

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

*«Допущено до захисту»  
Гарант ОПП*

Ольга БОГОМАЗ

## **КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

на здобуття освітнього ступеня бакалавр

за підсумками виконання  
освітньо професійної програми  
«Відкрита розробка родовищ»  
за спеціальністю 184 Гірництво

**на тему «Використання мобільних дробарно-перевантажувальних  
пунктів для підвищення ефективності виймально-  
навантажувальних робіт»**

Керівник роботи

Юліан ГРИГОР'ЄВ

Консультант від  
бази практики

Олександр ГРИБЕННИКОВ

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

Здобувач

Олександр ПОТНІЧЕНКО

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

Голова ЕК

Ігор ТОНЄВ

Запоріжжя 2026

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  
 « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2026 р.

**ЗАВДАННЯ  
 НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА  
 Потніченко О.М.**

1. Тема роботи: Використання мобільних дробарно-перевантажувальних пунктів для підвищення ефективності виймально-навантажувальних робіт  
 Керівник роботи: Григор'єв Юліан Ігорович, к.т.н., доцент  
затверджені наказом Університету № 41 від 23.02.2026
2. Термін подання роботи: 16.06.2026
3. Вихідні дані до роботи: сучасний стан гірничих робіт в кар'єрі, парк основного гірничого устаткування, дані хронометражу продуктивності транспортного обладнання
4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань): Анотація. Зміст. Вступ. Розділ 1. Вивчення основного технологічного обладнання для виймально-навантажувальних робіт. Розділ 2. Дослідження особливостей експлуатації комплексів механізації із використанням мобільних бункерів-перевантажувачів Розділ 3. Дослідження впливу використання мобільних дробарно-перевантажувальних пунктів на склад екскаваторно-автомобільного комплексу. Загальні висновки. Бібліографія.
5. Перелік графічного (демонстраційного) матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): конструктивне виконання відомих бункерів-перевантажувачів та транспортерів; екскаваторно-автомобільний комплекс із включеним до нього бункером-перевантажувачем; зведений план гірничих робіт Першотравневого кар'єру.
6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи, що їх стосуються
 

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта
Розділ 1	Григор'єв Ю.І., доцент кафедри
Розділ 2	Грибенников О.О., заступник начальника ка'єра
Розділ 3	Григор'єв Ю.І., доцент кафедри
7. Дата видачі завдання 19.05.2026 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Збір та аналіз вихідних даних, огляд літератури	24.05.2026	
2	Аналіз сучасного стану виймально-навантажувального обладнання та технологій відкритих гірничих робіт	02.06.2026	
3	Дослідження ефективності використання мобільних дробарно-перевантажувальних пунктів	05.06.2026	
4	Аналіз технологічної схеми Першотравневого кар'єру ПрАТ «Північний ГЗК»	09.06.2026	
5	Дослідження параметрів виймально-навантажувального обладнання Першотравневого кар'єру ПрАТ «Північний ГЗК»	12.06.2026	
6	Формулювання висновків, оформлення пояснювальної записки	16.06.2026	
7	Подання роботи на перевірку та підготовка до захисту	16.06.2026	
8	Підготовка презентаційних матеріалів	18.06.2026	

## ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ	5
ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. ВИВЧЕННЯ ОСНОВНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИЙМАЛЬНО-НАВАНТАЖУВАЛЬНИХ РОБІТ	8
1.1 Аналіз історії розвитку кар'єрної екскаваторної техніки	8
1.2 Аналіз світового ринку мобільних бункерних установок	17
1.3 Огляд технічних засобів переміщення перевантажувачів	27
РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЕКСПЛУАТАЦІЇ КОМПЛЕКСІВ МЕХАНІЗАЦІЇ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ МОБІЛЬНИХ БУНКЕРІВ-ПЕРЕВАНТАЖУВАЧІВ	30
2.1. Аналіз технологічної схеми експлуатації мобільних дробарно-перевантажувальних комплексів	32
2.2. Вивчення можливостей автоматизації роботи мобільних дробарно-перевантажувальних комплексів	42
РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВИКОРИСТАННЯ МОБІЛЬНИХ ДРОБАРНО-ПЕРЕВАНТАЖУВАЛЬНИХ ПУНКТИВ НА СКЛАД ЕКСКАВАТОРНО-АВТОМОБІЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ	48
ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ	56
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	59

## АНОТАЦІЯ

Потніченко О.М. Використання мобільних дробарно-перевантажувальних пунктів для підвищення ефективності виймально-навантажувальних робіт. Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавр зі спеціальності 184 Гірництво, ОПП «Відкрита розробка родовищ» – ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», Запоріжжя, 2026.

**Мета роботи** – підвищення ефективності виймально-навантажувальних робіт за рахунок використання мобільних бункерів-перевантажувачів.

**Об'єкт дослідження** – процеси виймально-навантажувальних і транспортних робіт глибоких кар'єрів.

**Предмет дослідження** – параметри екскаваторно-автомобільного комплексу глибоких кар'єрів.

### **Зміст роботи:**

У першому розділі вивчено основне технологічне обладнання для виймально-навантажувальних робіт: екскаваторна техніка, мобільні бункерні установки та гусеничні транспортери.

У другому розділі досліджено особливості експлуатації комплексів механізації із використанням мобільних бункерів-перевантажувачів.

У третьому розділі оцінено вплив використання мобільних дробарно-перевантажувальних пунктів на склад екскаваторно-автомобільного комплексу

**Ключові слова:** мобільний дробарно-перевантажувальний комплекс; виймально-навантажувальні роботи, екскаватор, автосамоскид, екскаваторно-автомобільний комплекс.

## ВСТУП

Сучасний стан відкритих гірничих робіт у Криворізькому залізорудному басейні характеризується суттєвим ускладненням гірничо-геологічних та технічних умов експлуатації родовищ. Тривала розробка залізорудних кар'єрів призвела до значного збільшення глибини ведення гірничих робіт, яка на багатьох підприємствах регіону вже переступила відмітку у триста-чотириста метрів і стрімко наближається до кінцевих меж. Глибокі кар'єри стикаються з постійним переміщенням робочих зон углиб та звуженням придонних просторів. Це, у свою чергу, викликає динамічне збільшення відстані транспортування гірничої маси з нижніх горизонтів на денну поверхню. Традиційні логістичні схеми, що десятиліттями задовольняли потреби виробництва, сьогодні працюють на межі своїх технічних та економічних можливостей, оскільки постійне подовження транспортних комунікацій прямо пропорційно збільшує витрати на видобуток кожної тонни сировини.

На тлі цих масштабних змін виникає низка гострих проблем безпосередньо у ланці виймально-навантажувальних робіт, які виконуються у вибоях кар'єрів. Основним викликом є неузгодженість роботи екскаваторного парку та кар'єрного автотранспорту. Через значну глибину та велике транспортне плече великовантажні самоскиди тривалий час перебувають у дорозі, що призводить до циклічних простоїв екскаваторів в очікуванні навантаження. З іншого боку, скупчення техніки на обмежених ділянках придонних горизонтів знижує безпеку та загальну продуктивність робіт. Використання виключно автомобільного транспорту для доставки руди та розкриву на верхні горизонти за умов глибоких кар'єрів супроводжується

колосальними витратами на дизельне паливо та прискореним зносом дорогих великогабаритних шин.

Саме тому виникає гостра потреба в оптимізації технологічних потоків безпосередньо у межах робочої зони кар'єру, що й обумовлює актуальність теми цього дослідження. Вдосконалення циклічно-поточної технології із застосуванням мобільних дробарно-перевантажувальних пунктів дозволяє кардинально переглянути підхід до організації виймально-навантажувального комплексу. Перенесення процесу дроблення та перевантаження гірничої маси безпосередньо до робочого вибою або на проміжні горизонти дає можливість значно скоротити відстань роботи кар'єрних самоскидів, обмеживши їх функцію коротким плечем доставки від екскаватора до мобільного пункту. Подальше транспортування подрібненої руди на поверхню за допомогою конвеєрного транспорту забезпечує безперервність потоку, знижує енергоємність виробництва та мінімізує залежність підприємства від паливних ресурсів.

## **РОЗДІЛ 1. ВИВЧЕННЯ ОСНОВНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИЙМАЛЬНО-НАВАНТАЖУВАЛЬНИХ РОБІТ**

### **1.1. Аналіз історії розвитку кар'єрної екскаваторної техніки**

Сучасна практика відкритої розробки глибоких родовищ базується на експлуатації різноманітних екскаваторно-автомобільних комплексів. Стрімке розширення модельного ряду виймально-навантажувальних машин стало головним маркером новітнього етапу розвитку цього сегмента гірничого обладнання [1-4].

Глобальний ринок важкого машинобудування зорієнтований на створення інтегрованих технологічних ланцюгів. Через це наочно простежується тенденція до злиття та поглинання між підприємствами, що випускають кар'єрні виймальні машини, та заводами-виробниками великовантажного автотранспорту.

Німецький машинобудівний концерн Liebherr суттєво диверсифікував свій портфель за рахунок придбання американської фірми Wiseda, яка володіла правами на відому серію самоскидів King of the Lode.

Японські гіганти Komatsu та Hitachi забезпечили собі міцні позиції на світовому ринку завдяки злиттю з компаніями Mannesmann Demag та Euclid відповідно (зазначимо, що бренд Euclid до цього перебував у власності шведської корпорації Volvo). Ще до цих масштабних злиття та поглинання менеджмент Komatsu встановив контроль над структурою Haulpak Dresser. Попри це, японська компанія продовжує самостійне виробництво кар'єрних самоскидів серій HD-1200 (корисна вантажопідйомність 120 т), HD-1200M (136 т) та HD-1600 (160 т).

Американська компанія Unit Rig поглинула свого конкурента — фірму Dart (США), ліквідувавши дублювання аналогічних класів автосамоскидів у межах спільного виробництва. Водночас британська корпорація Terex, розвиваючи власне потужне виробництво

технологічного транспорту, наразі повністю контролює активи згаданої Unit Rig.

Еволюційний перехід від найпростіших парових пристроїв до сучасних високопродуктивних комплексів тривав понад два століття. Витоки механізації екскаваційних робіт сягають кінця XVIII століття: у 1796 році в Англії зусиллями винахідників Грімшоу (із Боултона) та Уатта (із Сандерленда) було запущено в роботу першу парове судно — «ложкову драгу».

Значно пізніше, у 1995 році, світова гірнича спільнота відзначила 160-річний ювілей від дня створення першого наземного одноковшового канатного екскаватора на залізничному ході з паровим приводом. Цей історичний прототип розробив американський інженер Вільям Сміт Отіс, який працював у партнерстві з фірмою Carmichael and Fairbanks на підрядних об'єктах у Філадельфії (США) [5].

Значна частина провідних галузевих спеціалістів констатує, що сучасні мехлопати з канатним приводом практично досягли межі свого конструктивного вдосконалення, а резерви для їхньої подальшої модернізації можна вважати вичерпаними. У зв'язку з цим глобальний ринок гірничого машинобудування, починаючи з середини вісімдесятих років минулого століття, переорієнтувався на пріоритетне виробництво гідравлічних кар'єрних екскаваторів. Аналіз світового та вітчизняного досвіду ведення відкритих гірничих робіт за останні два десятиліття чітко засвідчує стійку тенденцію до інтенсивного витіснення застарілих канатних моделей. Натомість суттєво зростає попит на високопродуктивні гідравлічні одноківшеві машини, які стають базовим типом обладнання під час виконання виїмково-навантажувальних робіт у кар'єрному просторі.

Еволюція цього сегмента техніки розпочалася наприкінці сорокових років, коли італійські інженери брати Брунері створили перший прототип екскаватора з гідравлічним приводом. Вже протягом

наступного десятиліття серійне виробництво таких машин успішно налагодили європейські машинобудівні заводи Лібхерр, Демаг та Атлас, а також американська компанія Warner та Swayse. Японські корпорації, які наразі контролюють значну частку світового ринку, на початковому етапі розгортали власні потужності за ліцензіями провідних фірм США та Європи. Характерним прикладом такої інтеграції є компанія Сумітомо, яка спершу уклала стратегічну партнерську угоду з американським виробником Link-Belt, а згодом повністю викупила його активи. Певним винятком у цьому процесі стала корпорація Хітачі, яка від самого початку відмовилася від запозичення чужих технологій і досі утримує лідерські позиції, спираючись виключно на експлуатацію та розвиток екскаваторів власної оригінальної конструкції [6].

Основні техніко-експлуатаційні параметри та характеристики сучасних надпотужних гідравлічних кар'єрних екскаваторів від ключових світових брендів систематизовано та зведено у таблиці 1.1.

