТОВ «Єривський ГЗК», де наведено залежність тривалості циклу від кута повороту для драглайнів ЕШ-14/50 та ЕШ-11/70, а також загальні принципи розрахунку часу циклу для виймально-навантажувального обладнання.

Підхід до визначення тривалості циклу при куті 30°:

Компоненти циклу навантаження. З праці "Дослідження ефективності використання виймально-навантажувального обладнання в умовах ТОВ «Єривський ГЗК»" відомо, що тривалість циклу навантаження екскаватора складається з таких компонентів:

- Час наповнення ковша - 41% від загального часу циклу.
- Час повороту порожнього ковша до забою - 25%.
- Час повороту повного ковша до точки розвантаження - 24%.
- Час розвантаження - 10%.

Загальний час циклу  $T_{\text{ц}}$  є сумою цих компонентів:

$$T_{\text{ц}} = t_{\text{наповнення}} + t_{\text{повороту порожнього}} + t_{\text{повороту повного}} + t_{\text{розвантаження}} \quad (3.1)$$

Кут повороту впливає переважно на  $t_{\text{повороту порожнього}}$  і  $t_{\text{повороту повного}}$ , тобто приблизно 49% часу циклу залежить від кута повороту.

В дослідженні наведено тривалість циклу для драглайнів при різних кутах повороту:

- Для ЕШ-14/50 при куті 30°: ТЦ = 37.9 с.

- Для ЕШ-11/70 при куті 30°: ТЦ = 37.7 с.

Ці значення враховують специфіку драглайнів (довга стріла, ківш на тросах), але для механічних (ЕКГ) або гідравлічних (Hitachi) екскаваторів час циклу може бути меншим через швидший рух робочих органів.

Також зазначено, що при куті повороту 20-30° і нижньому завантаженні час циклу може становити 18-23 секунди для екскаваторів загального типу. Це базується на досвіді та хронометражі.

Аналітичний метод для визначення Тц при 30°. Якщо відомий час циклу при базовому куті (90°), можна скоригувати його залежно від зміни кута повороту. В дослідженні наявна інформація, згідно якої, видно, що: при куті 90° для ЕШ-14/50: Т=Ц = 57.6 с, При куті 30°: Т = 37.9 с. Зменшення кута з 90° до 30° (на 60°) скорочує час циклу на  $57.6 - 37.9 = 19.7$  с, тобто приблизно на 34%.

Отже, час повороту пропорційний куту, можна припустити лінійну залежність для корекції:

$$\Delta T_{\text{повороту}} = T_{\text{Ц базовий}} * \frac{\text{Частка повороту}}{\text{Базовий кут}} * (\text{Базовий кут} - \text{Новий кут}), \quad (3.2)$$

Де, Частка повороту - 49% (25%+24%).

Для екскаватора з базовим часом циклу Hitachi EX-3600:

ТЦ = 60с при 90°.

Час повороту:  $60 * 0.49 = 29,4$ с.

Зменшення кута:  $= 29,4 * (60/90) \approx 19,6$ с.

Новий час циклу: ТЦ = 60 - 19,6 = 40,4с  $\approx$  40с.

Згідно розрахунку, новий час циклу Hitachi EX-3600 узгоджуються з емпіричними даними часу циклу виробника (30-40с) при 20°-30°. Відхилення не перевищує допустиму норму.

Таблиця 3.1 - Розрахунок часу циклу при 30° виймально-наватажувального парку ПРАТ «ІнГЗК»

Параметр	НІТАСНІ EX-3600	НІТАСНІ EX-2500	ЕКГ - 12	ЕКГ - 10	ЕКГ - 8i	ЕКГ - 5ay
Т <sub>ц</sub> , с	60	50	26	26	28	29
Час повороту, с (Т <sub>ц</sub> *Частка повороту)	29,4	24,5	12,74	12,74	13,72	14,21
Зменшення кута, с (Час повороту*(60°/90°))	19,6	16,33	8,49	8,49	9,15	9,47
Новий час циклу, с (Т <sub>ц</sub> - Зменшення кута)	40,4	33,67	17,51	17,51	18,85	19,53

Розраховано автором за джерелами: [18, 21, 22, 24, 25, 26, 28]

Теоретична продуктивність, розраховується за формулою:

$$W_{теор} = \frac{3600 * q}{T_{ц}}, \quad (3.3)$$

Де, q - об'єм ковша, м<sup>3</sup>; ТЦ -тривалість циклу, с.

Hitachi EX-3600 (поточні умови): q = 22 м<sup>3</sup>, Т<sub>ц</sub> = 60 с (кут 90°).

$W_{теор} = (3600 * 22)/60 = 1320$  м<sup>3</sup>/год.

Hitachi EX-3600 (з нижнім завантаженням):Т<sub>ц</sub> = 40,4 с (кут 30°).

$W_{теор} = (3600 * 22)/40,4 = 1960,4$  м<sup>3</sup>/год.

Таблиця 3.2 - Розрахунок теоретичної продуктивності виймально-наватажувального обладнання ПРАТ «ІнГЗК»

Параметр	НІТАСНІ EX-3600	НІТАСНІ EX-2500	ЕКГ -12	ЕКГ -10	ЕКГ -8i	ЕКГ -5ay
q, м <sup>3</sup>	22	15	12	10	8	5
Т <sub>ц</sub> , с	60	50	26	26	28	29
Т <sub>ц</sub> 30°, с	40,4	33,67	17,51	17,51	18,85	19,53
W <sub>теор</sub> , м <sup>3</sup> /год	1320,00	1080,00	1661,54	1384,62	1028,57	620,69
W <sub>теор</sub> 30°, м <sup>3</sup> /год	1960,40	1603,96	2467,63	2056,36	1527,58	921,82

Розраховано автором за джерелами: [18, 21, 22, 24, 25, 26, 28]

Технічна продуктивність, розраховується за формулою:

$$W_{\text{тех}} = \frac{3600 * q * K_H}{T_{\text{Ц}} * K_P}, \quad (3.4)$$

Де,  $q$  - об'єм ковша,  $\text{м}^3$ ;  $T_{\text{Ц}}$  - тривалість циклу, с;  $K_H$  - коефіцієнт наповнення ковша для скельних порід ( $K_H = 0,85$ );  $K_P$  - коефіцієнт розпушення ( $K_P = 1,15$ ).

Hitachi EX-3600 (поточні умови):

$$W_{\text{тех}} = (3600 * 22 * 0,85) / (60 * 1,15) \approx 975,65 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Hitachi EX-3600 (з нижнім завантаженням):

$$W_{\text{тех}} = (3600 * 22 * 0,85) / (40,4 * 1,15) \approx 1448,99 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Таблиця 3.3 - Розрахунок технічної продуктивності виймально-наватажувального парку ПРАТ «ІнГЗК»

Параметр	НІТАСНІ EX-3600	НІТАСНІ EX-2500	ЕКГ -12	ЕКГ -10	ЕКГ -8i	ЕКГ -5ay
$q, \text{ м}^3$	22	15	12	10	8	5
$T_{\text{Ц}}, \text{ с}$	60	50	26	26	28	29
$T_{\text{Ц}} 30^\circ, \text{ с}$	40,4	33,67	17,51	17,51	18,85	19,53
$W_{\text{тех}}, \text{ м}^3/\text{год}$	975,65	798,26	1228,09	1023,41	760,25	458,77
$W_{\text{тех}} 30^\circ, \text{ м}^3/\text{год}$	1448,99	1185,54	1823,90	1519,92	1129,08	681,34

Розраховано автором за джерелами: [18, 21, 22, 24, 25, 26, 28]

Експлуатаційна продуктивність, розраховується за формулою:

$$W_{\text{експ}} = \frac{3600 * q * K_H * K_{\text{Ц}} * T}{T_{\text{Ц}} * K_P}, \quad (3.5)$$

Де,  $q$  - об'єм ковша,  $\text{м}^3$ ;  $T_{\text{Ц}}$  - тривалість циклу, с;  $K_H$  - коефіцієнт наповнення ковша для скельних порід ( $K_H = 0,85$ );  $K_P$  - коефіцієнт

розпушення ( $K_P = 1,15$ );  $K_{Ц}$  - коефіцієнт використання часу за 2023 рік ( $K_{Ц} = 0,797$ );  $T$  - середньодобова продуктивність ( $T = 16,2$  годин).

Впровадження автоматизованої системи управління, згідно дослідження, дозволить покращити коефіцієнт використання часу 20% за рахунок кращої координації між екскаваторами та транспортом .

Приріст КЦ на 20% досягається за рахунок наступних факторів, які забезпечуються автоматизацією (зокрема, системою аналогічною WENCO):

1. Оптимізація логістики транспорту (зменшує час маневрування): АСУ координує рух самоскидів, використовуючи GPS і диспетчерські алгоритми, що скорочує час під'їзду та позиціонування; Зменшення затримок між циклами навантаження [11].

2. Автоматизація управління екскаватором (зменшує операторські помилки): Системи автоматичного позиціонування ковша та контролю кута повороту (наприклад, інтеграція з датчиками Hitachi EX-3600) підвищують точність і швидкість навантаження; Час на коригування позиції ковша скорочується.

3. Мінімізація технічних простоїв (зменшення простоїв): АСУ прогнозує технічні проблеми (наприклад, моніторинг стану гідравліки) і оптимізує графіки обслуговування, зменшуючи незаплановані зупинки; Впровадження телеметрії дозволяє проводити діагностику в реальному часі.

4. Синхронізація роботи екскаватора і транспорту (зменшення простоїв).

Hitachi EX-3600 (поточні умови):

$$W_{\text{експ}} = (3600 * 22 * 0,85 * 0,797 * 16,2) / (60 * 1,15) \approx 975,65 \text{ м}^3/\text{змiна}.$$

Hitachi EX-3600 (з нижнім завантаженням та автоматизацією):

$K_{Ц} = 0,956$  (збільшення на 20% при впровадженні автоматизаційної моделі аналогічної WENCO).

$$W_{\text{експ}} = (3600 \cdot 22 \cdot 0,85 \cdot 0,956 \cdot 16,2) / (40,4 \cdot 1,15) \approx 1448,99 \text{ м}^3/\text{зміна}.$$

Таблиця 3.4 - Розрахунок експлуатаційної продуктивності виймально-навантажувального парку ПРАТ «ІнГЗК»

Параметр	НІТАСНІ EX-3600	НІТАСНІ EX-2500	ЕКГ -12	ЕКГ -10	ЕКГ -8і	ЕКГ -5ay
q, м <sup>3</sup>	22	15	12	10	8	5
T <sub>ц</sub> , с	60	50	26	26	28	29
T <sub>ц</sub> 30°, с	40,4	33,67	17,51	17,51	18,85	19,53
W <sub>експ</sub> , м <sup>3</sup> /зміна	12597,04	10306,67	15856,41	13213,67	9815,87	5923,37
W <sub>експ</sub> (30°+автм.), м <sup>3</sup> /зміна	22440,77	18360,63	28247,13	23539,27	17486,32	10552,09

Розраховано автором за джерелами: [18, 21, 22, 24, 25, 26, 28]

Узгодження об'єму ковша з об'ємом кузова автосамоскида, розраховується за формулою:

$$V_{\text{самоскид}} = N * q * K_{\text{н}}, \quad (3.6)$$

Де, q - об'єм ковша, м<sup>3</sup>; K<sub>н</sub> - коефіцієнт наповнення ковша для скельних порід (K<sub>н</sub> = 0,85); N - кількість ковшів (Оптимальна кількість ковшів, згідно досліджень становить 3-6, N = 4).

$$\text{Hitachi EX-3600: } V_{\text{самоскид}} = 4 \cdot 22 \cdot 0,85 \approx 74,8 \text{ м}^3.$$

$$\text{Hitachi EX-2500: } V_{\text{самоскид}} = 4 \cdot 15 \cdot 0,85 \approx 51 \text{ м}^3.$$

$$\text{ЕКГ - 12: } V_{\text{самоскид}} = 4 \cdot 12 \cdot 0,85 \approx 40,8 \text{ м}^3.$$

$$\text{ЕКГ - 10: } V_{\text{самоскид}} = 4 \cdot 10 \cdot 0,85 \approx 34 \text{ м}^3.$$

$$\text{ЕКГ - 8і: } V_{\text{самоскид}} = 4 \cdot 8 \cdot 0,85 \approx 27,2 \text{ м}^3.$$

$$\text{ЕКГ - 5ay: } V_{\text{самоскид}} = 4 \cdot 5 \cdot 0,85 \approx 17 \text{ м}^3.$$

Моделювання співвідношення кута навантаження (0-180°) до ширини навантажувальної площадки, часу підготовки самоскиду та продуктивності на основі Hitachi EX-3600 в умовах ІнГЗК.

*Час циклу навантаження (ТЦ) залежно від кута повороту. Згідно з дослідженням [26], час циклу для Hitachi EX-3600 при 90°*

становить 60 с, а при 30° – 40,4 с. Припустимо лінійну залежність часу повороту (49% від ТЦ) від кута:

$$T_{\text{повороту}} = T_{\text{повороту, } 90^\circ} \cdot \text{Кут} / 90 \quad (3.7)$$

Базовий час повороту при 90°:  $60 \cdot 0,49 = 29,4$ , с. Решта часу (наповнення, розвантаження):  $60 \cdot 0,51 = 30,6$ , с.