Для інтенсифікації виймальних робіт у складних просторових умовах глибоких кар'єрів суттєвий потенціал має кар'єрний гідравлічний екскаватор серії D1000 у модифікації прямої лопати від норвезької машинобудівної компанії Broyt International AS. Проектні рішення цієї виймально-навантажувальної машини дозволили досягти стабільної експлуатаційної продуктивності на рівні тисячі тонн за годину роботи. Високі параметри копання та раціональна місткість робочого органу зумовлюють доцільність інтеграції гусеничної версії цього автомата до складу виймальних комплексів глибоких кар'єрних полів. Унікальна кінематична схема та змінена геометрія робочого обладнання забезпечили зміщення вектора сили відштовхування корпусу від вибою, що суттєво підвищило загальну стійкість екскаватора під час чергового циклу черпання масиву [5].

Таблиця 1.1 - Основні техніко-експлуатаційні параметри та характеристики сучасних гідравлічних екскаваторів

Фірма	Модель	Місткість ковша, м <sup>3</sup>	Потужність, кВт	Маса, т
Демаг Комацу (ФРГ, Японія)	H95	6,0-6,5	373	100
	H135S	9,5-10,4	545	140
	H185S	13-14	746	226
	H285S	17,3-19	1250	335
	H455S	25	1680	490
	H485S/SP	33/35	2200/2940	650/685
P&H (США)	1200	8,3-13,8	645	160
	1550	12,2	820	207,7
	2250A	20,6	1752	336
Хітачи (Японія)	EX1100	5,6-6,3	434	105
	EX1800-3	10,3-14,5	686	175
	EX2500	13,9	Н.д.	220
	EX3500	18	1312	335
	EX5000	Н.д.	Н.д.	500
Кобелко (Японія)	SK975	6,0-10,8	588	132
	SMEC4500	22	Н.д.	416
Лібхерр (ФРГ)	R984	5-9	431	98,1
	R992	7-12	575	142,2
	R994	10,5-18	840	221
	R995	14-20	1200	330
	R996	28	2240	575
О&К (ФРГ)	RH40D	5,0-7,6	365	93
	RH75C	6,5-10,5	417	122,6
	RH90C	8-14	630	156
	RH120C	10,6-18	846	218,5
	RH170	18-20	1400	345
	RH200	23-26	1800	472
	RH400	34,2-46	2500	725
Катерпіллер (США)	5130FS	8,5-10,5	563	170
	5230FS	14-17	1175	315
	5430	Н.д.	1492	450
Комацу (Японія)	PC 1000-1	5,5-7	405	98
	PC 1600-1	8-13	604	162
Бройт (Норвегія)	D1000	5,3	266	65
Мицубісі (Японія)	MS 1200	Н.д.	Н.д.	105
	MS 1600	7,5-12	684	165

Базова комплектація передбачає встановлення дванадцятилітрового дизельного двигуна Volvo, оснащеного системою турбонаддуву, хоча конструкція дозволяє безперешкодно інтегрувати

аналогічні за характеристиками силові установки виробництва компаній Cummins або Caterpillar. Оновлена гідравлічна система, побудована на базі високонапірних насосних агрегатів Rexroth, дозволила не лише мінімізувати тривалість робочого циклу, а й забезпечити суттєве зростання напірного зусилля на ріжучій кромці ковша. Споживачеві машина пропонується у двох варіантах ходової частини, що включає традиційний гусеничний або спеціальний колісний хід типу V [5].

Масштабна модернізація гірничотехнічного комплексу була реалізована на глибокому кар'єрі компанії Раунд Маунтін Рок, який має довжину чотири з половиною кілометри за кінцевої проектної глибини виробленого простору сімсот шістдесят метрів. Головною метою цього технічного переозброєння стало нарощування добової продуктивності підприємства до відмітки двісті тисяч тонн гірничої маси. У межах опціонального оновлення виймально-навантажувальної ланки чотири застарілі гідравлічні машини замінили на три потужні канатні екскаватори P&H 2300, оснащені ковшами місткістю понад двадцять один кубічний метр, та один важкий навантажувач Caterpillar із місткістю ковша близько сімнадцяти з половиною кубічних метрів. Разом із цим кардинальної трансформації зазнав і технологічний автотранспорт: замість десяти автосамоскидів вантажопідйомністю вісімдесят п'ять тонн на вивізні маршрути вивели сімнадцять одиниць стоп'ятдесятитонних та одинадцять одиниць стодев'яностотонних машин виробництва Caterpillar. Довгостроковий моніторинг роботи техніки показав, що окремі стоп'ятдесятитонні самоскиди, які безперервно експлуатуються ще з кінця вісімдесятих років, мають сумарне напрацювання понад сімдесят тисяч мотогодин, зберігаючи при цьому надзвичайно високий коефіцієнт технічної готовності на рівні нуля цілих і дев'яноста трьох сотих. Структурний аналіз витрат свідчить, що за середньої вартості експлуатації однієї машини сто

чотири долари за годину на ремонтні та відновлювальні роботи припадає лише чверть від загальної суми видатків. Висока надійність підтверджується тривалим міжремонтним ресурсом основних вузлів: робота циліндрів підйому кузова розрахована щонайменше на двадцять чотири тисячі годин, приводних насосів та диференціала — на двадцять тисяч годин, а дизельного двигуна, трансмісійної системи та гальмівних механізмів — не менше ніж на п'ятнадцять тисяч годин [6].

Сучасні тенденції розвитку кар'єрного транспорту великої та надвеликої вантажопідйомності відображають прагнення провідних машинобудівних гігантів до постійного нарощування потужності рухомого складу. Так, компанія Komatsu Mining Systems постачає на ринок двоосьові автосамоскиди моделі Холпак 930Е, здатні транспортувати двісті вісімдесят тонн гірничої маси, тоді як спільне підприємство Юклід-Хітачі випускає важку машину марки R 260 із корисною вантажопідйомністю двісті шістьдесят дві тонни. У цьому ж класі бренд Unit Rig уже тривалий час здійснює стабільне серійне виробництво автосамоскидів MT-4400 вантажопідйомністю двісті тричять п'ять тонн. Відомий німецький виробник Liebherr Mining Truck, у портфелі якого вже є моделі KL-2420 вантажопідйомністю до ста дев'яноста чотирьох тонн та KL-2450 вантажопідйомністю двісті вісімнадцять тонн із надійною дизель-електричною трансмісією, розробив надважку модель KL-2640 для перевезення трьохсот восьми тонн вантажу [6]. Разом із нарощуванням вантажопідйомності тривають пошуки нових конструктивних рішень для оптимізації металоємності техніки. Зокрема, на основі інноваційних концептуальних ідей фахівців компанії Р&Н наразі завершується створення кар'єрного автосамоскида принципово нової архітектури. Головною особливістю цієї перспективної машини є суттєве зниження коефіцієнта тари до нуля цілих п'ятдесяти семи сотих, що є

технологічним проривом порівняно з традиційними галузевими показниками, які зазвичай коливаються в межах від нуля цілих сімдесяти семи сотих до нуля цілих вісімдесяти трьох сотих [5].

Інтенсифікація відкритих гірничих робіт на потужних кар'єрах на початку дев'яностих років минулого століття зумовила перетворення великовантажних машин двохсоттонного класу на загальноприйнятий галузевий стандарт. Проте перші успішні кроки у розробці двовісної техніки такого масштабу були зроблені значно раніше, коли компанія Wiseda ще у 1982 році збрала діючий прототип подібного надважкого самоскида. Цей винахід суттєво випередив свій час, адже відома модель Холпак 830Е з'явилася на промислових майданчиках лише у 1988 році, а згодом американський концерн Caterpillar представив свій популярний 218-тонний кар'єрний самоскид моделі 793С, що остаточно закріпило позиції цього класу вантажопідйомності у світовій гірничій практиці.

Розвиток силових установок для надважкого кар'єрного транспорту демонструє постійне нарощування енергетичних показників, що дозволяє задовольняти потреби глибоких кар'єрів. Якщо наприкінці вісімдесятих років американські агрегати від Cummins та Detroit Diesel обмежувалися потужністю в межах 1342–1491 кВт, то згодом виробники здійснили значний технологічний стрибок. Корпорація Caterpillar розробила двигун моделі 3516 потужністю 1611 кВт спеціально для інтеграції в самоскиди серії 793, обладнані механічною трансмісією. Паралельно з цим німецька компанія MTU успішно постачала восьми- та дванадцятициліндрові двигуни для автосамоскидів Холпак виробництва американської фірми Wabco, які зачепилися на масштабних гірничих роботах кар'єру Маунт Ньюмен. За індивідуальним технологічним замовленням фірми Комацу Холпак фахівці MTU згодом модернізували свої силові агрегати, довівши їхню потужність до 2000 кВт для комплектації важких автосамоскидів моделі

930E. На сучасному етапі виробництво подібних високопотужних двигунів зосереджене в США, де залучені спільні потужності компанії Detroit Diesel. Конкурентна боротьба на ринку енергетичного обладнання також призвела до створення компанією Камінз у кооперації з фінським машинобудівним концерном Wartsila надпотужного двигуна на 2386 кВт, а поточні інженерні розробки цих партнерів спрямовані на запуск у виробництво універсального силового агрегату потужністю 2685 кВт для потреб локомотивного та автомобільного парків гірничих підприємств. Водночас інженери фірми Detroit Diesel також збільшили можливості своїх двадцятициліндрових двигунів, зафіксувавши їхню граничну потужність на позначці 1864 кВт [5].

Важливим елементом забезпечення працездатності екскаваторно-автомобільних комплексів є колісна база, оскільки капітальні витрати на великогабаритні шини розміром 40x57 для найбільших самоскидів можуть досягати двадцяти п'яти тисяч доларів за одиницю. Радикальне розв'язання проблеми зносу та продуктивності запропонувала французька фірма Michelin, яка створила найбільшу у світі безкамерну радіальну шину розміром 55x80. Ця інноваційна розробка призначалася для комплектації важких навантажувачів Caterpillar 994 та американських машин Le Tourneau серії L [5]. Завдяки високим міцнісним характеристикам нових радіальних шин гірничі підприємства отримали можливість повністю відмовитися від використання громіздких захисних сталевих ланцюгів на колесах. Це не лише знизило операційні витрати на обслуговування, а й дозволило навантажувальному обладнанню реалізувати свій максимальний кінематичний потенціал та досягти граничних показників експлуатаційної продуктивності у вибої.

У сучасній гірничій науці особлива увага приділяється інтеграції безпілотних технологій у процеси відкритої розробки родовищ, що

детально відображено в досвіді проектування та практичного застосування роботизованих транспортних систем без залучення водіїв. Перші експериментальні дослідження в цьому напрямку відбулися ще наприкінці вісімдесятих років на базі кар'єрного самоскида Caterpillar 785, а у 1994 році тестові випробування охопили вже дві автономні машини моделі 777. Аналогічні вишукування проводилися і японськими машинобудівниками: у 1992 році в умовах реального кар'єрного простору пройшов тривалу перевірку самоскид HD-785 від Komatsu вантажопідйомністю сімдесят сім тонн. У довгостроковій перспективі, в міру вдосконалення алгоритмів машинного зору, систем автоматизованого розпізнавання перешкод та високоточного супутного геопозиціонування, безпілотний рухомий склад стане ключовим елементом підвищення ефективності та безпеки функціонування екскаваторно-автомобільних комплексів глибоких кар'єрів [5].

Сучасний етап розвитку світової практики відкритих гірничих робіт характеризується інтенсивною еволюцією виймально-навантажувального обладнання, що проявляється у стрімкому нарощуванні місткості робочих органів гідравлічних екскаваторів. Для забезпечення раціональних параметрів сумісної експлуатації у складі єдиних технологічних ланцюгів машинобудівні заводи розгортають виробництво або проєктують перспективні гідроекскаватори з об'ємом ковша від 35 до 45 кубічних метрів. Необхідність створення таких надпотужних виймальних машин безпосередньо детермінована чітко вираженою тенденцією закордонних підприємств до переходу на двовісні кар'єрні автосамоскиди, корисна вантажопідйомність яких перевищує 200 тонн. Наразі практично всі провідні світові компанії, які спеціалізуються на випуску кар'єрного технологічного транспорту, вже освоїли виробництво або офіційно оголосили про швидку появу

моделей вантажопідйомністю від 200 до 300 тонн, передбачаючи при цьому подальшу розробку рухомого складу ще вищого класу.

Якщо протягом попередніх періодів функціонування екскаваторно-автомобільних комплексів як збиральний транспорт переважно залучалися машини вантажопідйомністю від 50 до 218 тонн, то сьогодні стає очевидною неминучість інтеграції значно потужніших одиниць для обслуговування магістральних вантажопотоків глибоких кар'єрів. У контексті цих інфраструктурних трансформацій вагоме прийде значення має великовантажний транспорт білоруського виробництва, зокрема самоскиди моделі БелАЗ-7550 з номінальними показниками вантажопідйомності 250–280 тонн, які мають солідне технологічне майбутнє. Поступове переведення гірничих підприємств на подібні надважкі машини дозволить суттєво підвищити пропускну здатність транспортних комунікацій та оптимізувати питомі показники ефективності видобутку мінеральної сировини.

## **1.2. Аналіз світового ринку мобільних бункерних установок**

Забезпечення безперервності навантажувальних операцій при експлуатації автомобільного транспорту на відкритих гірничих робах досягається завдяки інтеграції в технологічні ланцюги бункерів-перевантажувачів різноманітних конструктивних модифікацій. Одним із перспективних технічних рішень у цьому напрямку є запатентований самохідний бункер-дозатор, призначений для оптимізації взаємодії виймальних та транспортних машин (рис. 1.1 – 1.3). Головною конструктивною особливістю цього винаходу є можливість паралельного порційного завантаження одразу двох одиниць автотранспорту, що повністю виключає ризик аварійного переповнення

акумулюючих ємностей. Інженерне вирішення цього завдання базується на розміщенні над накопичувальними ємностями спеціального завантажувального пристрою, виконаного у вигляді воронки, багатогранна донна частина якої переходить у випускні лотки.

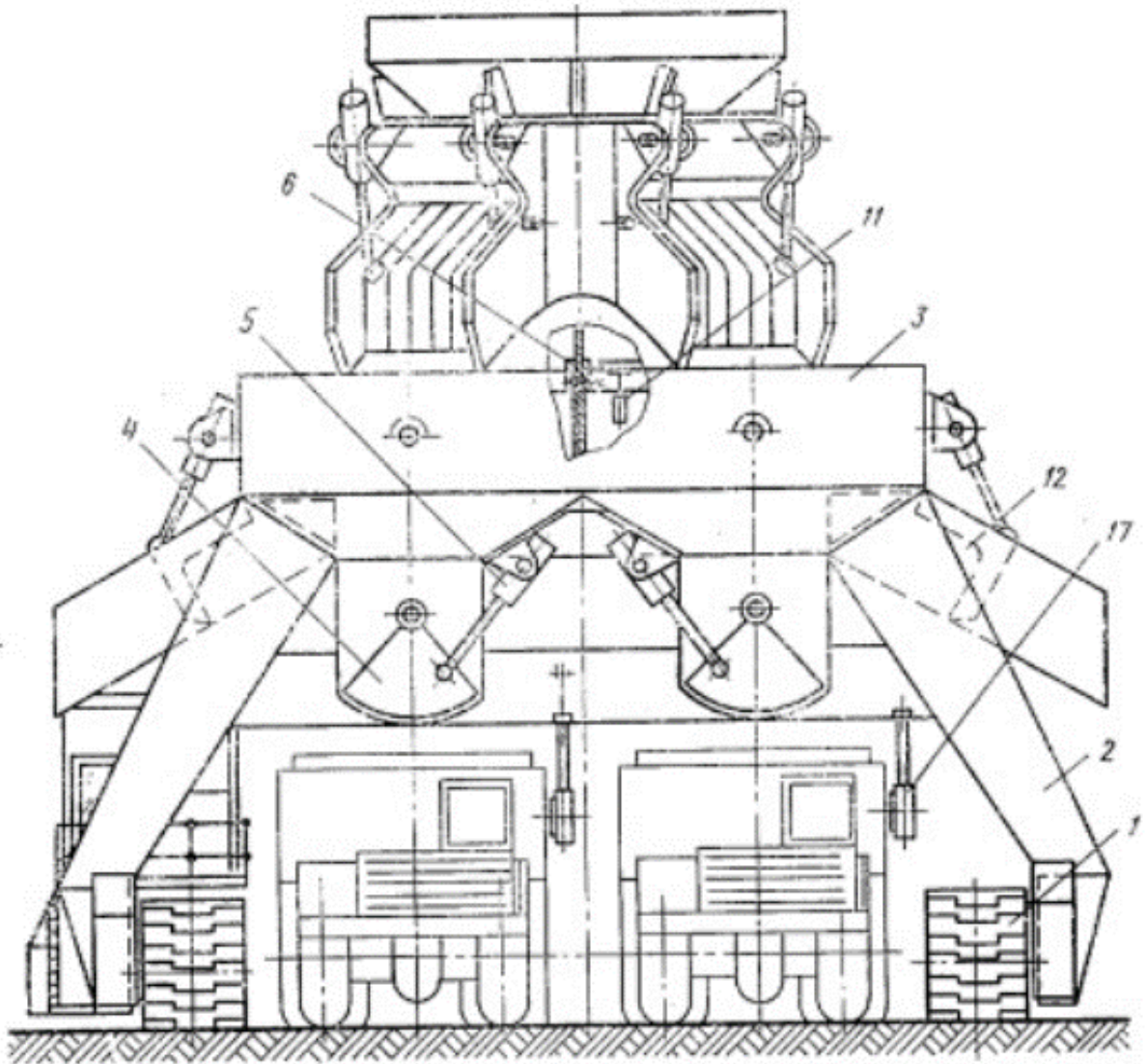


Рис. 1.1 – Конструктивне виконання бункера-дозатора: 1 – візок самохідного типу; 2 – портална рама; 3 – накопичувальні бункери; 4, 8 – запірні пристрої (затвори); 5, 9 – механізми приводу затворів; 6 – опорні елементи; 7 – вузли випуску гірничої маси; 10 – завантажувальна воронка; 11 – сенсор контролю рівня; 12 – бокові випускні отвори; 13 – бокові затвори; 14 – приводи бокових затворів; 17 – система керування (пульт оператора).

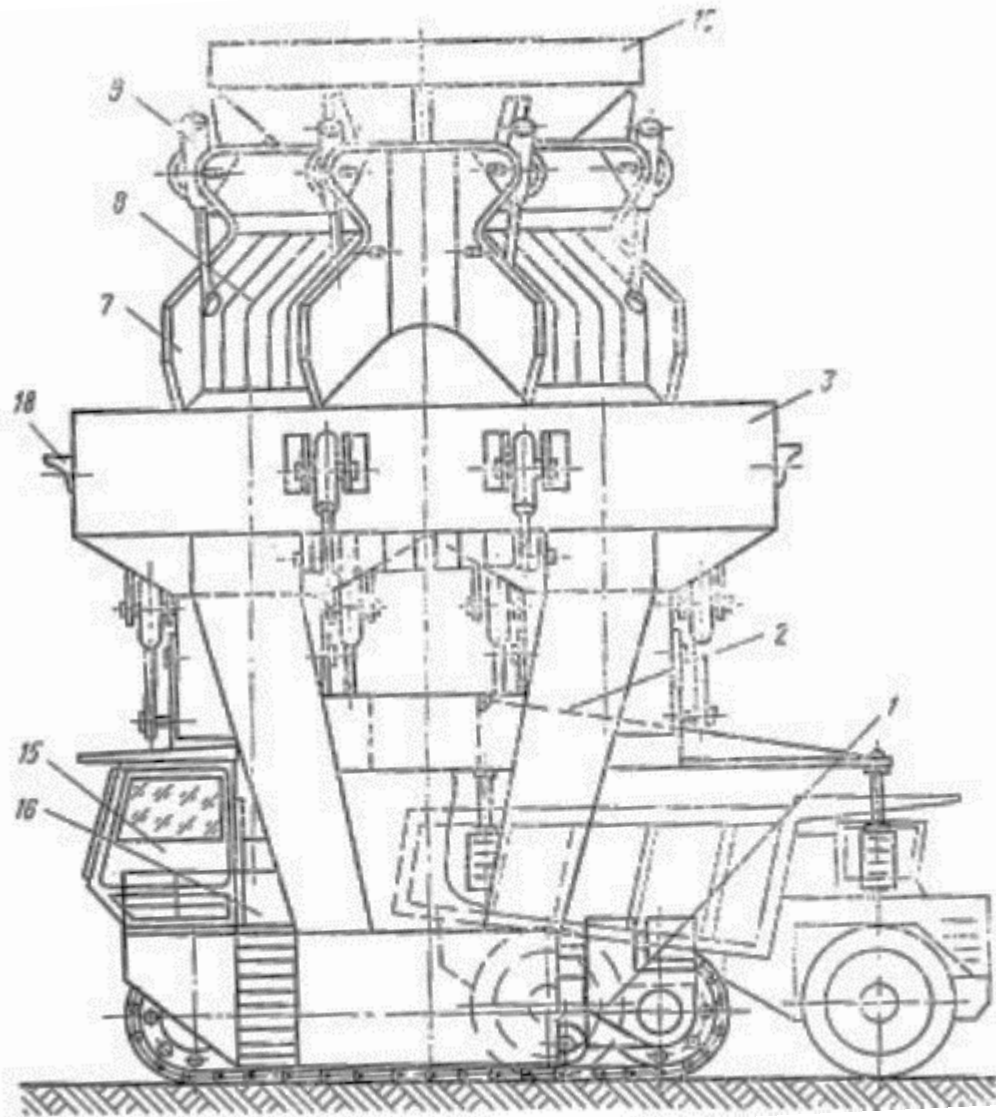


Рис. 1.2 – Бокова проєкція бункера-дозатора: 8 – запірні елементи (затвори); 15 – робоче місце оператора (кабіна); 16 – вузол приводу (приводна станція); 18 – сигнальні світлові пристрої (світлофори).

Ці лотки обладнані автоматизованими затворами із власними приводами, кількість яких відповідає кількості попарно скомпонованих акумулюючих ємностей, а встановлені всередині датчики контролю рівня масиву безпосередньо пов'язані з механізмами керування зазначеними затворами.

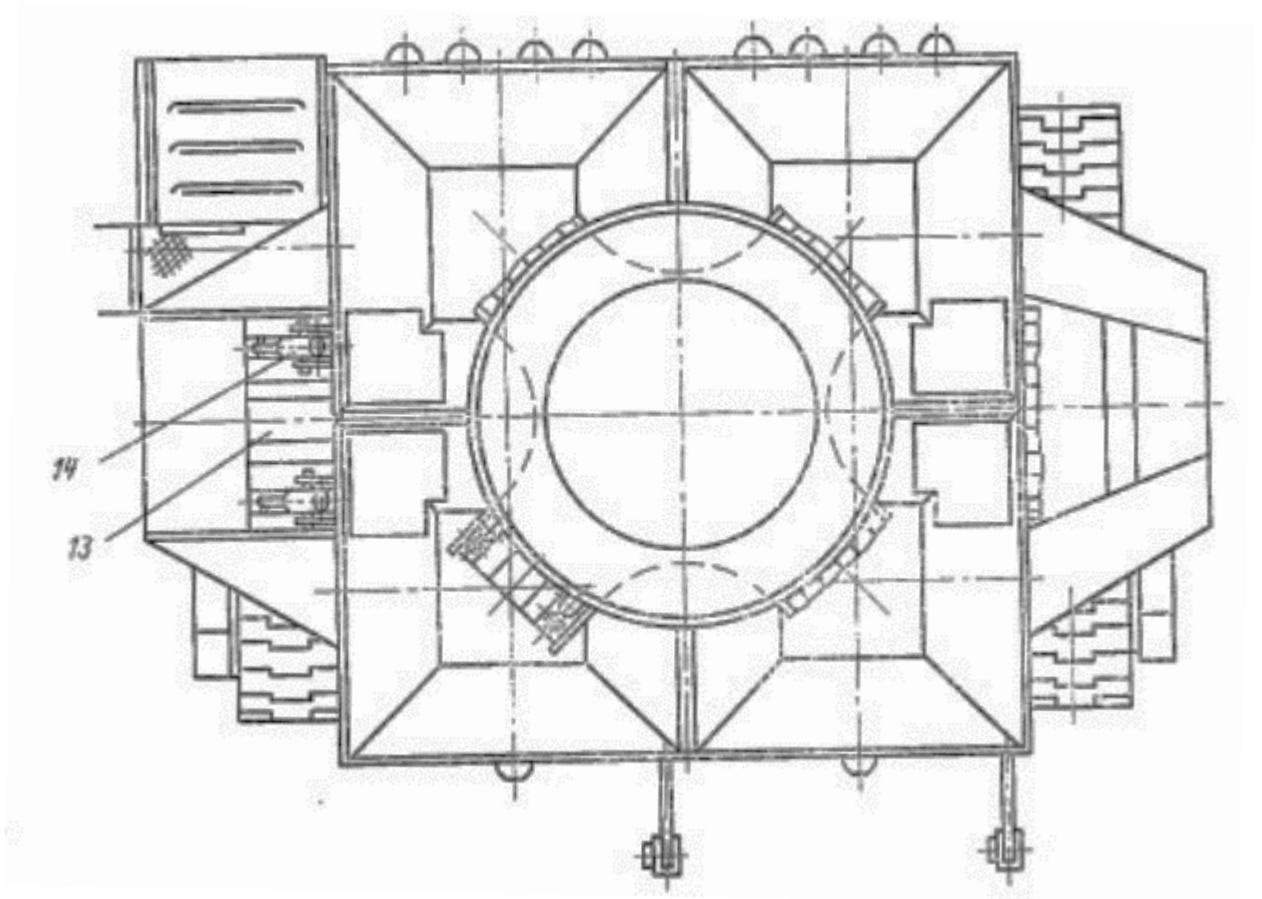


Рис. 1.3 – План бункера-дозатора

Просторова компоновка агрегату базується на несучому порталі, який спирається на ходові самохідні візки та безпосередньо формується стінками бункерних ємностей. Кожна така ємність оснащена індивідуальним донним затвором із приводом для видачі породи у кузов машини. Верхній ярус споруди займає приймальна воронка та розподільні пристрої, змонтовані на спеціальних опорах і забезпечені випускними пусками з автономними затворами та механізованими приводами. Для підвищення гнучкості логістичної схеми та можливості скидання породи вбік від осі руху порталу конструкцією передбачені додаткові бічні пуски з відповідними запірними вузлами та індивідуальними приводними блоками. Повноцінне функціонування комплексу забезпечується наявністю вбудованих кабін оператора, центральної приводної станції, загального пульта керування та системи сигнальних світлофорів, а

безперервний моніторинг заповнення внутрішнього простору відсіків здійснюється за допомогою системи чутливих датчиків рівня.