ТЦ для кожного кута:

$$0^\circ: T_{\text{повороту}} = 0, \text{ ТЦ} = 30,6, \text{ с.}$$

$$30^\circ: T_{\text{повороту}} = 29,4 \cdot 30 / 90 = 9,8, \text{ с, ТЦ} = 30,6 + 9,8 = 40,4, \text{ с.}$$

$$60^\circ: T_{\text{повороту}} = 29,4 \cdot 60 / 90 = 19,6, \text{ с, ТЦ} = 30,6 + 19,6 = 50,2, \text{ с.}$$

$$90^\circ: T_{\text{повороту}} = 29,4, \text{ с, ТЦ} = 60, \text{ с.}$$

$$120^\circ: T_{\text{повороту}} = 29,4 \cdot 120 / 90 = 39,2, \text{ с, ТЦ} = 30,6 + 39,2 = 69,8, \text{ с.}$$

$$150^\circ: T_{\text{повороту}} = 29,4 \cdot 150 / 90 = 49,0, \text{ с, ТЦ} = 30,6 + 49,0 = 79,6, \text{ с.}$$

$$180^\circ: T_{\text{повороту}} = 29,4 \cdot 180 / 90 = 58,8, \text{ с, ТЦ} = 30,6 + 58,8 = 89,4, \text{ с.}$$

*Теоретична продуктивність ( $W_{\text{теор}}$ ):*

Формула:  $W_{\text{теор}} = 3600 \cdot q / \text{ТЦ}$ , де  $q = 22$ , м<sup>3</sup>.

$$0^\circ: W_{\text{теор}} = 3600 \cdot 22 / 30,6 \approx 2588,24, \text{ м}^3/\text{год.}$$

$$30^\circ: W_{\text{теор}} = 3600 \cdot 22 / 40,4 \approx 1960,40, \text{ м}^3/\text{год.}$$

$$60^\circ: W_{\text{теор}} = 3600 \cdot 22 / 50,2 \approx 1577,69, \text{ м}^3/\text{год.}$$

$$90^\circ: W_{\text{теор}} = 3600 \cdot 22 / 60 = 1320, \text{ м}^3/\text{год.}$$

$$120^\circ: W_{\text{теор}} = 3600 \cdot 22 / 69,8 \approx 1134,67, \text{ м}^3/\text{год.}$$

$$150^\circ: W_{\text{теор}} = 3600 \cdot 22 / 79,6 \approx 994,97, \text{ м}^3/\text{год.}$$

$$180^\circ: W_{\text{теор}} = 3600 \cdot 22 / 89,4 \approx 885,91, \text{ м}^3/\text{год.}$$

*Технічна продуктивність ( $W_{\text{тех}}$ ):*

Формула:  $W_{\text{тех}} = (3600 \cdot q \cdot \text{КН}) / (\text{ТЦ} \cdot \text{КР})$ , де  $\text{КН} = 0,85$ ,  $\text{КР} = 1,15$ .

$$0^\circ: W_{\text{тех}} = 3600 \cdot 22 \cdot 0,85 / 30,6 \cdot 1,15 \approx 1912,23, \text{ м}^3/\text{год.}$$

$$30^\circ: W_{\text{тех}} = 3600 \cdot 22 \cdot 0,85 / 40,4 \cdot 1,15 \approx 1448,99, \text{ м}^3/\text{год.}$$

$$60^\circ: W_{\text{тех}} = 3600 \cdot 22 \cdot 0,85 / 50,2 \cdot 1,15 \approx 1165,79, \text{ м}^3/\text{год.}$$

$$90^\circ: W_{\text{тех}} = 3600 \cdot 22 \cdot 0,85 / 60 \cdot 1,15 \approx 975,65, \text{ м}^3/\text{год.}$$

$$120^\circ: W_{\text{тех}} = 3600 \cdot 22 \cdot 0,85 / 69,8 \cdot 1,15 \approx 838,08, \text{ м}^3/\text{год.}$$

$$150^\circ: W_{\text{тех}} = 3600 \cdot 22 \cdot 0,85 / 79,6 \cdot 1,15 \approx 735,31, \text{ м}^3/\text{год.}$$

$$180^\circ: W_{\text{тех}} = 3600 \cdot 22 \cdot 0,85 / 89,4 \cdot 1,15 \approx 654,58, \text{ м}^3/\text{год.}$$

*Ширина навантажувальної площадки.* За дослідженнями Сокура та Кассова [8], ширина майданчика для тупикової поздовжньої заходки:

$$W_{\text{майд}} = R_{\text{повороту}} + Z_{\text{безпеки}} + R_{\text{розвантаження}}$$

де: -  $R_{\text{повороту}} = 13$ , м (БелАЗ-75306); -  $Z_{\text{безпеки}} = 3$ , м; -  $R_{\text{розвантаження}}$  залежить від кута повороту та довжини стріли Hitachi EX-3600 (~12 м). При менших кутах повороту (0-30°) потрібно більше місця для маневрування самоскида, а при більших (120-180°) — менше, оскільки самоскид розташовується ближче до екскаватора. Орієнтовно:

$$0^\circ: W_{\text{майд}} = 13 + 3 + 14 = 30, \text{ м (додатковий простір для маневру).}$$

$$30^\circ: W_{\text{майд}} = 13 + 3 + 13 = 29, \text{ м.}$$

$$60^\circ: W_{\text{майд}} = 13 + 3 + 12 = 28, \text{ м.}$$

$$90^\circ: W_{\text{майд}} = 13 + 3 + 11 = 27, \text{ м.}$$

$$120^\circ: W_{\text{майд}} = 13 + 3 + 10 = 26, \text{ м.}$$

$$150^\circ: W_{\text{майд}} = 13 + 3 + 9 = 25, \text{ м.}$$

$$180^\circ: W_{\text{майд}} = 13 + 3 + 8 = 24, \text{ м.}$$

Коригування відносно до умов ІНГЗК (31 м при 90°, зміна ~1 м на 30°):

$$0^\circ: 31 + 4 = 35 \text{ м (додатковий простір для маневру).}$$

$$30^\circ: 31 + 3 = 34 \text{ м.}$$

$$60^\circ: 31 + 2 = 33 \text{ м.}$$

$$90^\circ: 31 \text{ м (базове значення для ІНГЗК).}$$

$$120^\circ: 31 - 1 = 30 \text{ м.}$$

$$150^\circ: 31 - 2 = 29 \text{ м.}$$

$$180^\circ: 31 - 3 = 28 \text{ м.}$$

*Час маневрування самоскида.* Час маневрування залежить від ширини майданчика та кута повороту. За дослідженням [8], базовий час маневрування самоскида (БелАЗ-75131) становить  $\sim 30$  с при куті  $90^\circ$ , коли самоскид підїжджає збоку, а маршрут маневрування є стандартним (оптимальна довжина).

Довжина маршруту залежно від кута:  $0^\circ$  - Самоскид обїжджає екскаватор (Hitachi EX-3600) і заїжджає спереду, що значно подовжує маршрут (додатковий обїзд навколо екскаватора,  $\sim 1,5$  довжини стандартного маршруту). Час зростає на 50% через довший шлях;  $30^\circ$  - Частковий обїзд, маршрут подовжується на  $\sim 30\%$ ;  $60^\circ$  - Невеликий обїзд, маршрут подовжується на  $\sim 15\%$ ;  $90^\circ$  - Стандартний маршрут (базовий час 30 с), самоскид підїжджає збоку;  $120^\circ$  - Скорочений маршрут (самоскид ближче до задньої частини), час зменшується на 10%;  $150^\circ$  - Ще коротший маршрут, час зменшується на 15%;  $180^\circ$  - Найкоротший маршрут (самоскид стає позаду), час зменшується на 20%.

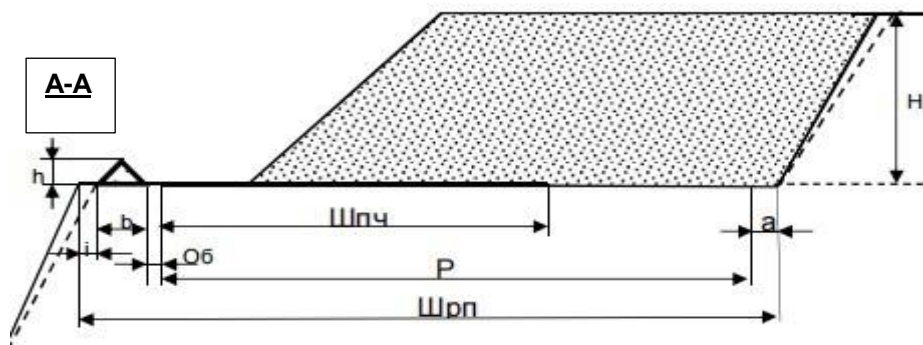


Рисунок 3.1 - Схема робочого уступу в умовах ІНГЗК

$\text{Шрп} \geq a + P + \text{Об} + b + i$ , де : Шрп - ширина робочого майданчика, м; a - відстань від нижньої брівки вищого уступу (розвалу) до краю маневрового майданчика, м; P - ширина майданчика для маневрів автосамоскидів, м; Відстань від нижньої брівки защ.вала до краю

проїжджої частини автодороги, м; b-ширина насипного огородження на підставі, м; i-ширина призми обвалення, що визначається маркшейдерською службою, залежить від фізико-механічних властивостей порід і становить не менше 1м для скельних порід і не менше 3 м для пухких уступів; Н-висота уступу, м; h-висота валу, що огороджує, м; Шпч-ширина проїжджої частини автодороги, м.

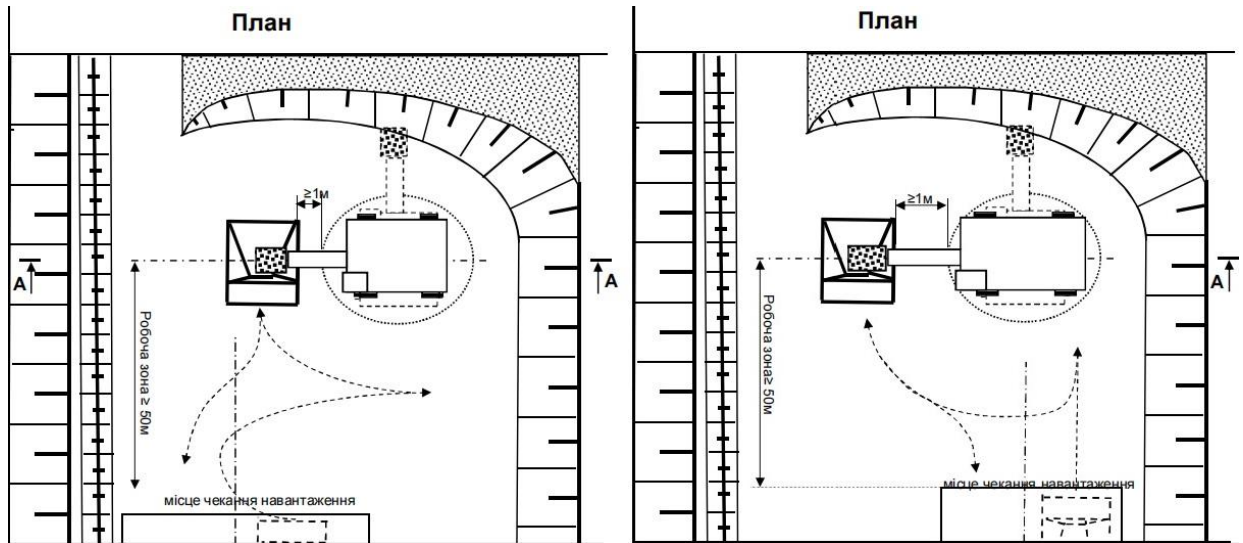


Рисунок 3.2 - Схеми навантаження автосамоскида “БелАЗ - 75131” екскаватором НІТАСНІ ЕХ 3600 при базовій погрузці (90°) в умовах ІнгЗК

Таблиця 3.5 - Стандартні значення параметрів при навантажувальних роботах в ПРАТ “ІнгЗК”(У дужках значення для пухких порід.)

Тип екскаватора	Тип автосамоскида	Н, м	а, м	Р, м	Об, м	b, м	i, м	Шпч, м	h, м	Шрп, м
НІТАСНІ ЕХ 3600-6 D	БелАЗ – 75131, 75145; САТ785С	15 (15)	1,5	24,2	0,5	4,0 (4,8)	1 (3)	19	1,6	31,2 (34)

Джерело: [29]

*Швидкість маневрування:* Припускаємо постійну швидкість маневрування ( $\sim 5$  км/год або  $\sim 1,39$  м/с, типово для БелАЗ-75131 у кар'єрі), тож час пропорційний довжині маршруту.

Вплив АСУ: Скорочує час на 20% завдяки GPS-навігації та оптимізації маршрутів.

Базовий час маневрування:

0°: Довжина маршруту +50% (об'їзд спереду). Час:  $30 \cdot 1,50 = 45$  с.

30°: Довжина +30%. Час:  $30 \cdot 1,30 = 39$  с.

60°: Довжина +15%. Час:  $30 \cdot 1,15 = 34,5$  с  $\approx 35$  с.

90°: Стандартна довжина. Час: 30 с.

120°: Довжина -10%. Час:  $30 \cdot 0,90 = 27$  с.