Технологічний алгоритм роботи цього бункера-дозатора реалізується через послідовні цикли акумуляції та видачі гірничої маси. У вихідному положенні донні затвори закриті, а сировина надходить через верхню приймальну воронку та відкритий верхній затвор безпосередньо у дозуючі ємності. Як тільки рівень насипного вантажу в одному з відсіків досягає критичної проектної позначки, відповідний датчик рівня автоматично подає імпульс на привід верхнього затвора, який миттєво перекриває подальший рух матеріалу. За аналогічною схемою відбувається циклічне наповнення сусідніх ємностей апарату. Навантаження автосамоскидів здійснюється після їхнього заїзду у внутрішній просторовий контур порталу під випускні отвори, де водій за допомогою дистанційного пульта активує привід нижнього затвора. Після повного спорожнення відсіку та заповнення кузова транспортного засобу затвор закривається, причому архітектура комплексу дозволяє виконувати ці операції одночасно для двох машин.

У разі виникнення непередбачуваних затримок на транспортній лінії та короткочасного відключення автосамоскидів із робочого циклу, процес не зупиняється завдяки можливості відкриття бічних затворів для тимчасового перенаправлення потоку вантажу. Оперативне регулювання руху автотранспорту в зоні навантаження забезпечується світлофорною сигналізацією, яка візуально інформує машиністів про стан заповнення та доступність кожного конкретного відсіку. Окрім суто логістичних переваг, одночасне розгортання кількох подібних самохідних бункерів-дозаторів на робочих горизонтах глибокого кар'єру створює сприятливі умови для ведення ефективної селективної розробки складних зон родовища та роздільного відвантаження різних сортів мінеральної сировини.

У сучасній практиці відкритих гірничих робіт відоме альтернативне конструктивне вирішення мобільного перевантажувального комплексу, узгодженого за продуктивністю з виймально-навантажувальними агрегатами або кар'єрними комбайнами, які здійснюють відвантаження породи у великовантажний автотранспорт (рис. 1.4).

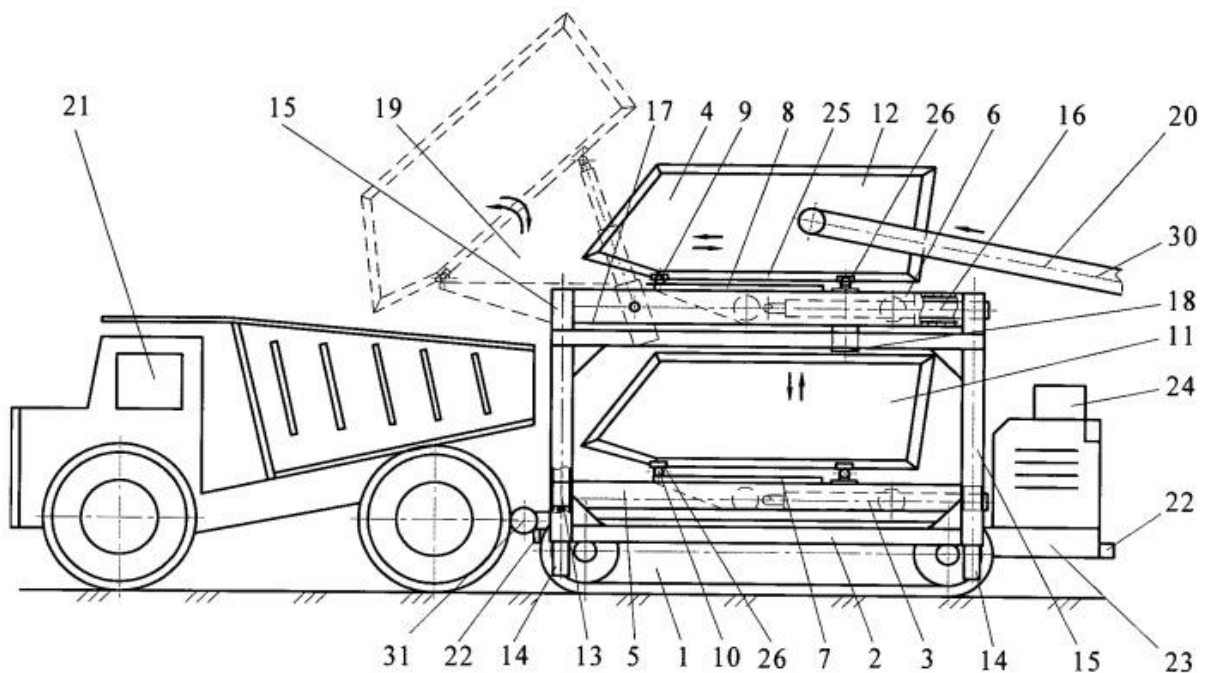


Рис. 1.4 – Вид зліва на перевантажувальний комплекс

Технологічна сутність цього методу полягає у забезпеченні автономного просторового орієнтування накопичувальних місткостей, яке реалізується безпосередньо під час відбійки та навантаження масиву корисних копалин виймальною технікою. При цьому автоматизація керування дозволяє скоординувати положення завантажувального комплексу відносно ковша екскаватора, тоді як маневрування автосамоскида узгоджується безпосередньо з геометрією самого перевантажувача. Кінематика автономного переміщення акумулюючих місткостей забезпечується вертикальним зсуванням їхніх опорних рам та горизонтальним зсуванням кареток за

допомогою інтегрованих механізмів вертикального та горизонтального переміщення. Для забезпечення перекидання матеріалу бункери шарнірно з'єднані з каретками, що надає їм можливість кутового повороту у вертикальній площині під дією гідравлічних телескопічних приводів. Безпечно та точно траєкторне переміщення рам під час їхнього руху досягається завдяки постійній взаємодії опор ковзання з жорсткими вертикальними напрямними конструкції [7].

Робочий цикл системи починається у вибої, де екскаватор 20 здійснює послідовну виїмку та переміщення підірваної гірської маси у бункер 11 перевантажувального комплексу 1. На старті технологічного процесу обидві акумулюючі місткості, включно з бункером 11 та суміжним бункером 12, опущені у своє крайнє нижнє положення. Як тільки об'єм завантаженої породи всередині першого відсіку досягає критичної межі, спеціальні датчики 26, змонтовані безпосередньо на днищі 25, сигналізують про необхідність припинення подачі матеріалу. Автоматизоване просторове позиціонування бункера 11 та бункера 12 виконується без зупинки очисних робіт, які безперервно веде кар'єрний комбайн або екскаватор 20, що оптимізує загальну тривалість операцій комплексу 1. Дистанційне координаційне керування всіма робочими вузлами комплексу 1 здійснюється через інтегровану систему автоматичного управління 24, апаратна частина якої об'єднує мікропроцесор з блоком управління 27, панель управління гідросистемою 28 та автономний електрогенератор 29. Паралельно з цим під навантажувальний контур заднім ходом заїжджає порожній автосамоскид 21. У момент його фізичного контакту з буфером 31 комплексу 1 замикаються контакти датчика 22-23, що слугує автоматичною командою для початку розвантаження акумульованої гірничої маси у кузов транспортного засобу [7].

Поки транспортна ланка готується до прийому вантажу, екскаватор 20 змінює вектор відвантаження і переміщує свій робочий

орган над бункером 12 модуля 4, який у цей момент перебуває у крайній нижній точці, розпочинаючи його наповнення. Одночасно з цим активується підйомний цикл для іншого блоку. Модуль 3, конструктивно утворений рамою бункера 5 та заповненим бункером 11, починає вертикальне сходження за допомогою механізмів вертикального переміщення 14. Плавність та стабільність цього руху забезпечуються опорами ковзання 13, які переміщуються вздовж жорстких вертикальних напрямних 15, інтегрованих у раму модулів 2. Після досягнення рамою бункера модуля 3 своєї верхньої проекційної позначки, вмикається механізм горизонтального переміщення 16. Завдяки цьому каретка 7 бункера 11 висувається в напрямку кузова автосамоскида 21, фіксуючи місткість у горизонтальній площині 17 на безпечній технологічній відстані від борту машини. Наступним кроком за допомогою шарнірного зв'язку 10 з кареткою 8 бункер 11 здійснює поворот у вертикальній площині 19, скидаючи породу вниз. Після завершення очищення кузова автосамоскида 21 порожній бункер 11 повертається у вихідне нижнє положення за зворотною траєкторією. Щойно завершиться циклічне наповнення сусіднього бункера 12, аналогічний алгоритм запускається для модуля 4. Його рама бункера 6 під дією механізмів вертикального переміщення 14 піднімається вгору, ковзаючи опорами 13 по вертикальних напрямних 15 спільної рами модулів 2. У верхній точці каретка 8 бункера 12 за допомогою механізму горизонтального переміщення 16 зміщується латерально для точної орієнтації в горизонтальній площині 17 на необхідній відстані від приймального кузова. Фінальний етап розвантаження забезпечується тим, що через шарнірний зв'язок 9 з кареткою 8 під дією телескопічного механізму повороту 18 місткість нахилається у вертикальній площині 19, оперативно заповнюючи породу наступний під'їхавший автосамоскид 21 [7].

Альтернативна автоматизована перевантажувальна система 1 забезпечує координацію рухомих модулів 2, чий бункери 4 за місткістю відповідають вантажопідйомності автосамоскидів 5 (рис. 1.5). Головна перевага комплексу полягає в автономному просторовому позиціонуванні акумулюючих ємностей, коли розвантаження одного бункера 4 узгоджується з маневрами автосамоскида 5, а наповнення іншого синхронізується з ходом кар'єрного комбайна 13. Цей цикл повністю автоматизований системою управління 9 з автономним електрогенератором 17, яка спирається на датчики позиціонування 10 і 11 нижньої рами 12 та датчики контролю заповнення 14 на днищах 15 бункерів 4. Завдяки аналітичним приладам вихідного конвеєра 39 комбайна 13, при зміні сортових характеристик мінеральної сировини потік матеріалу оперативно перенаправляється у бункер 4 проміжного модуля 19, заздалегідь опущеного в нижнє робоче положення [8-9].

Гравітаційне спорожнення ємностей у кузов автосамоскида 5 виконується телескопічними механізмами повороту 7 через шарнірні зв'язки 8 шляхом розмикання поворотних стінок 20 запірними вузлами 21. Складне просторове переміщення бункерів 4 забезпечують механізми підйому 6 через панель управління гідросистемою 16, які зміщують заповнені відсіки у двох площинах за допомогою шарнірів 32 Х-подібно сполучених приводних 24 та допоміжних тяг 33. Під дією гідроприводів нижні горизонтальні осі 22 зміщують нижні кінці 23 приводних тяг 24, причому їхні опори кочення 25 рухаються вздовж напрямних 26 нижніх рам 12. Водночас верхні кінці 27 тяг 24 через шарніри 28 зсувають верхні горизонтальні осі 29, чий опори кочення 30 плавно ковзають по напрямних 31 верхніх рам 3, а стабілізація всієї траєкторії підйому досягається кутовим поворотом кінців 34 і 35 допоміжних тяг 33 на шарнірах 36 нижніх рам 12 та шарнірах 37 верхніх рам 3 [8-9].

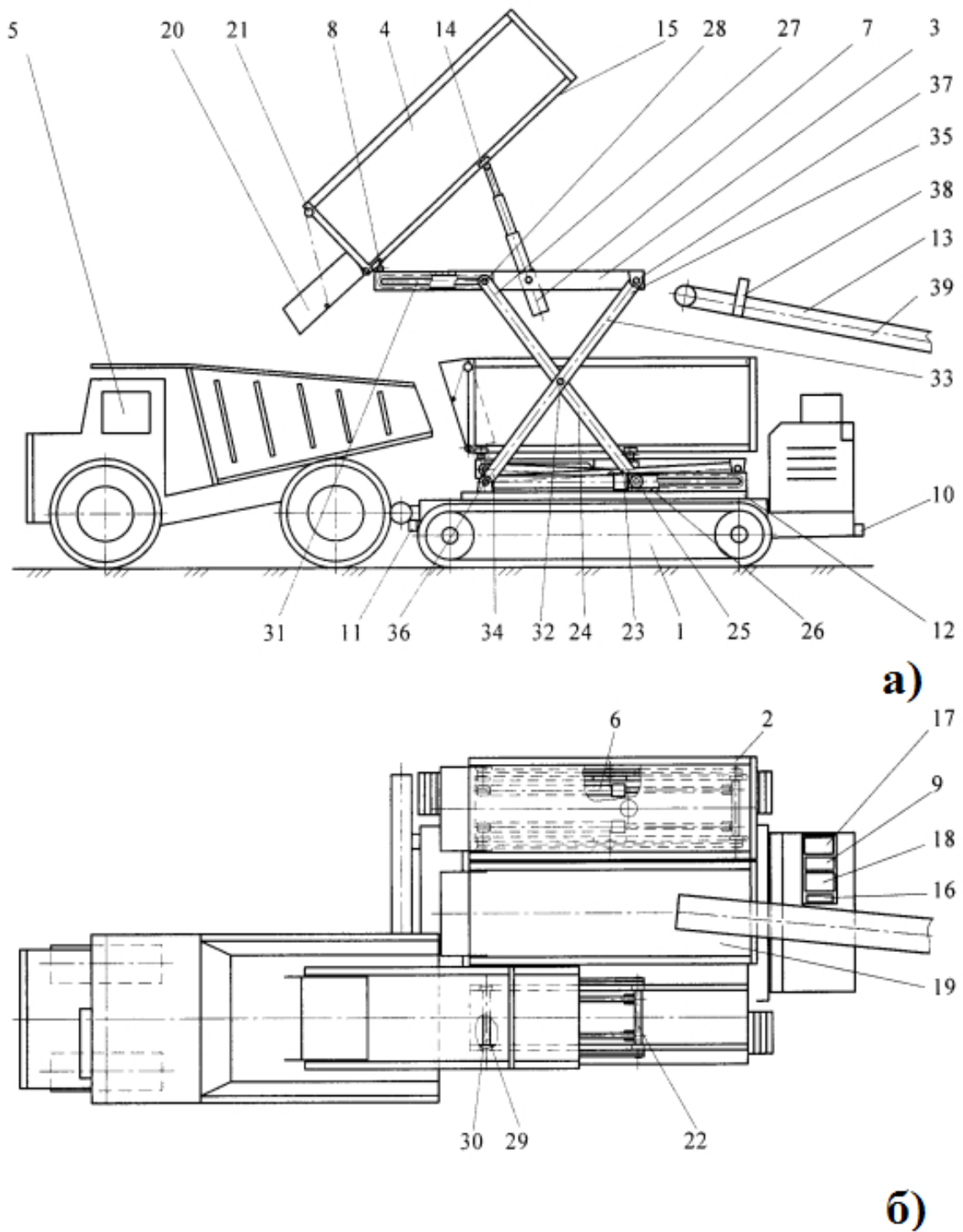


Рис. 1.5 – Перевантажувальний комплекс з перехресними тягами:  
а) вид зліва; б) вид згори

### 1.3 Огляд технічних засобів переміщення перевантажувачів

Найбільш поширеним технологічним рішенням для просторового переміщення великогабаритних бункерних і дробильних установок у межах виробленого простору кар'єрів є залучення самохідних гусеничних транспортерів. Конструктивна схема такої техніки базується на статично збалансованому двогусеничному шасі, що забезпечує рівномірний розподіл маси вантажу на ґрунтову основу кар'єрних доріг. Під час виконання логістичної операції агрегат заїжджає безпосередньо під тримальні опори напівстаціонарної споруди, здійснює її вертикальний підйом за допомогою вбудованих гідросистем і пересуває на новий експлуатаційний майданчик. У цьому сегменті важкого машинобудування значну частку світового ринку контролює німецька фірма Крупп, лінійка гусеничних платформ якої охоплює діапазон вантажопідйомності від 240 до 1000 тонн, включаючи уніфіковані моделі на 240, 400, 550, 700 та 1000 тонн.

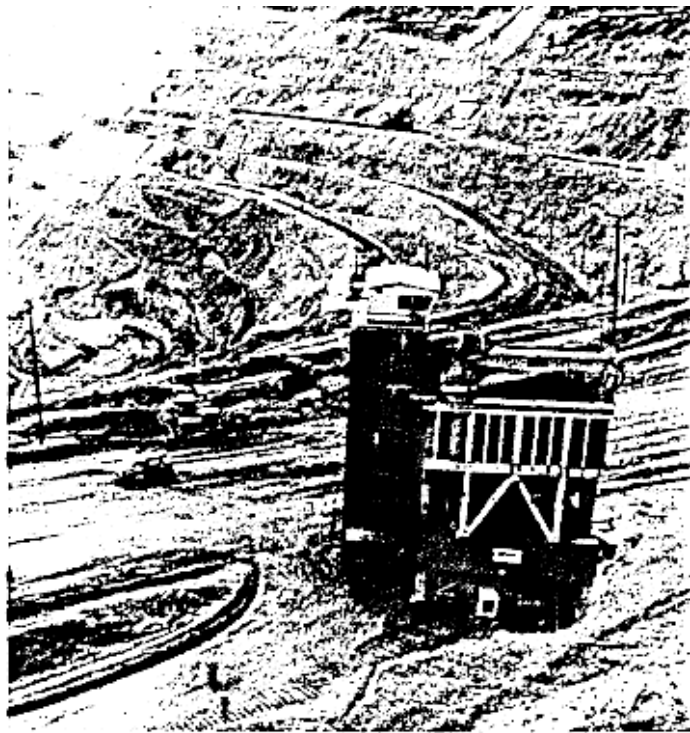
Практичний досвід реалізації великих гірничих проєктів демонструє високу ефективність застосування надважких самохідних платформ на глибоких кар'єрах. Зокрема, під час розробки родовища у проєкті Маунтін Стейтс мінерал ентерпрайзс було задіяно важкий гусеничний транспортер вантажопідйомністю 900 тонн, здатний здійснювати повний розворот на 360 градусів з радіусом повороту, який не перевищує його власну лінійну довжину [8]. Ця машина здатна долати затяжні з'їзди з ухилом до 10% зі швидкістю руху 0,8 кілометра за годину, що дозволяє завершити повну передислокацію всього виймально-перевантажувального комплексу трохи більше ніж за три доби. Подібні двоопорні гусеничні візки виробництва американської компанії Neil F. Lampson, Inc. знайшли активне застосування на відомих світових кар'єрах Бінгем каньйон та Пангуна [9]. При цьому на

папуаському підприємстві через обмежену вантажопідйомність одного візка, яка становить 450 тонн, для успішного транспортування циклічно-потокowego комплексу доводилося вимушено залучати одразу дві самохідні платформи.

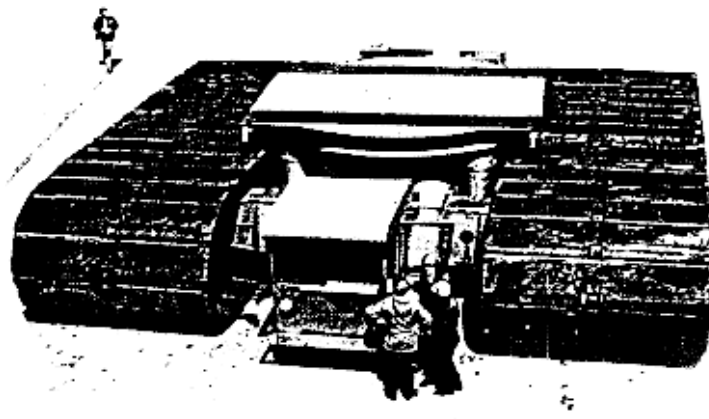
Для американського кар'єру Бінгем каньйон конструкцію платформи суттєво модернізували фахівці німецької фірми Везерхютте, у результаті чого корисна вантажопідйомність важкого візка зросла до 1810 тонн. Оновлена машина отримала унікальну систему інтегрованих гідравлічних домкратів, призначену для автоматичної компенсації кута нахилу і стабілізації положення вантажу під час руху нерівним профілем кар'єрних шляхів. Ефективність цього інженерного рішення підтвердилася під час транспортування технологічного комплексу масою 1250 тонн від складального майданчика до робочої зони кар'єру, що проілюстровано на рисунку 1.6.

Усі логістичні операції на трасі загальною протяжністю 4,5 кілометра, яка характеризувалася складним рельєфом та максимальними ухилами до 12%, були успішно виконані всього за півтори доби.

Геометричні параметри пересувного дробильно-перевантажувального комплексу (ПДПК), розгорнутого у кар'єрному просторі підприємства Пангуна, становлять 58x17,5x20,5 метра при загальній масі конструктивних елементів у 1450 тонн. Виготовлені на австралійських машинобудівних заводах великогабаритні вузли цієї споруди спершу транспортували у вироблений простір за допомогою двох спеціалізованих колісних систем, після чого виконали їх капітальний монтаж та здійснили успішне введення об'єкта в експлуатацію у 1990 році [8].



а)



б)

Рис. 1.6 – Загальний вигляд транспортеру гусеничного:  
а) в експлуатації; б) в очікуванні

Альтернативне логістичне рішення було реалізоване на гірничих роботах кар'єру Айленд Коппер Майн у 1984 році, де для доставки на робочий горизонт аналогічного ПДПК масою понад 900 тонн задіяли унікальний автомобільний трейлер, обладнаний багатоосною колісною базою з 288 коліс [9].

Для забезпечення просторової мобільності напівстаціонарного дробильного устаткування на кар'єрі Еспранза застосовують важку гусеничну платформу з вбудованою гідравлічною системою нівелювання вантажу, енергетичне забезпечення якої покладено на два дизельні двигуни загальною потужністю 880 кВт. При власних габаритах 14x11x3метри цей важкий рухомий агрегат здатний впевнено пересуватися вивізними траншеями з позовжнім ухилом профілю до 12% зі швидкістю 0,8 кілометра за годину, нарощуючи її до 1,6 кілометра за годину на горизонтальних ділянках робочих майданчиків уступів. Подібні інженерні параметри демонструє транспортне забезпечення залізорудного кар'єру Сішен, де корисна вантажопідйомність гусеничного візка долає позначку у тисячу тонн. Спеціалізований транспортер виробництва фірми Koch, задіяний на цьому об'єкті, володіє власною масою 150 тонн, приводом на 250 кВт та широкими двометровими гусеничними стрічками, що дозволяють переміщувати навантажену споруду зі швидкістю до 12 метрів за хвилину. Аналогічний важкий рухомий склад на гусеничному ході з граничною вантажопідйомністю до 1200 тонн постачає на світовий ринок концерн Mann Takraf, тоді як для геотехнічних умов глибокого кар'єру Ескондіда експертами рекомендовано залучення платформ вантажопідйомністю в межах 800–900 тонн.

Узагальнення міжнародного досвіду ведення відкритих гірничих робіт дозволяє констатувати, що спеціалізовані самохідні гусеничні платформи є найбільш поширеним і технологічно виправданим засобом для циклічного перенесення напівстаціонарних перевантажувальних пунктів, хоча в окремих гірничо-геологічних умовах їх ефективно замінюють багатоколісні автомобільні трайлери. Зважаючи на повну відсутність подібного класу великовагового транспортного обладнання на вітчизняних гірничодобувних підприємствах, критично актуальним стає науково-практичний пошук

альтернативних інженерних рішень. Доцільним вектором досліджень у цьому напрямку є розробка методик переміщення важких блоків ПДПК шляхом їх безпосереднього буксирування тяговою технікою вздовж транспортних берм та зачищених робочих майданчиків уступів, або ж детальне техніко-економічне обґрунтування прямої закупівлі передових закордонних аналогів.