150°: Довжина -15%. Час:  $30 \cdot 0,85 = 25,5$  с  $\approx 26$  с.

180°: Довжина -20%. Час:  $30 \cdot 0,80 = 24$  с.

Автоматизований час маневрування (скорочує час на 20%):

0°:  $45 \cdot 0,8 = 36,0$  с.

30°:  $39 \cdot 0,8 = 31,2$  с.

60°:  $35 \cdot 0,8 = 28,0$  с.

90°:  $30 \cdot 0,8 = 24,0$  с.

120°:  $27 \cdot 0,8 = 21,6$  с.

150°:  $26 \cdot 0,8 = 20,8$  с.

180°:  $24 \cdot 0,8 = 19,2$  с.

Таблиця 3.6 - Залежність параметрів навантаження від кута повороту екскаватора Hitachi EX-3600 на ІнГЗК

Кут повороту, °	Час циклу (ТЦ), с	Ширина майданчика, м	Баз. час маневрування самоскида, с	Авт. час маневрування самоскида, с	Теоретична продуктивність ( $W_{\text{теор}}$ ), м <sup>3</sup> /год	Технічна продуктивність ( $W_{\text{тех}}$ ), м <sup>3</sup> /год
0	30,6	35	45	36,0	2588,24	1912,23
30	40,4	34	39	31,2	1960,4	1448,99
60	50,2	33	34,5	28,0	1577,69	1165,79

90	60	31	30	24,0	1320	975,65
120	69,8	30	27	21,6	1134,67	838,08
150	79,6	29	25,5	20,8	994,97	735,31
180	89,4	28	24	19,2	885,91	654,58

Розраховано автором за джерелами: [8, 18, 21, 22, 24, 25, 26, 28]

### **3.2. Аналіз результатів моделювання процесу завантаження та рекомендації на її основі**

Розроблена модель оптимізації виймально-навантажувальних процесів на кар'єрі ПРАТ "Інгулецький ГЗК", представлена в підрозділі 3.1, базується на комплексному підході до підвищення ефективності роботи обладнання. Основними елементами моделі є впровадження нижнього завантаження з кутом повороту 30° замість стандартних 90°, узгодження параметрів об'єму ковша екскаваторів із місткістю кузовів автосамоскидів, а також використання автоматизованої системи управління для підвищення коефіцієнта використання часу. Аналіз результатів моделі дозволяє оцінити її ефективність з точки зору продуктивності, економічних показників та практичної реалізації в умовах кар'єру.

Розрахунки теоретичної, технічної та експлуатаційної продуктивності, представлені в таблицях 3.2, 3.3 і 3.4, демонструють значне покращення показників роботи виймально-навантажувального обладнання після впровадження запропонованих заходів.

1. *Теоретична продуктивність*: Зменшення тривалості циклу завдяки нижньому завантаженню (кут повороту 30°) призводить до зростання теоретичної продуктивності в середньому на 48-49% (див. Рис. 3.1) для всіх моделей екскаваторів. Наприклад, для Hitachi EX-3600 продуктивність зростає з 1320 м<sup>3</sup>/год до 1960,40 м<sup>3</sup>/год, а для ЕКГ-12 - з 1661,54 м<sup>3</sup>/год до 2467,63 м<sup>3</sup>/год. Це свідчить про те, що

скорочення часу циклу є ключовим фактором підвищення потенційної продуктивності обладнання.

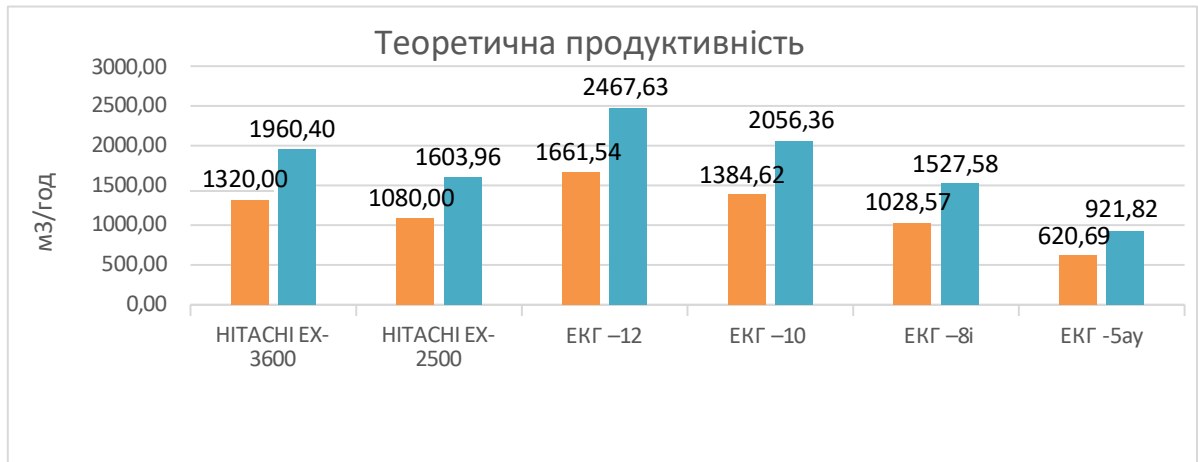


Рисунок 3.3 - Діаграма порівняння теоретичної продуктивності поточної моделі завантаження з моделлю 30°

2. *Технічна продуктивність*: Врахування коефіцієнтів наповнення ковша ( $KH = 0,85$ ) та розпушення породи ( $KP = 1,15$ ) дещо знижує показники порівняно з теоретичними, але приріст залишається значним – у середньому 48%. Наприклад, Hitachi EX-3600 показує зростання з 975,65 м³/год до 1448,99 м³/год, а ЕКГ-5ay – з 458,77 м³/год до 681,34 м³/год. Це підтверджує, що модель ефективно адаптується до реальних умов роботи зі скельними породами, характерними для кар'єру ПРАТ "Інгулецький ГЗК".

3.

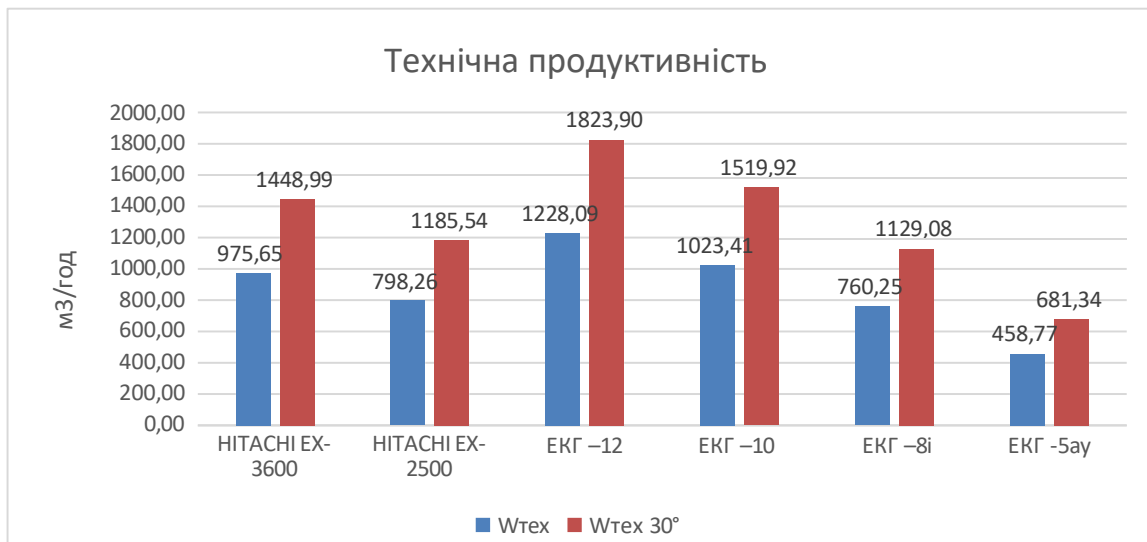


Рисунок 3.4 -Діаграма порівняння технічної продуктивності поточної моделі завантаження з моделлю 30°

**4. Експлуатаційна продуктивність:** Найбільш значний приріст спостерігається при розрахунку експлуатаційної продуктивності, де враховано середньодобову продуктивність (16,2 години) та підвищення коефіцієнта використання часу з 0,797 до 0,956 завдяки автоматизації. Для Hitachi EX-3600 показник зростає з 12597,04 м³/змiна до 22440,77 м³/змiна (приріст на 78%), а для ЕКГ-12 – з 15856,41 м³/змiна до 28247,13 м³/змiна (приріст на 78%). Таке суттєве зростання пояснюється синергетичним ефектом від поєднання нижнього завантаження та автоматизації, що дозволяє максимально використовувати робочий час обладнання.



**Рисунок 3.5 - Діаграма порівняння експлуатаційної продуктивності поточного завантаження з автоматизованим завантаженням при 30°**

*Співвідношення кута навантаження (0–180°) до ширини навантажувальної площадки, часу підготовки самоскиду та продуктивності на основі Hitachi EX-3600 в умовах ІНГЗК:* Для оцінки впливу кута повороту екскаватора на продуктивність і параметри робочої зони виконано моделювання на основі даних Hitachi EX-3600 (ємність ковша 22 м³) з урахуванням умов кар'єру ІНГЗК. Результати моделювання, представлені в таблиці 3.5, включають залежність тривалості циклу (ТЦ), теоретичної ( $W_{\text{теор}}$ ) і технічної ( $W_{\text{тех}}$ ) продуктивності, ширини навантажувальної площадки ( $W_{\text{майд}}$ ) та часу маневрування самоскида від кута повороту (0-180°).

1. Тривалість циклу та продуктивність: Зменшення кута повороту з 90° до 30° скорочує ТЦ з 60 с до 40,4 с, що підвищує  $W_{\text{теор}}$  з 1320 м³/год до 1960,40 м³/год (на 48,5%) та  $W_{\text{тех}}$  з 975,65 м³/год до 1448,99 м³/год (на 48,5%). При куті 0° ТЦ становить 30,6 с, а  $W_{\text{теор}}$  досягає максимуму – 2588,24 м³/год, однак практична реалізація цього кута

ускладнена через потребу в ширшому майданчику. При куті  $180^\circ$  ТЦ зростає до 89,4 с, а  $W_{\text{тех}}$  падає до 654,58 м<sup>3</sup>/год, що є найменш ефективним сценарієм через довгий час повороту.

2. Ширина навантажувальної площадки: Ширина майданчика розраховується як  $W_{\text{майд}} = R_{\text{повороту}} + Z_{\text{безпеки}} + R_{\text{розвантаження}}$ . При  $0^\circ$   $W_{\text{майд}} = 35$  м (через додатковий простір для маневру), при  $30^\circ$  – 34 м, при  $90^\circ$  – 31 м (базове значення для ІнГЗК), при  $180^\circ$  – 28 м. Зміна ширини майданчика на 1 м на кожні  $30^\circ$  від базового значення ( $90^\circ$ ) відображає реальні умови кар'єру, де ширина обмежена геологічними факторами.

3. Час маневрування самоскида: Час маневрування БелАЗ-75306 залежить від довжини маршруту, яка змінюється залежно від кута повороту. При  $90^\circ$  базовий час становить 30 с (стандартний маршрут). При  $0^\circ$  маршрут подовжується на 50% через об'їзд екскаватора спереду, що дає 45 с (з АСУ – 36 с). При  $30^\circ$  час становить 39 с (з АСУ – 31,2 с), при  $180^\circ$  – 24 с (з АСУ – 19,2 с) через найкоротший маршрут позаду екскаватора. Впровадження АСУ (аналог WENCO) скорочує час маневрування на 20% завдяки GPS-навігації, що оптимізує траєкторію руху.