## **РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЕКСПЛУАТАЦІЇ КОМПЛЕКСІВ МЕХАНІЗАЦІЇ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ МОБІЛЬНИХ БУНКЕРІВ-ПЕРЕВАНТАЖУВАЧІВ**

### **2.1. Аналіз технологічної схеми експлуатації мобільних дробарно-перевантажувальних комплексів**

Трансформація традиційного процесу взаємодії виймальних та транспортних машин у сучасному кар'єрному просторі досягається шляхом інтеграції проміжних накопичувальних ланок, що кардинально оптимізують навантажувальну стадію. Мобільний бункер-перевантажувач виконує роль високотехнологічного посередника, приймаючи підірвану гірничу масу від вибійного екскаватора для її подальшої дозованої видачі в кузови технологічного автотранспорту [10]. Завдяки такому інженерному рішенню єдиний раніше логістичний ланцюг штучно розмежовується на два автономні підцикли, що дозволяє повністю нівелювати часові простоти суміжних видів техніки через їхню десинхронізацію. Подібний поділ робочого процесу не лише суттєво підвищує загальну геомеханічну та технологічну безпеку ведення відкритих гірничих робіт, а й максимізує експлуатаційну продуктивність навантажувально-транспортного етапу, роблячи процес циклічного заповнення автосамоскидів значно швидшим та ритмічнішим.

Хоча концептуальні засади використання бункерних пристроїв у гірничій практиці розвиваються вже близько півстоліття, провідні машинобудівні корпорації лише останнім часом перевели ці агрегати у статус готового комерційного продукту, адаптованого для широкого впровадження у традиційні схеми відкритої розробки родовищ. Новий імпульс цій технології дав стрімкий прогрес у галузі цифрової автоматизації. Завдяки інтеграції новітніх систем лазерного

сканування масиву, тривимірного позиціонування та прецизійного сенсорного зондування, сучасні бункери-перевантажувачі отримали додаткові інтелектуальні можливості, реалізація яких раніше була технічно неможливою. Це перетворило їх на одну з найбільш затребуваних та актуальних інновацій для глибоких кар'єрів світу, де просторові обмеження робочих майданчиків уступів вимагають максимальної інтенсифікації транспортних потоків. Взаємозв'язок елементів цієї оновленої системи та замкнена структура їхньої циклічної взаємодії детально проілюстровані на рисунку 2.1.

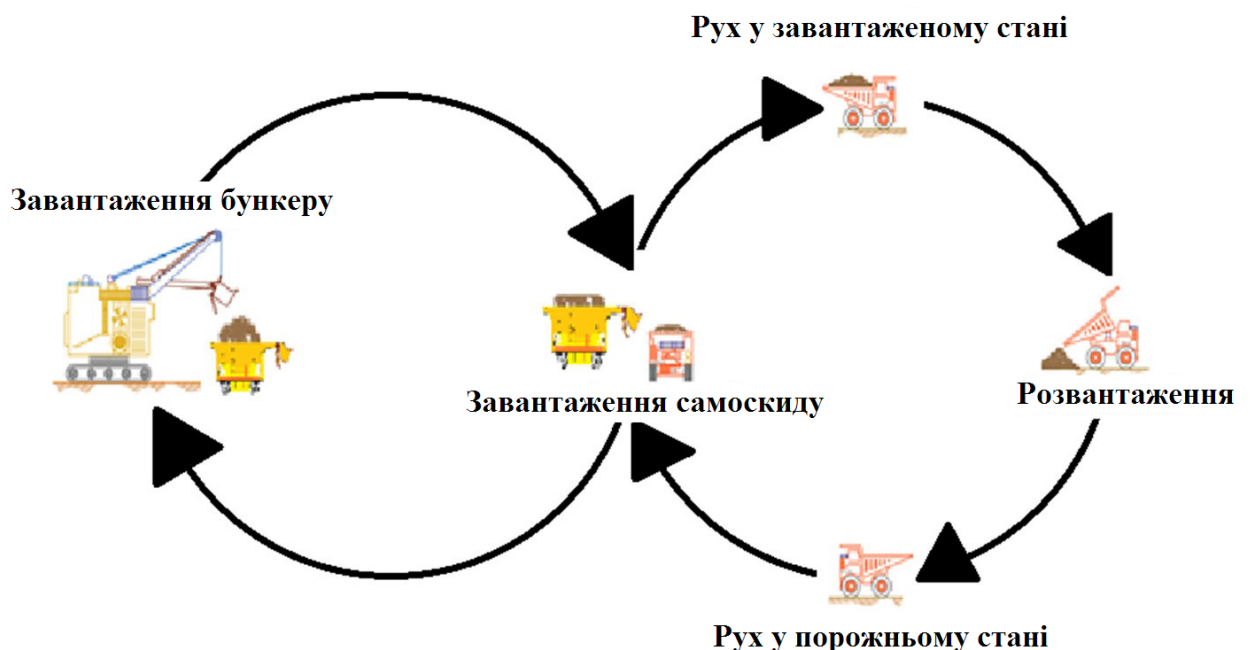


Рис. 2.1 – Схематичне зображення технології виймально-навантажувальних робіт при використанні бункера-перевантажувача

Запровадження проміжної ланки повністю нівелює необхідність безпосереднього технологічного контакту між виймально-навантажувальною машиною та кар'єрним автотранспортом. Функцію автономізації цих процесів перебирає на себе мобільний перевантажувач. Виступаючи в ролі конструктивного посередника, цей апарат забезпечує повну операційну та функціональну незалежність мехлопати від кінематики руху і графіку підходу самоскидів.

Конструктивні параметри акумулюючого бункера розраховуються з огляду на характеристики задіяного у вибої рухомого складу. Місткість цієї ємності переважно перевищує корисний об'єм кузова базового самоскида у два з половиною рази, хоча залежно від конкретних геотехнічних умов це співвідношення може змінюватися. Технологічний потік мінеральної сировини за такою схемою передбачає первинне черпання та скидання породи екскаватором у бункерний відсік, з якого матеріал оперативно перенаправляється безпосередньо в кузов транспортного засобу, що детально проілюстровано на рисунку 2.2.



Рис. 2.2 – Екскаваторно-автомобільний комплекс із включеним до нього бункером-перевантажувачем [10]

Інтеграція мобільного бункера-перевантажувача в технологічний ланцюг кар'єру докорінно змінює кінематику виймально-навантажувальних робіт, оскільки тривалість і безперервність циклу екскаватора більше не лімітуються безпосередньою присутністю або

маневрами автосамоскида під вибоєм. Натомість тривалість безперебійного функціонування мехлопати визначається виключно наявністю вільного об'єму в акумулюючому відсіку перевантажувача [11]. Завдяки базуванню на автономному гусеничному шасі цей агрегат має високу мобільність і здатність супроводжувати екскаваційну техніку в міру просування очисного фронту за типових умов розробки родовища [9, 11]. У цьому полягає його ключова перевага над капіталомісткими системами циклічно-потоквої технології, такими як напівстаціонарні внутрішньокар'єрні дробильні пункти та магістральні конвеєрні лінії, що характеризуються жорсткою просторовою прив'язкою та обмеженою автономністю [12]. Традиційна ж схема взаємодії у парі «екскаватор-автосамоскид», де будь-яка затримка транспорту миттєво зупиняє виїмку масиву, за такого підходу повністю втрачає свій деструктивний вплив на продуктивність гірничого цеху.

Разом із цим з інженерної точки зору слід враховувати, що введення проміжної ланки означає появу додаткової одиниці обладнання, яка збільшує ймовірність технічних відмов і потребує регулярного сервісного обслуговування. Проте ризики суттєвих втрат видобутку через позапланові ремонти чи аварійні зупинки перевантажувача мінімальні, оскільки система володіє високою технологічною гнучкістю: у разі виходу бункера з ладу екскаватор оперативно переорієнтовується на пряме відвантаження породи у кузови самоскидів. Конструктивне вилучення мінеральної сировини з накопичувального відсіку та її подальше переміщення в транспортні засоби реалізується за допомогою інтегрованого важкого пластинчастого живильника [11]. Працездатність такої системи подачі, укомплектованої надпотужним живильником, була успішно верифікована в різноманітних експлуатаційних сценаріях під час роботи комплексу на одному з великих вугільних розрізів Колумбії, що проілюстровано на рисунку 2.3 [11].



Рис. 2.3 – Процес експлуатації бункера-перевантажувача

Отриманий закордонний досвід дозволив виробникам експериментально підтвердити високу надійність розвантажувального вузла за умов інтенсивних вантажопотоків глибоких кар'єрів.

Скорочення тривалості навантажувальних операцій майже вдвічі порівняно з традиційними екскаваторними схемами досягається завдяки високій пропускній здатності інтегрованого випускного тракту. В умовах транспортування пухких або заздалегідь розпушених порід цей конвеєрний механізм забезпечує стабільну видачу матеріалу з акумулюючого бункера і повне заповнення кузова надважкого 330-тонного автосамоскида всього за 60 секунд [11]. Таке суттєве прискорення логістичного циклу дозволяє значно підвищити продуктивність інтенсивних вантажопотоків у кар'єрному просторі.

Основою робочого полотна живильника є набір високоміцних сталевих пластин, спеціально спроектованих для тривалої роботи в умовах постійного абразивного зносу та значних ударних навантажень від падаючих шматків підірваної гірничої маси [13, 14]. Особлива геометрія цих елементів гарантує тривалий термін експлуатації, високу конструктивну надійність та низькі вимоги до поточного технічного обслуговування. Суміжні ланки конвеєра змонтовані з краями, що частково перекривають один одного, завдяки чому повністю виключається ризик просипання або виток дрібнодисперсної фракції корисних копалин крізь щілини транспортера. Жорстке фіксування елементів до тягових ланцюгів виконане за допомогою болтових з'єднань, причому їхні головки розташовані у захищених технологічних пазах між спеціальними виступаючими ребрами чи ґратами. Це інженерне рішення, детально представлене на рисунку 2.4, повністю ізолює кріпильні вузли від руйнівного механічного контакту з переміщуваним потоком великоблочної сировини [14].

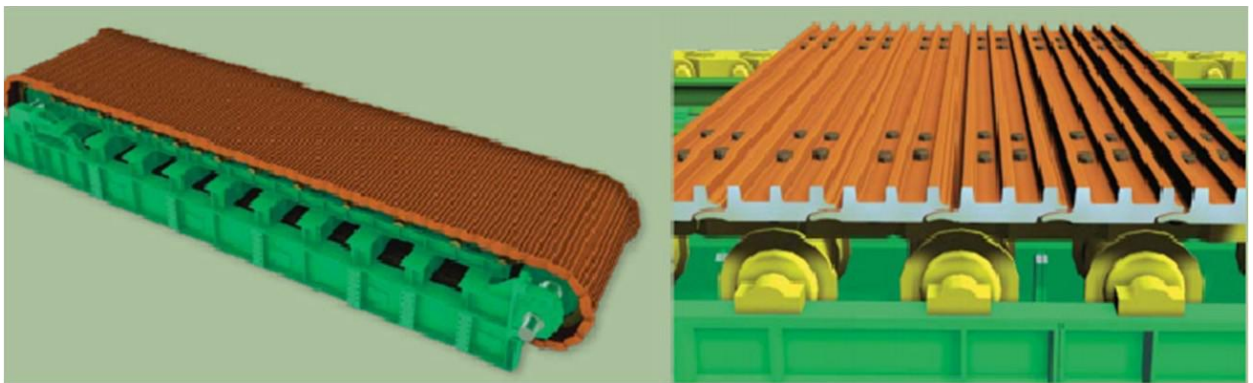


Рис. 2.4 – Несучий орган перевантажувача

Конструктивною основою важкого пластинчастого живильника виступають надміцні ланцюгові блоки та опорні ролики, інтегровані в загальну структуру тримальної рами агрегату. Зазначені компоненти, вироблені компанією Катерпіллар як елемент уніфікованої системи Ем-Ем-Ді (ММД), забезпечують високу просторову стійкість усього перевантажувального вузла. Динамічні навантаження, що виникають

при падінні великоблочної породи, гасяться за рахунок унікального механізму поглинання кінетичної енергії удару. На початковому етапі руйнівний імпульс сприймається безпосередньо сталевими пластинами конвеєрного полотна, які зазнають лише незначних деформацій у межах своєї пружності. Надалі задіяні в архітектурі апарату ударні рейки забезпечують перерозподіл та плавне розсіювання залишкових зусиль, спрямовуючи їх безпосередньо на масивні елементи головної опорної металоконструкції [14].

Безпосереднє транспортування та перевалка вилученої з вибою мінеральної сировини з акумулюючого бункера-перевантажувача до приймального кузова кар'єрного автосамоскида реалізується за допомогою випускної конвеєрної стрічки. Графічне зображення цього процесу та загальна схема просторового переміщення матеріалу наведені на рисунку 2.5.



Рис. 2.5 – Завантаження гірничої маси у бункер за допомогою екскаватора [14]

Інтегровані в конвеєрну лінію сенсорні пристрої забезпечують безперервне зчитування геометричних та масових параметрів рудного потоку, що надходить до транспортного засобу. Оперативний моніторинг об'єму та ваги матеріалу дозволяє з високою точністю регулювати ступінь заповнення кузова кар'єрного самоскида, запобігаючи його недовантаженню чи критичному перевантаженню

[12-14]. Крім того, аналітичні можливості цієї датчикової апаратури поширюються на ідентифікацію негабаритних фракцій підірваної гірничої маси, наявність яких здатна дестабілізувати логістичний алгоритм переміщення сировини [9, 15-16]. Спираючись на дані про поточний обсяг породи в акумулюючому бункері, автоматизована система моніторингу оцінює кінематичну спроможність випускного механізму здійснити безпечно переміщення великих блоків без порушення встановлених експлуатаційних обмежень [17].

Якщо прогнозний розрахунок безпеки демонструє негативний результат, керуючий контролер перевантажувача миттєво блокує подальшу видачу матеріалу. У такій ситуації на сигнальному пристрої з'являється команда, яка інформує водія автосамоскида про необхідність виходу з навантажувальної зони з фактично наявним вантажем. Для запобігання деструктивному впливу на металоконструкції машини при наступному скиданні виявленого великого уламка автоматика реалізує специфічний інженерний маневр. Між точкою вивантаження та негабаритним шматком навмисно утримується достатній об'єм дрібнофракційної породи. Цей залишковий шар виконує роль захисної амортизаційної подушки, що ефективно гасить енергію динамічного удару при контакті негабариту з лотком вантажівки, як це схематично проілюстровано на рисунку 2.6.



Рис. 2.6 – Принцип запобігання аварійних ситуацій при потраплянні негабариту [12]

У класичних схемах функціонування екскаваторно-автомобільних комплексів без залучення бункерних пристроїв величина коефіцієнта заповнення кузова повністю визначається параметрами виймальної машини та її одноразовою черпаючою спроможністю. На практиці це формує жорстку взаємозалежність між місткістю робочого органу мехлопати та корисною вантажопідйомністю автосамоскида, змушуючи проєктувальників підбирати обладнання так, щоб заповнення ємності відбувалося за мінімальну кількість робочих циклів задля зниження амплітуди коливань маси вантажу. Традиційне регулювання цього показника базується виключно на геометричному узгодженні потужностей виймально-навантажувальної та транспортної ланок. Окрім того, на кінцевий результат суттєво впливають такі дестабілізуючі чинники, як якість підготовки гірничої маси до виїмки, характер розташування шматків породи у ковші, загальна маневреність техніки у вибої та безпосередньо людський фактор, тобто рівень професійної компетентності оператора екскаватора [13-18]. Впровадження мобільного навантажувача дозволяє мінімізувати негативний вплив більшості згаданих суб'єктивних та гірничотехнічних факторів, забезпечуючи стабільну роботу всього комплексу.

Відсутність проміжного акумулюючого елемента у традиційному логістичному ланцюжку породжує три типові експлуатаційні сценарії, більшість із яких є технологічно неефективними. Найбільш поширеним у гірничій практиці є варіант із недовантаженням рухомого складу, що безпосередньо призводить до невиправданого зниження проєктної продуктивності кар'єрного транспорту та перевитрати енергоресурсів. Діаметрально протилежна ситуація виникає при переповненні кузова понад встановлене корисне навантаження, оскільки перевищення паспортної вантажопідйомності самоскида різко підвищує аварійні ризики та інтенсифікує знос конструктивних елементів під час руху

технологічними дорогами [20-22]. Ідеальний третій сценарій, який передбачає стовідсоткове точне завантаження машини відповідно до її технічних умов, в умовах реального вибою фіксується вкрай рідко через дискретність процесу екскавації. Комплектація мобільного перевантажувача бортовою системою прецизійних датчиків створює кардинальну перевагу над класичною парою «екскаватор-самоскид», дозволяючи здійснювати безперервний високоточний контроль заповнення транспортної ємності [11]. Цифрова система оперативно припиняє рух випускного конвеєра у разі досягнення оптимальної ваги, завдяки чому дисперсія коефіцієнта заповнення кузовів наближається до мінімуму і повністю усувається небезпека перевантаження техніки.

Функціональне розчеплення жорстких взаємозв'язків між виймально-навантажувальним та транспортним обладнанням, що досягається завдяки інтеграції мобільного бункера-перевантажувача, створює умови для їхньої повністю автономної експлуатації в кар'єрному просторі. Усунення безпосереднього операційного контакту в системі вибійного навантаження відкриває перспективу для одночасного розгортання ширшої номенклатури технічних засобів на робочих горизонтах. Це дозволяє формувати комбіновані транспортні потоки з автосамоскидів різних типів та різних класів вантажопідйомності без ризику зниження загальної ритмічності робіт. Завдяки такій інфраструктурній гнучкості підвищується динамічність усього виймально-транспортного процесу, що забезпечує швидку адаптацію комплексу до мінливих гірничо-геологічних умов, селективної виїмки різносортих корисних копалин та оптимізації параметрів розвитку фронту гірничих робіт на різних стадіях відпрацювання родовища.

Поряд із забезпеченням технологічної незалежності, наявність автоматизованого випускного тракту у складі бункерної установки дозволяє реалізувати прецизійне дозування гірничої маси під час

наповнення транспортних ємностей. Якщо в класичних логістичних схемах показник використання місткості кузова безпосередньо лімітується дискретністю та одноразовою черпаючою спроможністю ковша екскаватора, через що середнє значення цього коефіцієнта зазвичай не перевищує 90% [18], то впровадження проміжної ланки повністю нівелює цю залежність. Процес навантаження переорієнтовується виключно на паспортну вантажопідйомність автосамоскида, що створює умови для стабільного досягнення коефіцієнта заповнення кузовів на рівні, максимально наближеному до 100% [9]. Таке інженерне рішення мінімізує технологічний розрив на шляху до досягнення граничної безпечної продуктивності технологічного транспорту без додаткових капітальних вкладень чи зростання собівартості перевезення однієї тонни породи. Оскільки оптимізація корисного навантаження діючого рухомого складу забезпечує істотний приріст сумарного вантажообігу, підприємство отримує можливість підтримувати проектні обсяги видобутку за незмінної кількості машин або навіть зменшити чисельність активного автопарку, що детально обґрунтовано відповідними інженерними розрахунками у третьому розділі роботи.

## **2.2. Вивчення можливостей автоматизації роботи мобільних дробарно-перевантажувальних комплексів**

Сучасний вектор модернізації процесів відкритої розробки родовищ тісно пов'язаний із глобальною автоматизацією виробничих циклів, оскільки впровадження інноваційних інженерних рішень у гірниче виробництво в останні роки підпорядковане першочерговому завданню — кардинальному підвищенню рівня промислової безпеки та охорони праці персоналу кар'єрів [23]. У межах цієї тенденції дедалі ширшого розповсюдження на підприємствах набуває роботизоване та

безпілотне обладнання. Мобільний бункер-перевантажувач також спроектований із можливістю функціонування в повністю автономному режимі, що дозволяє мінімізувати присутність людей у потенційно небезпечних зонах вибоїв [23]. Проте успішна та безперебійна експлуатація подібних самохідних машин потребує розгортання прецизійних систем просторового моніторингу. Роботизовані одиниці повинні безперервно й із достатнім випередженням у часі отримувати точні метричні дані про дистанцію до суміжних об'єктів кар'єрного поля, що необхідно для оперативного моделювання безпечних і надійних траєкторій руху та складання координаційних планів [24-25]. Саме тому насичення техніки розгалуженими оптичними мережами, цифровими камерами та високочутливими датчиками є базовою умовою не лише для безпосередньої кінематичної корекції безпілотного транспорту, а й для жорсткого дотримання високих галузевих стандартів безпеки [12].

Для ефективної ідентифікації параметрів навколишнього середовища, зокрема для фіксації моментів підходу та від'їзду великовантажного технологічного автотранспорту, мобільний перевантажувач використовує інтегрований комплекс сенсорних пристроїв та засобів машинного зору. Спеціалізовані алгоритми обробки вхідної цифрової інформації дозволяють автоматично безпомилково розпізнавати наближення кар'єрного самоскида до навантажувальної зони, що дає змогу заздалегідь скоординувати взаємне положення техніки та підготувати акумулюючий бункер до порційної видачі породи, як це детально відображено на схемі рисунка 2.7.

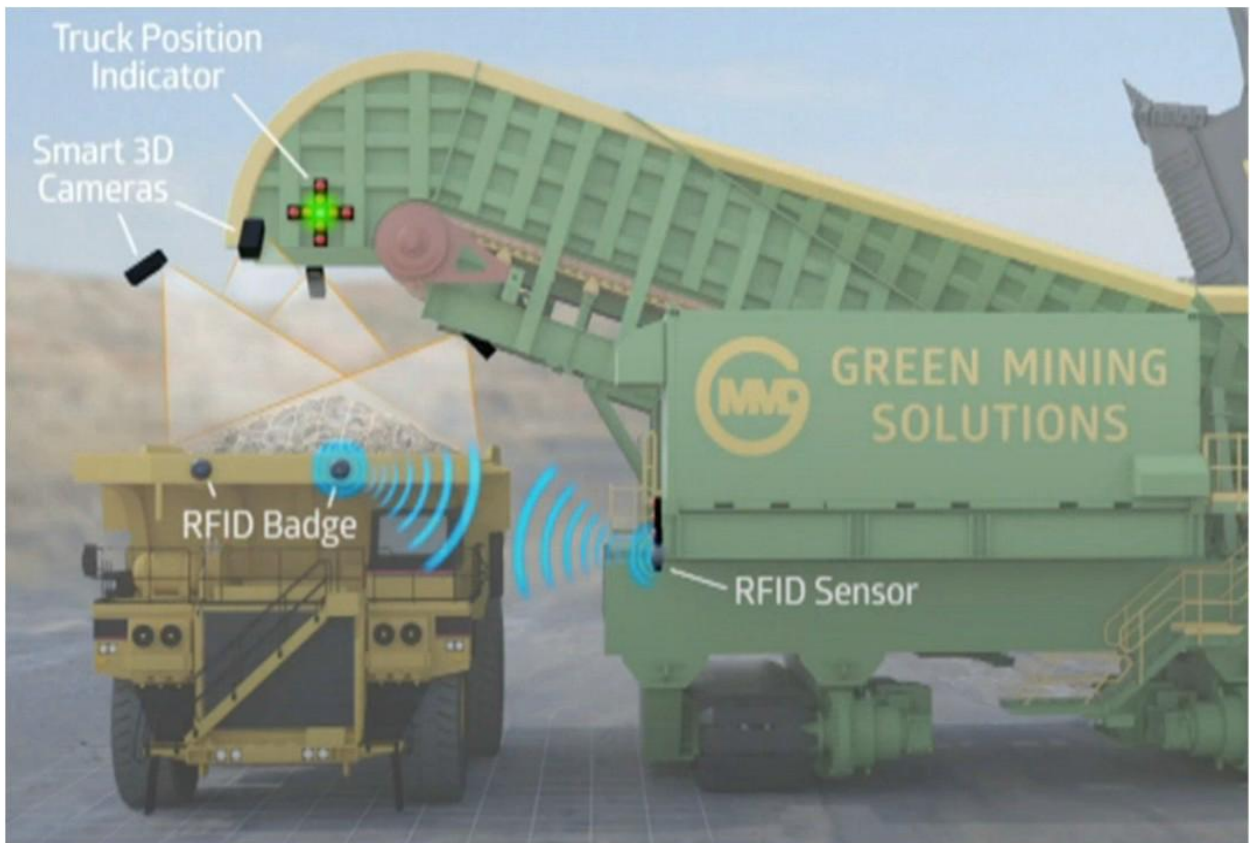


Рис. 2.7 – Система інтелектуальної автоматизації роботи екскаваторно-автомобільного комплексу [12]

Прецизійна фіксація просторового положення транспортного засобу в зоні навантаження здійснюється за допомогою технології радіочастотної ідентифікації (RFID), яка базується на використанні електромагнітних полів для автоматичного розпізнавання та трекінгу закріплених на рухомому складі цифрових міток. Щойно кар'єрний автосамоскид досягає оптимальної координатної точки відносно розвантажувального тракту бункера, автоматика генерує та надсилає на бортовий комп'ютер машини керівний імпульс про зупинку, як це відображено на схематичному рисунку 2.7. Після завершення порційної видачі породи та досягнення проектної маси вантажу мобільний перевантажувач автоматично транслює зворотний дозвільний сигнал, що дозволяє машині відновити рух за наміченим маршрутом. Повністю комп'ютеризована архітектура цієї системи розпізнавання, де оптичні прилади та сенсори координуються через

дистанційні канали зв'язку, дозволяє цілком автоматизувати транспортні операції та виключити потребу в залученні водія-оператора для візуального визначення місця позиціонування під завантаження.