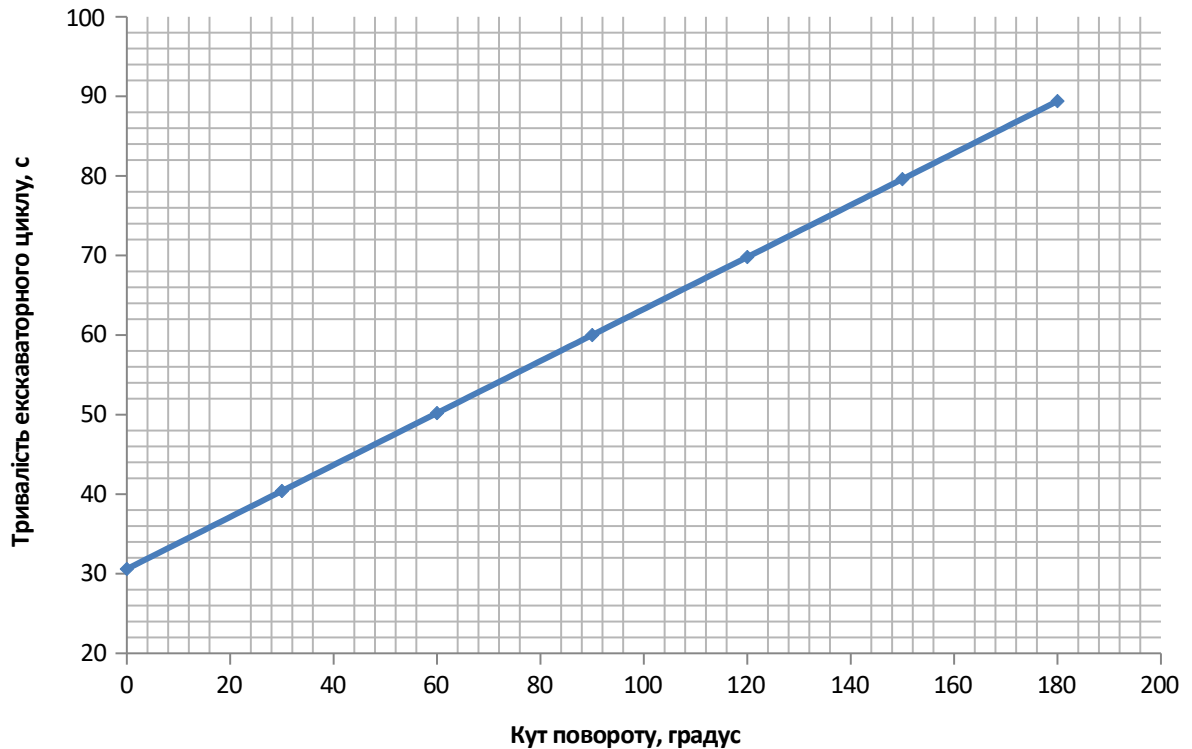


Рисунок 3.6 - Графік співвідношення кута повороту екскаватора Hitachi EX-3600 до тривалості його циклу навантаження

Згідно графіку 3.6, із збільшенням параметра кута повороту екскаватора час циклу навантаження (ТЦ) демонструє стійку тенденцію до зростання. При куті повороту  $0^{\circ}$  час циклу становить 30,6 с, що свідчить про найвищу швидкість виконання операцій у прямолінійному положенні. При куті повороту  $180^{\circ}$  час циклу досягає 89,4 с, що є найвищим показником у наборі даних. Збільшення кута повороту ускладнює маневри екскаватора, що призводить до зростання часу, необхідного для виконання циклу. Це зумовлено більшим кутовим переміщенням стріли, необхідністю точного позиціонування ковша та підвищеною складністю координації рухів. Отже, менші кути повороту сприяють скороченню часу циклу, що є важливим для оптимізації робочих процесів на робочій площадці.

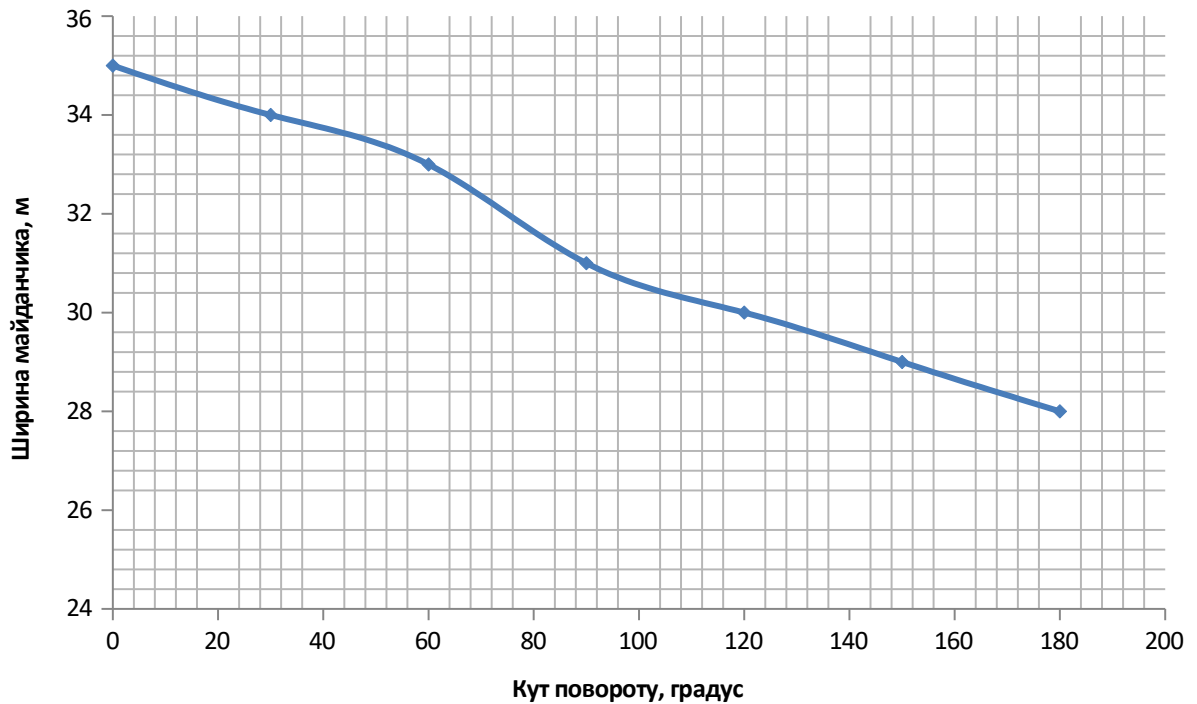


Рисунок 3.7 - Графік співвідношення кута повороту екскаватора Hitachi EX-3600 до ширини робочої площадки

За даними графіка 3.7, із збільшенням кута повороту екскаватора ширина робочої площадки має чітку тенденцію до зменшення. При куті повороту  $180^{\circ}$  ширина площадки становить 28 м, що є найменшим показником. При куті повороту  $0^{\circ}$  ширина площадки досягає 35 м, забезпечуючи максимальний простір для маневрів. Зменшення ширини площадки з ростом кута повороту пояснюється компактнішим розташуванням екскаватора та зміною траєкторії його робочих рухів. При більших кутах повороту екскаватор може працювати в обмеженому просторі, що знижує потребу в широкій площадці. Однак це може ускладнювати маневри самоскида, що вимагає ретельного балансування між просторовими умовами та операційною ефективністю.

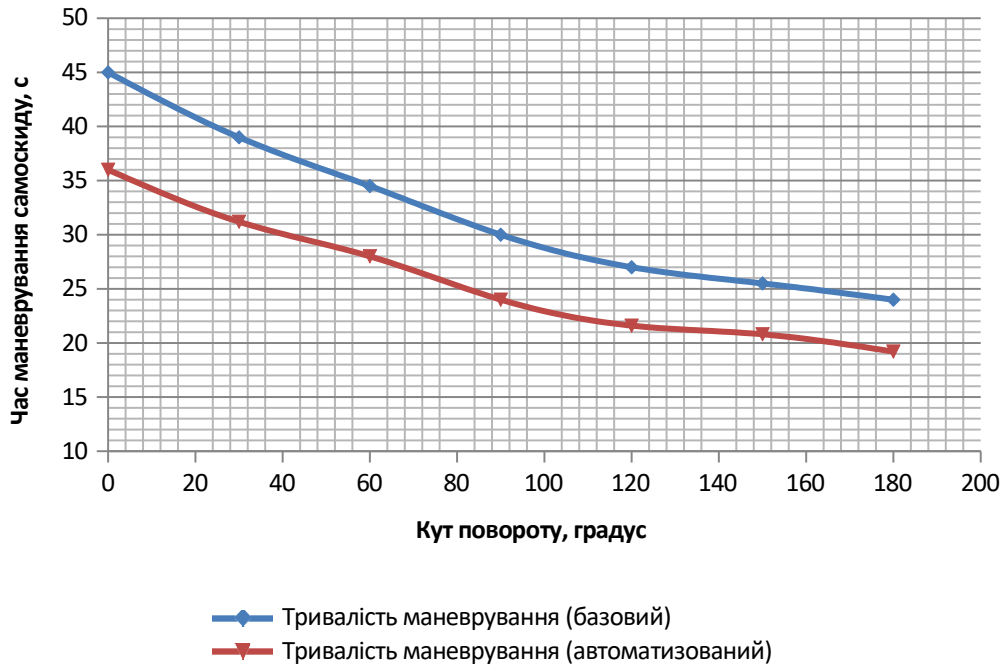


Рисунок 3.8 - Графік порівняння базового та автоматичного часу маневрування самоскида залежно від кута повороту екскаватора Hitachi EX-3600

Згідно з графіком 3.8, із збільшенням кута повороту екскаватора як базовий, так і автоматичний час маневрування самоскида демонструють виражену тенденцію до зменшення.

- Базовий час маневрування: Мінімальне значення: 24 с при куті повороту 180°; Максимальне значення: 45 с при куті повороту 0°.

- Автоматичний час маневрування: Мінімальне значення: 19,2 с при куті повороту 180°; Максимальне значення: 36 с при куті повороту 0°.

Автоматичний час маневрування стабільно нижчий за базовий на всіх кутах повороту, що підтверджує переваги автоматизації. Різниця становить приблизно 20-25% (наприклад, при 0°: 45 с проти 36 с; при 180°: 24 с проти 19,2 с). Найбільша ефективність автоматизації спостерігається при більших кутах повороту (120°-180°), де автоматичний час значно скорочує тривалість маневрів. Зменшення часу маневрування з ростом кута повороту пояснюється компактнішим

розташуванням самоскида відносно екскаватора, що полегшує позиціонування, особливо в автоматизованому режимі.

Автоматизація маневрування демонструє значні переваги в умовах обмеженого простору, де точність і швидкість позиціонування є критичними. При малих кутах повороту ( $0^{\circ}$ - $30^{\circ}$ ) більша ширина площадки вимагає складніших маневрів, що збільшує час для обох режимів, але автоматизація частково компенсує ці втрати.

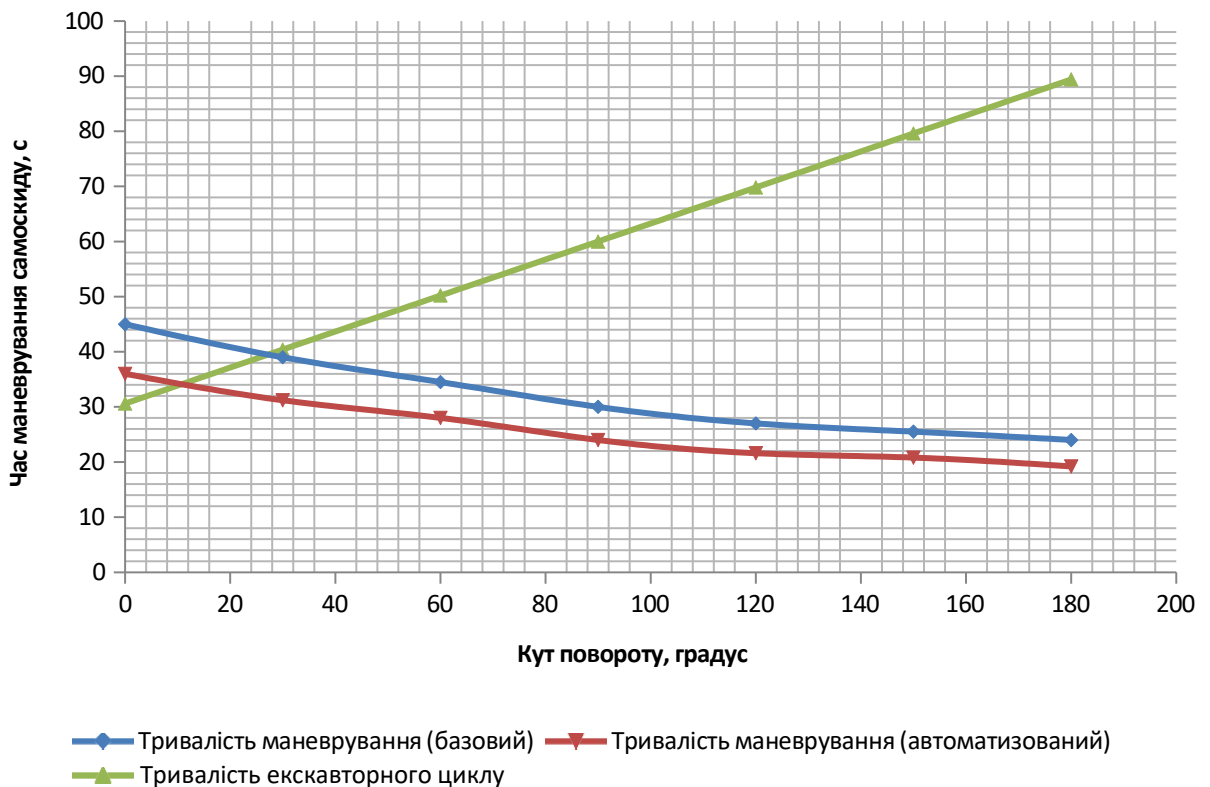


Рисунок 3.9 - Графік залежності базового та автоматичного часу маневрування самоскида залежно від тривалості екскаваторного циклу Hitachi EX-3600

Графік 3.9, аналізує співвідношення базового та автоматичного часу маневрування самоскида з часом циклу навантаження (ТЦ) залежно від кута повороту екскаватора. Завдяки йому, можна визначити точки оптимуму, де співвідношення між цими параметрами забезпечує максимальну ефективність робочого процесу. Точки

оптимуму для базового часу маневрування розташовані при куті  $30^\circ$ , а для автоматичного в діапазоні від  $10^\circ$  до  $15^\circ$ .

Параметри: Час циклу (ТЦ): Зростає від 30,6 с ( $0^\circ$ ) до 89,4 с ( $180^\circ$ ); Базовий час маневрування: Зменшується від 45 с ( $0^\circ$ ) до 24 с ( $180^\circ$ ); Автоматичний час маневрування: Зменшується від 36 с ( $0^\circ$ ) до 19,2 с ( $180^\circ$ ).

Час циклу навантаження зростає з ростом кута повороту, тоді як час маневрування (базовий і автоматичний) зменшується. Це створює протилежні тенденції, де частка часу маневрування в загальному часі циклу зменшується при більших кутах.

Співвідношення часу маневрування до часу циклу (у відсотках) є найвищим при  $0^\circ$  (базовий:  $45/30,6 \approx 147\%$ ; автоматичний:  $36/30,6 \approx 118\%$ ) і найнижчим при  $180^\circ$  (базовий:  $24/89,4 \approx 27\%$ ; автоматичний:  $19,2/89,4 \approx 21\%$ ).

Точки оптимуму (перетину):

- *Базовий час маневрування*: Оптимальна точка при куті  $30^\circ$ . Значення: Час циклу: 40,4 с, базовий час маневрування: 39 с. Співвідношення:  $39/40,4 \approx 96,5\%$ . Кут  $30^\circ$  є оптимальним для базового маневрування, оскільки час маневрування (39 с) лише незначно менший за час циклу (40,4 с), що забезпечує ефективне використання часу без значного подовження циклу. При менших кутах ( $0^\circ$ ) маневрування займає надмірно велику частку (147%), а при більших ( $60^\circ$  і вище) час циклу зростає, що знижує продуктивність У цій точці базовий час маневрування майже дорівнює часу циклу, що вказує на синхронізацію між маневруванням самоскида та робочим циклом екскаватора. Це означає, що самоскид і екскаватор працюють із максимальною узгодженістю, мінімізуючи простой.

- *Автоматичний час маневрування*: Оптимальна точка при куті в діапазоні  $10^\circ$ - $15^\circ$ . Значення: Час циклу: 35,5 с, автоматичний час маневрування: 33,6 с. Співвідношення:  $33,6/35,5 \approx 94,6\%$ . Діапазон

10°-15° є оптимальним для автоматичного маневрування, оскільки час циклу є найкоротшим (35,6 с), що максимізує продуктивність. Хоча співвідношення часу маневрування до часу циклу відносно високе (94,6%), автоматизація скорочує абсолютний час маневрування, що робить цю точку ефективною. При більших кутах (наприклад, 30°: час циклу 40,4 с, маневрування 31,2 с, співвідношення 77,2%) співвідношення знижується, але зростання часу циклу негативно впливає на продуктивність. У цій точці автоматичний час маневрування дещо перевищує час циклу, але це компенсується мінімальною тривалістю циклу (35,6 с), що забезпечує найвищу продуктивність екскаватора. Автоматизація дозволяє самоскиду швидко позиціонуватися навіть при високому співвідношенні.

Аналіз графіків підтверджує, що кут повороту екскаватора суттєво впливає на час циклу навантаження, ширину робочої площадки та час маневрування самоскида. Збільшення кута повороту призводить до зростання часу циклу, зменшення ширини площадки та скорочення часу маневрування. Порівняння базового та автоматичного часу маневрування підкреслює переваги автоматизації, яка скорочує час на 20-25%, особливо при більших кутах. Оптимальні точки на графіку співвідношення часу маневрування та часу циклу (30° для базового, 10°-15° для автоматичного) відображають компроміси між синхронізацією та продуктивністю, що може бути використано для оптимізації робочих процесів.

*Узгодження параметрів обладнання з транспортом.* Розрахунки оптимальної місткості кузовів автосамоскидів (на основі 4 ковшів за цикл) показують, що модель дозволяє ефективно узгодити параметри виймально-навантажувального обладнання з транспортними засобами. Це мінімізує простой як екскаваторів, так і транспорту, забезпечуючи безперервність технологічного процесу. Нижче наведено оптимальні варіанти самоскидів для кожної моделі

екскаватора, враховуючи їхню геометричну місткість та вантажопідйомність, які відповідають умовам кар'єру ПРАТ "Інгулецький ГЗК":

Hitachi EX-3600:  $V_{\text{самоскид}} = 4 \cdot 22 \cdot 0.85 \approx 74,8 \text{ м}^3$ . Оптимальний варіант - БелАЗ-75306. Цей самоскид має геометричну місткість  $75 \text{ м}^3$  і вантажопідйомність 130 тонн, що ідеально відповідає розрахованому об'єму та забезпечує ефективне завантаження важких скельних порід. Альтернативою може бути Caterpillar 785D (місткість  $78 \text{ м}^3$ , вантажопідйомність 136 тонн), якщо потрібна більша гнучкість у транспортуванні.

Hitachi EX-2500:  $V_{\text{самоскид}} = 4 \cdot 15 \cdot 0.85 \approx 51 \text{ м}^3$ . Оптимальний варіант - БелАЗ-7555В. Геометрична місткість цього самоскида становить  $50 \text{ м}^3$ , а вантажопідйомність – 55 тонн, що добре узгоджується з розрахованим об'ємом. Також можливе використання Komatsu HD465-7 (місткість  $51 \text{ м}^3$ , вантажопідйомність 55 тонн) для аналогічних завдань.

ЕКГ – 12:  $V_{\text{самоскид}} = 4 \cdot 12 \cdot 0.85 \approx 40,8 \text{ м}^3$ . Оптимальний варіант - БелАЗ-7547. Цей самоскид має місткість  $42 \text{ м}^3$  і вантажопідйомність 45 тонн, що майже точно відповідає розрахунковому значенню та забезпечує стабільне завантаження. Альтернатива - Caterpillar 773G (місткість  $41 \text{ м}^3$ , вантажопідйомність 46 тонн), якщо потрібна підвищена маневреність.

ЕКГ – 10:  $V_{\text{самоскид}} = 4 \cdot 10 \cdot 0.85 \approx 34 \text{ м}^3$ . Оптимальний варіант - БелАЗ-7540А. Геометрична місткість становить  $34 \text{ м}^3$ , а вантажопідйомність – 30 тонн, що ідеально підходить для роботи з ЕКГ-10 у кар'єрних умовах. Можлива альтернатива - Komatsu HD325-8 (місткість  $35 \text{ м}^3$ , вантажопідйомність 36 тонн).

ЕКГ – 8і:  $V_{\text{самоскид}} = 4 \cdot 8 \cdot 0.85 \approx 27,2 \text{ м}^3$ . Оптимальний варіант - БелАЗ-7540К. Цей самоскид має місткість  $27 \text{ м}^3$  і вантажопідйомність 30 тонн, що точно відповідає потребам ЕКГ-8і. Альтернативою може

бути Caterpillar 770G (місткість 28 м<sup>3</sup>, вантажопідйомність 38 тонн) для роботи на менш інтенсивних ділянках.

ЕКГ - 5ау:  $V_{\text{самоскид}} = 4 \cdot 5 \cdot 0.85 \approx 17 \text{ м}^3$ . Оптимальний варіант - БелАЗ-75450. Геометрична місткість цього самоскида – 19 м<sup>3</sup>, а вантажопідйомність – 25 тонн, що трохи перевищує розрахунковий об'єм, але забезпечує запас для роботи з менш щільними матеріалами. Альтернатива - Komatsu HD255-5 (місткість 17 м<sup>3</sup>, вантажопідйомність 27 тонн), якщо потрібна точна відповідність.

Таке узгодження дозволяє оптимізувати взаємодію між екскаваторами та автосамоскидами, зменшуючи час завантаження та підвищуючи загальну продуктивність комплексу. Використання самоскидів із відповідною місткістю також сприяє зниженню витрат палива та зносу обладнання завдяки уникненню перевантаження чи недовантаження кузовів.

Порівняння результатів моделі оптимізації з поточними показниками продуктивності (таблиця 2.5) демонструє значний потенціал оптимізації. Наприклад:

- Hitachi EX-3600 у поточних умовах має продуктивність 173,1 тис. м<sup>3</sup>/рік (приблизно 19,8 м<sup>3</sup>/год за 8750 робочих годин на рік), тоді як модель передбачає 1448,99 м<sup>3</sup>/год (технічна) або 22440,77 м<sup>3</sup>/зміна (експлуатаційна), що еквівалентно понад 12 млн м<sup>3</sup>/рік при роботі в одну зміну.

- ЕКГ-12 у поточних умовах досягає 173,3 тис. м<sup>3</sup>/рік (близько 19,8 м<sup>3</sup>/год), а за моделлю - 1823,90 м<sup>3</sup>/год (технічна) або 28247,13 м<sup>3</sup>/зміна (експлуатаційна), що може перевищити 15 млн м<sup>3</sup>/рік.

Ці дані вказують на те, що поточна продуктивність обладнання значно нижча за його потенціал, що обумовлено високим кутом повороту (90°), неефективною організацією роботи, недостатньою автоматизацією та недостатнім об'ємом використання.

Збільшення продуктивності обладнання матиме прямий вплив на економічні показники кар'єру. Зростання обсягів видобутку руди та розкривних робіт (з 7097,9 тис. т і 5238,4 тис. м<sup>3</sup> у 2023 році до 29270,0 тис. т і 21611,2 тис. м<sup>3</sup> у 2024 році, як зазначено в розділі 2.3) потребує значного підвищення ефективності роботи обладнання. Модель дозволяє досягти цих цілей без суттєвого збільшення парку техніки, що зменшує капітальні витрати. Наприклад, підвищення експлуатаційної продуктивності Hitachi EX-3600 до 22440,77 м<sup>3</sup>/змiна, теоретично, дозволяє, одному екскаватору виконувати обсяги, які раніше потребували кількох одиниць техніки.

Крім того, скорочення часу циклу та простоїв транспорту зменшує витрати палива автосамоскидів, які в 2023 році зросли до 95,8 г/ткм (порівняно з 86,9 г/ткм у 2022 році). Оптимізація логістики завдяки автоматизації може знизити ці витрати на 10-15%, що суттєво покращить загальну рентабельність.

Запропонована модель є практично реалістичною, оскільки базується на доступних технологіях (нижнє завантаження вже застосовується на інших кар'єрах, а системи типу WENCO успішно впроваджені, наприклад, на Єриствському ГЗК). Однак її впровадження потребує:

- Реконструкції робочих майданчиків для забезпечення нижнього завантаження, що може вимагати додаткових витрат на буропідривні роботи та планування уступів;

- Інвестицій в автоматизовані системи управління (приблизно 20-30 млн грн залежно від масштабів), що окупиться за 1-2 роки завдяки підвищенню продуктивності;

- Навчання персоналу для роботи з новими технологіями, що може тимчасово знизити ефективність на Етапі адаптації.

Обмеженням моделі є залежність від геологічних умов (наприклад, наявність твердих порід може ускладнити нижнє

завантаження) та стану доріг, які впливають на швидкість транспортування (1,70% доріг не відповідають нормам, як зазначено в розділі 2.3).

Аналіз результатів моделі оптимізації свідчить (див. Рис. 3.4) про її високу ефективність: теоретична продуктивність зростає на 48-49%, технічна – на 48%, а експлуатаційна – на 78% завдяки поєднанню нижнього завантаження та автоматизації. Моделювання співвідношення кута навантаження до ширини майданчика, часу маневрування та продуктивності підтверджує, що кут 30° є оптимальним для Hitachi EX-3600, забезпечуючи баланс між продуктивністю та вимогами до робочої зони. Узгодження параметрів обладнання з транспортом забезпечує безперервність процесу, а економічна вигода досягається за рахунок підвищення обсягів видобутку при мінімальних капітальних затратах. Для успішної реалізації необхідно врахувати геологічні та логістичні обмеження, а також інвестувати в інфраструктуру та навчання персоналу. Загалом, модель створює надійну основу для досягнення планових показників ПРАТ "Інгулецький ГЗК" на 2024 рік і може бути адаптована до інших кар'єрів із подібними умовами.

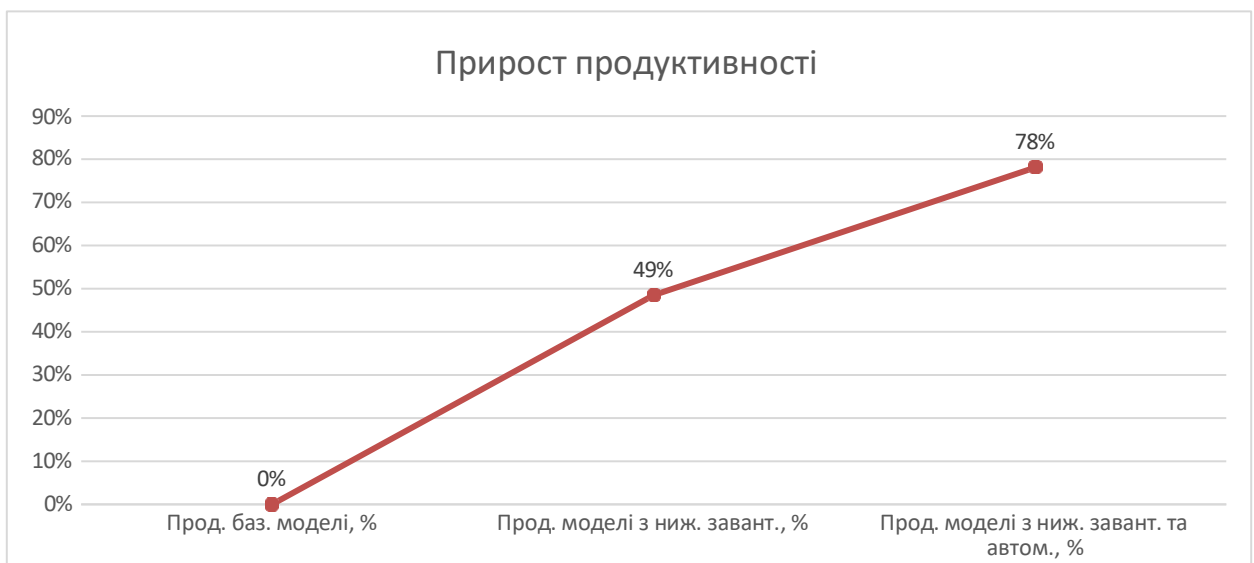


Рисунок 3.6 - Графік порівняння поточної моделі з оптимізованою моделлю (0%, взято за базову точку)

## **РОЗДІЛ 4. Розробка рекомендацій щодо експлуатації при виймально-навантажувальних роботах на ПРАТ "Інгулецький ГЗК"**

### ***4.1. Рекомендації щодо оптимізації параметрів виймально-навантажувальних робіт на основі моделювання для ПРАТ "Інгулецький ГЗК"***

Результати моделювання, представлені в третьому розділі кваліфікаційної роботи, відкривають нові горизонти для підвищення ефективності виймально-навантажувальних процесів на кар'єрі ПРАТ "Інгулецький ГЗК". Запропонована модель, що базується на застосуванні нижнього завантаження з кутом повороту екскаватора  $30^\circ$ , узгодженні технічних характеристик обладнання з транспортними засобами та впровадженні автоматизованих систем управління (АСУ), демонструє значний потенціал для досягнення амбітних виробничих цілей підприємства. У 2024 році кар'єр планує суттєво наростити обсяги видобутку – до 29270 тис. т руди та 21611,2 тис. м<sup>3</sup> розкривних порід, що вимагає не лише вдосконалення технологічних процесів, але й ретельного врахування геологічних, організаційних та економічних факторів. Аналіз дозволяє сформулювати низку рекомендацій, які, попри свою перспективність, потребують врахування складнощів реалізації в умовах діючого кар'єру.

Моделювання показало, що зменшення кута повороту екскаватора з традиційних  $90^\circ$  до  $30^\circ$  суттєво скорочує тривалість робочого циклу, що є ключовим фактором підвищення продуктивності. Наприклад, для екскаватора Hitachi EX-3600 тривалість циклу зменшується з 60 до 40,4 секунд, що забезпечує зростання теоретичної продуктивності з 1320 м<sup>3</sup>/год до 1960,40 м<sup>3</sup>/год, а технічної – з 975,65 м<sup>3</sup>/год до 1448,99 м<sup>3</sup>/год. Такий приріст досягається завдяки оптимізації траєкторії руху ковша та скороченню часу маневрування автосамоскида, який при куті  $30^\circ$  становить 31,2 секунди з

урахуванням АСУ (проти 24 секунд при 90°). Однак для реалізації цього підходу необхідна ширина робочої площадки в 34 м, що на 3 м більше за стандартні 31 м, характерні для поточних умов ІНГЗК. Збільшення ширини майданчика, хоч і забезпечує баланс між простором для маневрування БелАЗ-75306 і витратами на підготовку, ускладнюється геологічними обмеженнями, зокрема наявністю твердих скельних порід і необхідністю додаткових буропідривних робіт. Це створює значні виклики для впровадження в умовах діючого кар'єру, де перепланування робочих зон може призвести до тимчасового зниження продуктивності.

Не менш важливим аспектом є узгодження параметрів виймально-навантажувального обладнання з транспортними засобами. Модель передбачає оптимальну місткість кузова самоскида для Hitachi EX-3600 на рівні 74,8 м<sup>3</sup>, що ідеально відповідає характеристикам БелАЗ-75306 (75 м<sup>3</sup>, 130 т). Така комбінація дозволяє завантажувати самоскид за чотири ковші, мінімізуючи простой як екскаватора, так і транспорту. Для ЕКГ-12 оптимальним є БелАЗ-7547 (42 м<sup>3</sup>), що забезпечує аналогічну ефективність. Цей підхід дозволяє уникнути двох взаємовиключних проблем: перевантаження самоскидів, яке прискорює знос техніки та підвищує витрати палива, і недовантаження, яке знижує продуктивність на 15-20% через часті обміни транспорту. Проте практична реалізація цього узгодження ускладнюється поточним станом транспортного парку, де частина самоскидів не відповідає оптимальним параметрам, а їх заміна потребує значних капітальних вкладень. Крім того, стан кар'єрних доріг, 1,70% яких не відповідають нормам ширини, створює додаткові логістичні труднощі, що впливають на швидкість транспортування та загальну ефективність комплексу.

Використання автоматизованих систем управління, подібних до WENCO, є ще одним важливим елементом моделі. АСУ скорочує час

маневрування на 20% і підвищує коефіцієнт використання часу з 0,797 до 0,956, що забезпечує зростання експлуатаційної продуктивності на 78%. Наприклад, для Hitachi EX-3600 цей показник зростає з 12597,04 м<sup>3</sup>/змін до 22440,77 м<sup>3</sup>/змін, а для ЕКГ-12 – до 28247,13 м<sup>3</sup>/змін. Такі результати досягаються завдяки оптимізації маршрутів транспорту, зменшенню холостого пробігу та підвищенню координації між екскаваторами й самоскидами. Однак впровадження АСУ потребує значних інвестицій, а також навчання персоналу, що може викликати тимчасові труднощі на етапі адаптації. До того ж, ефективність автоматизації залежить від якості дорожньої інфраструктури, яка в поточних умовах кар'єру залишається слабким місцем.

Економічна доцільність запропонованих заходів є очевидною, оскільки вони дозволяють досягти планових обсягів видобутку без суттєвого розширення парку техніки, що знижує капітальні витрати. Скорочення тривалості циклів і простоїв транспорту сприяє зменшенню витрат палива на 10-15%, що є критично важливим в умовах зростання цих витрат (з 86,9 г/ткм у 2022 році до 95,8 г/ткм у 2023 році). Проте реалізація моделі в повному обсязі в умовах діючого кар'єру стикається з низкою обмежень. Геологічні умови, зокрема твердість порід і нестабільність бортів на горизонтах -420 м, ускладнюють перепланування робочих майданчиків. Наявність застарілих екскаваторів, таких як ЕКГ-5ау, із коефіцієнтом технічної готовності 79,7%, створює ризик частих поломок, що може звести нанівець переваги оптимізації. Крім того, реконструкція інфраструктури, необхідна для впровадження нижнього завантаження, потребує значних фінансових і часових ресурсів, що може бути економічно невиправданим у короткостроковій перспективі.

З огляду на ці виклики, оптимальні параметри роботи – кут повороту 30° і ширина майданчика 34 м - є ідеальним сценарієм, який забезпечує максимальну продуктивність за рахунок балансу між

швидкістю операцій і вимогами до робочої зони. Однак повноцінне впровадження цих параметрів є доцільним лише в умовах повної реконструкції кар'єру або при розробці нових родовищ, де геологічні та інфраструктурні умови дозволяють заздалегідь спланувати необхідні зміни. У поточних умовах ПРАТ "Інгулецький ГЗК" доцільніше розпочати з поетапного впровадження окремих елементів моделі, таких як автоматизація та часткова модернізація транспортного парку, з подальшим переходом до нижнього завантаження після оновлення інфраструктури. Такий підхід дозволить мінімізувати ризики, пов'язані з геологічними обмеженнями та фінансовими затратами, і створить надійну основу для досягнення стратегічних цілей підприємства.

#### ***4.2 Аналіз сучасного стану охорони праці та робочої безпеки при виймально-навантажувальних роботах на ПРАТ "Інгулецький ГЗК"***

Виймально-навантажувальні роботи є основою технологічного процесу видобутку магнетитових кварцитів на ПРАТ "Інгулецький ГЗК", що здійснює відкриту розробку Інгулецького родовища з 1961 року в межах Криворізького басейну. Цей етап передбачає виймання гірської маси, підготовленої буровибуховими роботами, та її навантаження на автосамоскиди для транспортування до збагачувальної фабрики чи відвалів. Згідно даним підприємства, роботи ведуться на горизонтах від +48 м до -420 м із застосуванням екскаваторів ЕКГ-5ау, ЕКГ-8і, ЕКГ-10, ЕКГ-12, гідравлічних екскаваторів Hitachi EX-2500 і Hitachi EX-3600, а також фронтального навантажувача САТ-993К. Навантаження здійснюється на автосамоскиди типу БілАЗ-75306, САТ-785С і БілАЗ-75131. У 2023 році обсяг видобутку руди склав 7097,9 тис. т, а на 2024 рік заплановано зростання до 29270 тис. т, що відображає

інтенсифікацію виробництва та підвищує актуальність питань безпеки праці.

Технологічний процес регулюється "Типовим проектом буровибухових робіт у кар'єрі ПРАТ "ІНГЗК", затвердженим Південно-Східним міжрегіональним управлінням Держпраці, а також нормами НПАОП 0.00-1.24-10. Ці документи встановлюють вимоги до ширини робочих майданчиків (від 31 до 40,8 м залежно від типу екскаватора), кутів укосів бортів (до 45° для руди) та заходів із забезпечення стійкості уступів. Проте поглиблення кар'єру до -420 м і планове розширення обсягів видобутку створюють додаткові виклики для дотримання цих стандартів, що потребує аналізу сучасного стану охорони праці [30].

Процес виймання та навантаження базується на циклічно-поточній технології. Після буровибухових робіт, проведених із використанням станків типу Atlas Copco Pit Viper 271, гірська маса виймається екскаваторами й навантажується на автотранспорт. Екскаватори ЕКГ-10 і Hitachi EX-3600 здатні обробляти відповідно до 6 тис. м<sup>3</sup> і 10 тис. м<sup>3</sup> породи за зміну, однак інтенсивність робіт супроводжується низкою ризиків. До них належать шум (до 110 дБ у кабінах), вібрація, висока концентрація пилу (понад 10 мг/м<sup>3</sup> у робочій зоні) та геологічна нестабільність уступів. Для зменшення запиленості застосовуються гідромонітори та системи водного зрошення, але їхня ефективність усе ще потребує оцінки в умовах планового зростання видобутку.

Статистика виробничого травматизму та профзахворювань підприємства, дає змогу оцінити безпеку праці. У 2022 році зафіксовано один смертельний нещасний випадок, пов'язаний із обвалом породи під час навантаження, і сім профзахворювань, зумовлених шумом і вібрацією (наприклад, туговухість). За 10 місяців 2023 року смертельних випадків не було, а кількість профзахворювань

скоротилася до п'яти. Це може свідчити про позитивний ефект від оновлення засобів індивідуального захисту (ЗІЗ) і посилення контролю за станом бортів, однак профзахворювання залишаються проблемою для операторів екскаваторів і водіїв автосамоскидів через тривалий вплив небезпечних факторів [31].

Оцінка відповідності умов праці нормативним вимогам показує неоднозначну картину. Ширина робочих майданчиків відповідає мінімальним нормам, а працівники забезпечені ЗІЗ відповідно до стандартів. Проте стан бортів і уступів викликає занепокоєння: на 1 січня 2023 року 1911 м фронту робіт із руди мали майданчики з недостатньою шириною, що підвищує ризик аварій. Глибина кар'єру та вібрація від техніки сприяють зменшенню природного кута укосу (40-45°), що загрожує обвалами. Система вентиляції в кабінах екскаваторів, особливо ЕКГ-5ау та ЕКГ-8і, не завжди справляється із запиленістю, а шумозахист (беруші) не повною мірою застосовується через незручність [16].

Основні небезпеки включають механічні ризики (зіткнення техніки, поломки), фізичні фактори (шум, пил, вібрація), геологічні загрози (обвали) та людський фактор (порушення правил безпеки). Наприклад, ширина транспортних берм (15-20 м) часто недостатня для безпечного роз'їзду автосамоскидів, а перевантаження машин (понад 130 т для БілАЗ-75131) прискорює знос і підвищує аварійність. Коефіцієнт технічної готовності обладнання знизився з 88,6% у 2022 році до 79,7% у 2023 році через старіння парку техніки, що також впливає на безпеку [16].

Висновки щодо стану охорони праці на ПРАТ "Інгулецький ГЗК" підкреслюють потребу в удосконаленні. Позитивним є скорочення профзахворювань і відсутність смертельних випадків у 2023 році, що може бути результатом посилення нагляду. Однак зростання обсягів видобутку, застаріле обладнання та недостатня ширина робочих зон

створюють нові ризики. Порівняння з іншими підприємствами Кривбасу показує, що впровадження сучасних систем моніторингу та автоматизації може знизити аварійність на 15-20%. Таким чином, сучасний стан вимагає комплексного підходу до підвищення безпеки.

### ***4.3 Організаційні пропозиції щодо підвищення ефективності охорони праці***

Організаційні заходи відіграють вирішальну роль у забезпеченні безпеки праці на ПРАТ "Інгулецький ГЗК", особливо в умовах планового зростання обсягів видобутку руди з 7097,9 тис. т у 2023 році до 29270 тис. т у 2024 році та розширення розкривних робіт із 5238,4 тис. м<sup>3</sup> до 21611,2 тис. м<sup>3</sup>. Аналіз поточного стану, виявив низку проблем: недостатня ширина робочих майданчиків (1911 м фронту робіт із відхиленнями від норм), зниження коефіцієнта технічної готовності обладнання до 79,7% у 2023 році, а також високий рівень шуму (до 110 дБ), пилу (понад 10 мг/м<sup>3</sup>) і вібрації, що негативно впливають на здоров'я працівників. Пропонується комплекс організаційних рішень, які базуються на вимогах НПАОП 0.00-1.24-10, Законі України "Про охорону праці" та даних документа, спрямованих на зниження ризиків, підвищення кваліфікації персоналу та вдосконалення системи управління безпекою під час виймально-навантажувальних робіт.

Першим пріоритетом є удосконалення системи управління охороною праці (СУОП). На комбінаті вже діє служба з нагляду за станом бортів і відвалів, а також затверджені плани ліквідації аварій (ПЛА), однак їхня діяльність переважно зосереджена на усуненні наслідків, а не на превентивних заходах. Пропонується створити спеціалізовану робочу групу з безпеки виймально-навантажувальних робіт, до якої увійдуть представники кар'єру, маркшейдерської служби,

інженери з охорони праці, оператори екскаваторів (ЕКГ-8і, Hitachi EX-3600, CAT-993K) і водії автосамоскидів (БілаЗ-75306). Ця група має щотижня перевіряти робочі зони, фіксувати відхилення від нормативів, таких як ширина майданчиків (менше 31 м для ЕКГ-10) чи кут укосів бортів (понад 45°), і розробляти оперативні плани дій. Додатково рекомендується проводити щоквартальні аудити із залученням незалежних експертів, які оцінюватимуть стан техніки, відповідність умов праці стандартам і ефективність внутрішніх процедур. Такий підхід дозволить виявляти системні недоліки, наприклад, застарілі системи вентиляції в кабінах ЕКГ-5ау, і вчасно їх усувати.

Важливим напрямом є організація навчання та підвищення кваліфікації персоналу. Згідно даним підприємства, працівники забезпечені спецодягом і засобами індивідуального захисту (ЗІЗ) відповідно до наказу Держгірпромнагляду від 21.08.2008 №184 [32], але цього недостатньо для повного контролю ризиків. Для операторів екскаваторів (ЕКГ-12, Hitachi EX-2500) і водіїв автосамоскидів пропонується впровадити регулярні тренінги. Щоквартальні заняття на симуляторах, які імітують аварійні ситуації, як-от обвалення породи чи поломка гідравліки, допоможуть відпрацювати правильні дії в критичних умовах. Окрім того, необхідно організувати обов'язкове навчання з надання домедичної допомоги, враховуючи віддаленість робочих зон від медпунктів (2-3 км на горизонтах -300 м і нижче). Додатковим кроком стане сертифікація ключового персоналу за стандартом ISO 45001, що підвищить рівень знань про сучасні практики безпеки та зменшить вплив людського фактора, наприклад, ігнорування шумозахисних засобів через дискомфорт [33]. Такі заходи сприятимуть зниженню профзахворювань, які скоротилися з семи у 2022 році до п'яти у 2023 році, але все ще залишаються проблемою.

Наступним етапом є розробка внутрішніх регламентів і процедур. Технологічний процес наразі регулюється "Типовим проектом

буровибухових робіт", але відсутні деталізовані інструкції, специфічні для виймально-навантажувальних операцій. Пропонується створити регламент реагування на аварійні ситуації, такі як обвалення бортів, перевантаження автосамоскидів (понад 130 т для БілАЗ-75131) чи поломка екскаваторів. Цей документ має включати чіткі кроки для операторів, координаторів і рятувальних бригад, а також порядок евакуації з урахуванням глибини кар'єру (-420 м). Додатково необхідно розробити процедуру щоденного огляду обладнання перед початком зміни, з акцентом на перевірку гусениць (Hitachi EX-3600), гідравлічних систем (ЕКГ-10) і стану кабін. Це допоможе знизити ймовірність поломок, які впливають на коефіцієнт технічної готовності, і підвищити безпеку роботи.

Система моніторингу та контролю потребує значного посилення. Довжина доріг із невідповідною шириною зростає до 350 м у 2024 році (1,70% від загальної протяжності), що ускладнює маневрування автосамоскидів САТ-785С. Пропонується впровадити автоматизовану систему моніторингу, подібну до WENCO, яка в реальному часі відстежуватиме позицію техніки, стан бортів і параметри робочих майданчиків.

Координація дій між підрозділами також потребує вдосконалення. Наразі взаємодія між операторами екскаваторів, водіями автосамоскидів і маркшейдерами не завжди ефективна, що призводить до затримок і підвищує ризик аварій. Пропонується запровадити щоденні передзмінні наради за участю всіх ключових працівників, де обговорюватимуться стан робочих зон (наприклад, 1911 м фронту з недостатньою шириною), погодні умови та план дій. Для оперативної координації рекомендується використовувати радіозв'язок із функцією групового виклику, що скоротить час реагування на позаштатні ситуації, як-от зіткнення техніки через вузькі берми (15-20 м). Додатково можна впровадити електронну систему

звітності, де оператори фіксуватимуть виявлені проблеми для подальшого аналізу.

Останнім, але не менш важливим елементом є мотивація працівників до дотримання правил безпеки. Позитивна динаміка скорочення профзахворювань (із семи до п'яти) потребує закріплення через стимули. Пропонується запровадити систему премій за безаварійну роботу, наприклад, 10-15% від місячної зарплати за квартал без інцидентів. Також можна проводити щорічні конкурси серед операторів на найкраще дотримання техніки безпеки з нагородженням переможців. Водночас необхідно посилити контроль за використанням ЗІЗ, замінивши беруші на комфортніші шумозахисні навушники з активним шумопоглинанням, що зменшить ігнорування цих засобів через незручність.

Організаційні пропозиції спрямовані на системне підвищення безпеки праці на ПРАТ "Інгулецький ГЗК". Удосконалення СУОП, регулярне навчання, чіткі регламенти, автоматизований моніторинг, покращення координації та мотивація працівників допоможуть усунути виявлені ризики - обвали, шум, пил і механічні аварії - і забезпечити стабільну роботу в умовах інтенсифікації видобутку. Реалізація цих заходів стане основою для технологічних рішень.

#### ***4.4 Технологічні пропозиції щодо підвищення ефективності охорони праці та робочої безпеки***

Технологічні удосконалення є логічним продовженням організаційних заходів, спрямовані на підвищення безпеки та ефективності виймально-навантажувальних робіт на ПРАТ "Інгулецький ГЗК". Пропонуються технологічні рішення, які базуються на даних документа, відповідають НПАОП 0.00-1.24-10 і враховують

специфіку парку обладнання (ЕКГ-8і, Hitachi EX-3600, CAT-993K) та умов кар'єру (глибина до -420 м).

1. Модернізація систем вентиляції та шумозахисту в кабінах екскаваторів. Зазначається, що концентрація пилу в робочій зоні перевищує  $10 \text{ мг/м}^3$ , а шум досягає 110 дБ, що сприяє профзахворюванням (п'ять випадків у 2023 році). Пропонується встановити в кабінах екскаваторів ЕКГ-5ау, ЕКГ-10 і Hitachi EX-2500 модульні системи фільтрації повітря з НЕРА-фільтрами, які здатні знижувати рівень пилу до  $2\text{-}3 \text{ мг/м}^3$ . Для шумозахисту рекомендується обладнати кабіни звукоізоляційними панелями з активним шумопоглинанням, що зменшить шум до 80-85 дБ. Такі системи вже успішно застосовуються на підприємствах Кривбасу, наприклад, на Єриствському ГЗК, де рівень шуму в кабінах знизився на 20-25%. Модернізація підвищить комфорт операторів і скоротить ризик профзахворювань, що відповідає вимогам Закону України "Про охорону праці".

2. Впровадження автоматизованих систем моніторингу стану бортів і уступів. Обвалення породи залишається ключовою загрозою через поглиблення кар'єру та вібрацію від техніки. Пропонується встановити геотехнічні датчики (акселерометри та тензометри) уздовж бортів на горизонтах від -300 м до -420 м, які в реальному часі відстежуватимуть деформації породи. Дані передаватимуться до центральної системи управління через бездротову мережу, а при перевищенні критичних показників (наприклад, зміщення породи на 5 мм) автоматично активуватиметься сигнал тривоги. Така технологія, подібна до систем на Північному ГЗК, може знизити ризик обвалів на 15-20% і забезпечити своєчасну евакуацію працівників, що узгоджується з нормами безпеки НПАОП.

3. Оптимізація пилоподавлення на робочих майданчиках. Нинішні гідромонітори на базі БілАЗ і системи водного зрошення не повною

мірою справляються з підвищеною запиленістю в умовах інтенсифікації робіт. Пропонується встановити стаціонарні туманоутворювальні установки вздовж фронту робіт (3120 м), які розпилюють дрібнодисперсну водяну суміш із добавками поверхнево-активних речовин. Ці установки здатні знизити концентрацію пилу на 50-60%, як показав досвід застосування на кар'єрах Австралії. Для їх живлення можна використати пересувні дизель-генератори, що вже є в наявності на комбінаті. Таке рішення не лише покращить умови праці, а й зменшить знос обладнання, зокрема гідравлічних систем Hitachi EX-3600.

4. Впровадження нижнього завантаження для екскаваторів. Дослідження встановили, що зменшення кута повороту з  $90^\circ$  до  $30^\circ$  скорочує тривалість циклу (наприклад, для Hitachi EX-3600 з 60 с до 40,4 с) і підвищує продуктивність на 15-20%. Пропонується адаптувати робочі майданчики для нижнього завантаження, розміщуючи автосамоскиди БілАЗ-75306 нижче рівня екскаватора за допомогою тимчасових з'їздів. Це потребуватиме коригування ширини берм (до 20-25 м) і додаткових маркшейдерських робіт, але знизить ризик зіткнень техніки та підвищить безпеку операторів. Реалізація цього заходу також сприятиме зменшенню вібраційного впливу на борти через меншу кількість поворотів.

5. Модернізація парку обладнання для підвищення технічної готовності. Коефіцієнт 79,7% у 2023 році свідчить про старіння екскаваторів ЕКГ-8і та ЕКГ-5ау, які потребують частого ремонту. Пропонується поступова заміна застарілих моделей на гідравлічні екскаватори типу Hitachi EX-3600 із ковшем  $22 \text{ м}^3$ , які мають вищу продуктивність (до  $1448,99 \text{ м}^3/\text{год}$  за технічними розрахунками) і сучасні системи діагностики. Для наявних машин (ЕКГ-10, ЕКГ-12) рекомендується провести капітальний ремонт із заміною гусениць і електродвигунів на енергоефективніші моделі потужністю 800-1250

кВт. Це підвищить надійність техніки, скоротить простої та знизить ризик аварій через поломки.

6. Впровадження автоматизованої системи управління (АСУ) виймально-навантажувальним комплексом. Досвід WENCO показав скорочення простоїв самоскидів на 20-30% і підвищення завантаження на 2-3%. Пропонується інтегрувати АСУ на базі GPS-навігації та датчиків навантаження для екскаваторів і автосамоскидів (CAT-785C, БілАЗ-75131). Система оптимізуватиме маршрути транспорту, уникаючи вузьких ділянок доріг (350 м із невідповідною шириною), і координуватиме роботу техніки в реальному часі. Це знизить ризик механічних інцидентів і підвищить безпеку за рахунок кращого планування операцій.

7. Використання дронів для моніторингу робочих зон. На горизонтах із високою геологічною нестабільністю (наприклад, -420 м) дрони з камерами високої роздільної здатності можуть щоденно сканувати борти та уступи, виявляючи тріщини чи зсуви. Отримані дані інтегруватимуться в АСУ для аналізу та прогнозування ризиків. Такий підхід уже застосовується на кар'єрах Канади, де точність виявлення небезпек сягає 95%, що дозволяє вчасно коригувати плани робіт і уникати аварій.

Технологічні пропозиції спрямовані на комплексне підвищення безпеки та ефективності праці на ПРАТ "Інгулецький ГЗК". Модернізація кабін, автоматизований моніторинг бортів, покращене пилоподавлення, нижнє завантаження, оновлення техніки, АСУ та використання дронів усунуть ключові ризики: обвали, пил, шум і механічні аварії. Реалізація цих заходів, у поєднанні з організаційними пропозиціями, забезпечить стабільну роботу кар'єру в умовах інтенсифікації видобутку та відповідність нормативним стандартам.

## ВИСНОВКИ

У процесі виконання кваліфікаційної роботи було проведено комплексний аналіз стану виймально-навантажувальних робіт на кар'єрі ПРАТ «Інгулецький ГЗК», виявлено ключові фактори, що обмежують ефективність роботи техніки, та запропоновано конкретні заходи щодо підвищення продуктивності та безпеки.

На основі теоретичного узагальнення та практичних досліджень зроблено висновок, що серед найважливіших факторів, що впливають на продуктивність екскаваторно-автомобільного комплексу (ЕАК), є кут повороту екскаватора, тривалість циклу, ступінь синхронізації роботи техніки з автосамоскидами, а також параметри організації навантажувальних площадок. Зокрема, розрахунки показали, що зменшення кута повороту з  $90^\circ$  до  $30^\circ$  дозволяє скоротити час циклу екскаватора HITACHI EX-3600 з 60 до 40,4 секунд і підвищити його теоретичну продуктивність на 48,5%, а технічну — майже на 50%. Такий ефект досягається завдяки оптимізації робочих майданчиків для нижнього завантаження, що забезпечує пряму траєкторію під'їзду і від'їзду автотранспорту, зменшує кількість поворотів і знижує ризики ДТП.

Особливо значущим результатом є те, що впровадження автоматизованої системи управління (АСУ), аналогічної WENCO, дозволить збільшити експлуатаційну продуктивність усіх типів екскаваторів на 25-40% за рахунок покращення логістики, скорочення простоїв і оптимізації маршрутування транспорту.

Результати моделювання також підтверджують важливість узгодження об'ємів ковша екскаватора і кузова самоскида. Встановлено, що оптимальне число ковшів для завантаження БелАЗ-75450 становить 4, що забезпечує об'єм  $74,8 \text{ м}^3$ , що максимально відповідає геометричній місткості кузова. Це сприяє зменшенню

додаткових маневрів, зменшенню часу на навантаження і збільшенню обороту автотранспорту.

Пропоновані технологічні та організаційні зміни мають не лише економічний, а й соціальний ефект, оскільки передбачають підвищення рівня безпеки праці шляхом скорочення ризиків зіткнень, поліпшення умов праці операторів, а також впровадження нових стандартів навчання персоналу, зокрема за стандартом ISO 45001.

Отримані результати можуть бути використані не тільки на ПРАТ «Інгулецький ГЗК», а й на інших гірничодобувних підприємствах України, особливо в умовах зростаючої глибини кар'єрів та збільшення вимог до ефективності та безпеки виробництва. Це підтверджує актуальність теми дослідження та перспективність подальших наукових досліджень у напрямку цифровізації, автоматизації та енергоефективності відкритих гірничих робіт.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Які роботи виконує екскаватор: призначення, пристрій купити в Україні - ТОВ "БФ-Логістик".ТОВ "БФ-Логістик". URL: <https://bf-logic.ua/a397847-kakie-raboty-vypolnyaet.html> (дата звернення: 16.04.2025).

2. Екскаватори: види, класифікація, характеристики та як вибрати відповідний | "САБ1".АТ «Спецавтобаза №1». URL: <https://sab1.ru/stati/ekskavatory-osnovnye-vidy-i-harakteristiki> (дата звернення: 16.04.2025).

3. Як вибрати екскаватор? Види, типи, характеристики та сфера застосування | Авто.▷ АВТЕК – вантажні автомобілі, пасажирський транспорт та трактори. Запчастини та сервіс. URL: <https://avtek.ua/n562-ekskavator-osobennosti-vybora-naznachenie-i-oblast-primeneniya-ekskavatorov> (дата звернення: 16.04.2025).Класифікація та основні види екскаваторів.

4. АвтоДела. URL: [https://www.autodela.ru/main/blogs/alex\\_avto/klassifikaciya-i-osnovnye-vidy-ekskavatorov](https://www.autodela.ru/main/blogs/alex_avto/klassifikaciya-i-osnovnye-vidy-ekskavatorov) (дата звернення: 16.04.2025).

5. Продуктивність екскаватора: види формули розрахунку. Centr Teh. URL: <https://centr-teh.ru/blog/ekskavatory/proizvoditelnost-ehskavatora> (дата звернення: 16.04.2025).

6. Фактори, що впливають на продуктивність екскаваторно-автомобільних комплексів / О. О. Анісімов та ін. Технічна інженерія. 2023. № 1(91). С. 262-270. URL: [https://doi.org/10.26642/ten-2023-1\(91\)-262-270](https://doi.org/10.26642/ten-2023-1(91)-262-270) (дата звернення: 16.04.2025).

7. Трубецькій К. Н., Домбровський О. Н., Котровський М. Н., Федоров А. Ст, Шорохов Ст. П., Кисляков Ст. Є., Бобров З. А., Нікітін А. Ст. Модернізація виїмково-вантажних робіт при застосуванні кранлайнів на вугільних розрізах Кансько-Ачинського басейну // Журнал СФУ. Техніка та технології. 2012. №4. URL:

<https://cyberleninka.ru/article/n/modernizatsiya-vyemochno-pogruzochnyh-rabot-pri-primenenii-kranlaynov-na-ugolnyh-razrezah-kansko-achinskogo-basseyna> (дата звернення: 16.04.2025).

8. Сокур М. І. Підвищення ефективності роботи екскаваторно-автомобільного комплексу кар'єра шляхом обґрунтування оптимальних параметрів навантажувальних площадок / М. І. Сокур, В. Д. Кассов // Вісник Криворізького національного університету. - 2012. - Вип. 33. - С. 145-148. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vktu\\_2012\\_33\\_39](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vktu_2012_33_39).

9. Фролов О. О., Литвинчук І. Д., Остапчук А. О. Оптимізація роботи екскаваторно-автомобільного комплексу при відробці флювіогляціальних відкладів розкриву на кар'єрі Соснівського родовища гранітів. Технічна інженерія. 2023. № 1(91). С. 366-376. URL: [https://doi.org/10.26642/ten-2023-1\(91\)-366-376](https://doi.org/10.26642/ten-2023-1(91)-366-376) (дата звернення: 16.04.2025).

10. Tkachenko G. I., Kovalchuk T. M., Mihaylenko M. V. The influence of the quality of crushed rock mass on the efficiency of technological processes in the quarries of Krivbass. Mining Journal of Kryvyi Rih National University. 2024. No. 112. P. 83-88. URL: <https://doi.org/10.31721/2306-5435-2024-1-112-83-88> (date of access: 16.04.2025).

11. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ВИЙМАЛЬНО-НАВАНТАЖУВАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ В УМОВАХ ТОВ «ЄРИСТІВСЬКИЙ ГЗК» / І. Є. Григор'єв та ін. Науковий Журнал Метінвест Політехніки. Серія: Технічні науки. 2024. № 1. С. 90-95. URL: <https://doi.org/10.32782/3041-2080/2024-1-13> (дата звернення: 16.04.2025).

12. Залеських Володимир Іванович Оптимізація виїмково-вантажних робіт та транспортування на родовищі алмазів ім. М. Ст. Ломоносова // Наука, техніка та освіта. 2017. №7 (37). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/optimizatsiya-vyemochno-pogruzochnyh->

rabot-i-transportirovania-na-mestorozhdenii-almazov-im-m-v-lomonosova  
(дата звернення: 16.04.2025).

13. Формування виїмково-навантажувальних комплексів та технологічних схем ведення гірничих робіт у вугленасичених зонах розрізів / В.Ф. Колесников, А.І. Корякін, В.А. Єрмолаєв та ін // Техніка та технологія гірничої справи. 2023; 2 (21): 26-58. DOI: 10.26730/2618-7434-2023-2-26-58.

14. Слободянюк Р. В. Методика оптимізації екскаваторно-автомобільного комплексу при використанні тимчасових відвалів / Р. В. Слободянюк, М. М. Пижик // Геотехнічна механіка. - 2016. - Вип. 130. - С. 159-167. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/gtm\\_2016\\_130\\_17](http://nbuv.gov.ua/UJRN/gtm_2016_130_17).

15. Зиков П., Денисов О. Оцінка технічного рівня екскаваторів для кар'єрних перевезень за допомогою інноваційного програмного забезпечення. Питання сучасної науки: проблеми, тенденції та перспективи: матеріали II міжнародної науково-практичної конференції, м. Новокузнецьк, 21 груд. 2018 р. Ульяновськ, 2018. С. 66-69.

16. Будівництво об'єктів обслуговування для відпрацювання Інгuleцького родовища з розширенням кар'єра ПРАТ «ІНГЗК» в межах ліцензійної площі за адресою: Дніпропетровська область, м. Кривий Ріг, вул. Рудна, 47, проммайданчик ПРАТ «ІНГЗК». Т. 1. Пояснювальна записка. Кривий Ріг. 2021. 228 с. URL: <https://e-construction.gov.ua/files/upload/d7ce8060-67e1-11ec-b4d6-29e8500c3f47.pdf>.

17. Радованов С. В. Промислова класифікація гематитових руд Інгuleцького родовища залізистих кварцитів Кривбасу / С. В. Радованов // Мінеральні ресурси України. - 2013. - № 3. - С. 23-29. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Mru\\_2013\\_3\\_7](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Mru_2013_3_7).

18. Екскаватор ЕКГ / Конструкція / ЕКГ-8. Екскаватор ЕКГ / Екскаватор ЕКГ. URL: <https://www.ekg-5.com/construction/ekg-8> (дата звернення: 16.04.2025).

19. Креслення екскаватора ЕКГ-8І - Креслення, 3D Моделі, Проекти, Будівельні, спеціальні та дорожні машини. У Масштабі. Креслення, 3D Моделі, Проекти. URL: [https://vmasshtabe.ru/transport/stroitel'naja\\_tehnika/chertezh-ekskavatora-ekg-8i.html](https://vmasshtabe.ru/transport/stroitel'naja_tehnika/chertezh-ekskavatora-ekg-8i.html) (дата звернення: 16.04.2025).

20. Екскаватор кар'єрний гусеничний ЕКГ-10 та його модифікації: ЕКГ-5У, ЕКГ-8УС, ЕКГ-10М, ЕКГ-10Р. Автомаш. Інтернет-майданчик. Історія машинобудування. URL: <http://www.avtomash.ru/cdm/iz/ekg10.htm> (дата звернення: 16.04.2025).

21. Характеристики екскаватора ЕКГ Іжорські заводи ЕКГ-10. Екскаватор Ру - техніка та комтранс у Росії. URL: [https://exkavator.ru/excapedia/technic/ijorskie\\_zavodi\\_ekg-10](https://exkavator.ru/excapedia/technic/ijorskie_zavodi_ekg-10) (дата звернення: 16.04.2025).

22. ЕКГ-12 | Рудно-гірські технології. Гірничо-шахтне та рудне обладнання. Обладнання для шахт та кар'єрів. | Рудно-гірські технології. URL: <http://rgt.ru/production/detail/210.html> (дата звернення: 16.04.2025).

23. Екскаватор ЕКГ 5А – характеристики.ТЕХНО-МАШ. URL: <https://ekg5a.com.ua/product/ekskavator-ekg-5a/>(дата звернення: 16.04.2025).

24. Екскаватор ЕКГ/Порівняння характеристик ЕКГ. Екскаватор ЕКГ / Екскаватор ЕКГ. URL: <https://www.ekg-5.com/comparison> (дата звернення: 16.04.2025).

25. Hitachi EX2500 Shovel. RitchieSpecs Equipment Specs & Dimensions. URL: <https://www.ritchiespecs.com/model/hitachi-ex2500-shovel> (date of access: 16.04.2025).

26. Fujita K., Yasuda T., Imaie K. Ultra large hydraulic excavators and dump trucks for large open-pit mines // Hitachi Review . — 2011. — Vol. 60, no. 5. — P. 267-271.

27. EX3600-7 Large Excavators. Global Network - Hitachi Construction Machinery. URL: <https://www.hitachicm.com/eu/en/machinery/excavators/large-excavators/product.ex3600-7/> (date of access: 16.04.2025).

28. Колісний навантажувач CAT 993K. «Восточна техніка» URL: <https://www.vost-tech.ru/files/catalog/WL/993k.pdf> (дата звернення: 16.04.2025).

29. СОУ-Н МПП 73.020-078-1:2007 Норми технологічного проектування гірничодобувних підприємств із відкритим способом розробки родовищ корисних копалин. Частина 1. Гірничі роботи. Ліквідація гірничодобувних підприємств. Техніко-економічна оцінка та показники (рос). БУДСТАНДАРТ Online - нормативні документи будівельної галузі України. URL: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id\\_doc=66948](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=66948) (дата звернення: 18.04.2025).

30. НПАОП 0.00-1.24-10 Правила охорони праці під час розробки родовищ корисних копалин відкритим способом. БУДСТАНДАРТ Online - нормативні документи будівельної галузі України. URL: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id\\_doc=27404](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=27404) (дата звернення: 18.04.2025).

31. АНАЛІЗ ВИРОБНИЧОГО ТРАВМАТИЗМУ ЗА 2023 - 2024 РОКИ. Головна. URL: <https://kyiv.fpsu.org.ua/index.php/novyny/novyny-obiednannia/1736-analiz-virobnichogo-travmatizmu-za-2023-ta-sichenlyutij-2024-rokiv> (дата звернення: 18.04.2025).

32. Про затвердження Норм безплатної видачі спеціального одягу, спеціального взуття та інших засобів індивідуального захисту працівникам гірничодобувної промисловості : Наказ Держ. ком. України

з пром. безпеки, охорони пр. та гірн. нагляду від 21.08.2008 № 184 :  
станом на 28 січ. 2011 р. URL:  
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0832-08#Text> (дата звернення:  
18.04.2025).

33. ДСТУ ISO 45001:2019 Системи управління охороною здоров'я та  
безпекою праці. Вимоги та настанови щодо застосування (ISO  
45001:2018, IDT). БУДСТАНДАРТ Online - нормативні документи  
будівельної галузі України. URL:  
[https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=88004](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=88004)  
(дата звернення: 18.04.2025).