Разом із тим, оцінюючи перспективи масштабного впровадження подібних сенсорних та скануючих технологій, слід обов'язково враховувати специфічні деструктивні чинники кар'єрного середовища. Попри глибокий позитивний вплив цифрових інновацій на ефективність промислового виробництва в інших секторах економіки, умови відкритих гірничих робіт характеризуються підвищеним рівнем запиленості атмосфери робочих зон та вибоїв. Такий екстремальний стан повітряного середовища здатний суттєво перешкоджати повноцінній реалізації функціонального потенціалу оптичних сканерів та окремих типів лазерних чи ультразвукових датчиків через ефект розсіювання, екстинкції або поглинання сигналів щільною пиловою завісою.

Геометричні та технологічні параметри трас, якими здійснюється переміщення розкривних порід чи корисних копалин із виробленого простору, виступають критично важливим аспектом функціонування кар'єрного транспорту, оскільки вони безпосередньо лімітують експлуатаційну продуктивність рухомого складу. З цієї причини математичне моделювання та трасування оптимальних вивізних маршрутів є базовою умовою підвищення ефективності роботи автосамоскидів. Проте в межах класичного екскаваторно-автомобільного комплексу навіть за умов граничної оптимізації транспортних мереж залишаються перманентні просторово-часові зони затримок вантажопотоків, усунення яких традиційними методами є неможливим. Одним із таких найбільш критичних розривів є етап тривалого маневрування великовантажної машини заднім ходом на

робочому майданчику уступу, необхідний для її безпосереднього точного під'їзду під навантажувальний контур вибійного екскаватора.

Інтеграція мобільних бункерів-перевантажувачів у кар'єрний простір дозволяє повністю нівелювати потребу в багатоетапному просторовому маневруванні технологічного автотранспорту, яке є невід'ємною частиною та основним джерелом часових втрат у традиційних екскаваторно-автомобільних комплексах. Насичення конструкції перевантажувального вузла оптичними приладами та цифровими сенсорами забезпечує формування інтелектуальної платформи взаємодії між суміжними ланками ланцюга, що суттєво спрощує алгоритми повної роботизації та автоматизації рухомого складу. За такого підходу траєкторії руху кар'єрних самоскидів на робочих майданчиках уступів значно спрощуються завдяки виключенню фази кутового позиціонування та під'їзду заднім ходом, як це схематично відображено на рисунку 2.8.

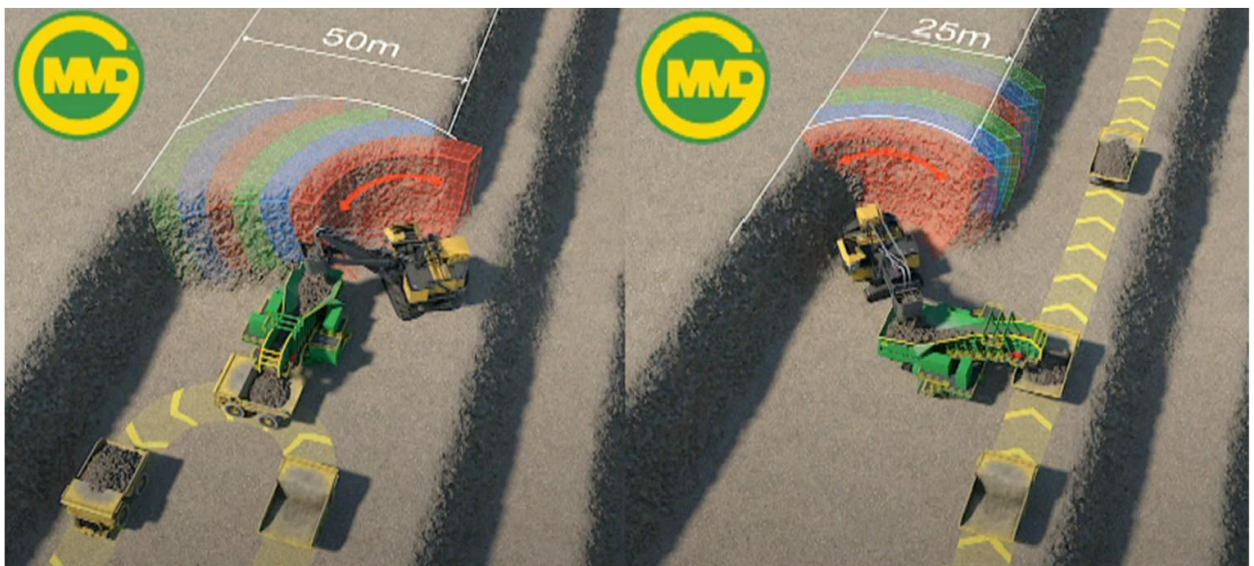


Рис. 2.8 – Тупикова та наскрізна схеми подачі автотранспорту під навантаження із використанням мобільного дробарно-перевантажувального бункера [12]

Скорочення тривалості безпосереднього заповнення ємності кузова в поєднанні з ліквідацією підготовчо-допоміжних операцій

призводить до помітного зменшення загального часу перебування машини на маршруті, оптимізуючи оборотність рейсу.

Додатковим чинником підвищення ефективності є функціонування інтегрованої системи прецизійного виявлення наближення техніки, яка забезпечує безперервний моніторинг та ліквідацію сліпих зон у межах робочої зони вибою [24-25]. Усунення просторових обмежень видимості дозволяє звести до мінімуму кількість непродуктивних операцій, включаючи розвороти, вимушені гальмування, маневри реверсивного ходу або тимчасові з'їзди транспорту з наміченого логістичного маршруту. Суттєве зниження ризиків аварійних зіткнень під час штатного руху, паркування або виконання сервісних операцій безпосередньо подовжує міжремонтний ресурс та загальний термін експлуатації таких високонавантажених вузлів, як колісні диски, великогабаритні шини та елементи гідропневматичної підвіски самоскидів [26]. Попри те, що превентивне запобігання дорожньо-транспортним пригодам та зниження операційних витрат на відновлення ходової частини є опосередкованими факторами інтенсифікації навантажувально-транспортних робіт, їхній сумарний позитивний ефект безпосередньо трансформується у покращення техніко-економічних і безпекових показників функціонування всього гірничодобувного підприємства.

### РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВИКОРИСТАННЯ МОБІЛЬНИХ ДРОБАРНО-ПЕРЕВАНТАЖУВАЛЬНИХ ПУНКТІВ НА СКЛАД ЕКСКАВАТОРНО-АВТОМОБІЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ

Для умов будівництва Першотравневого кар'єру (рис. 3.1) розглянемо варіанти використання мобільних дробарно-перевантажувальних комплексів.

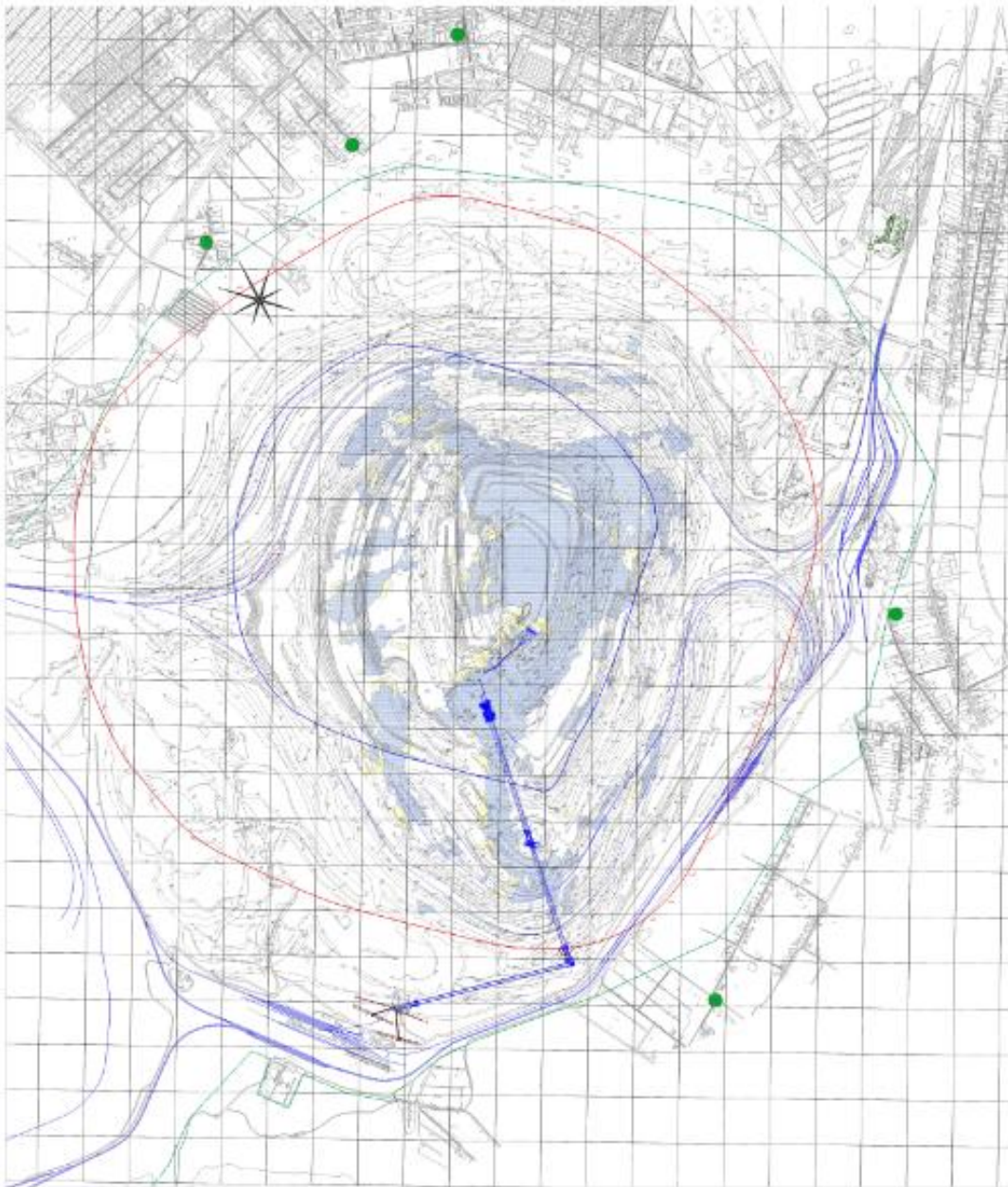


Рис. 3.1 – План гірничих робіт і транспортна схема Першотравневого кар'єру ПрАТ «Північний ГЗК» [27]

Порівняльний аналіз структури парку основного виймально-навантажувального та транспортного обладнання дозволяє об'єктивно оцінити доцільність впровадження мобільного бункера-перевантажувача у виробничі ланцюги. Задля цього дослідження моделюється функціонування двох відмінних конфігурацій технологічних комплексів у межах кар'єрного простору. Перша, прийнята за базовий варіант, відображає традиційну схему організації відкритої розробки родовища, де взаємодія мехлопати та автосамоскидів відбувається за класичним прямим принципом. Інша ж, альтернативна модель, передбачає безпосереднє включення рухомої перегрузочної одиниці в архітектуру екскаваторно-автомобільного комплексу для оптимізації інтенсивних вантажопотоків на робочих горизонтах уступів.

Для першого (базового) варіанта організації виймально-навантажувальних робіт першочерговим інженерним завданням є визначення експлуатаційної продуктивності кар'єрного канатного екскаватора ЕКГ-10 протягом однієї робочої зміни. Математичне обчислення цього показника, вираженого в щільній масі гірничого масиву, базується на інтеграції конструктивних параметрів виймального органу, кінематичних характеристик обладнання та фізико-механічних властивостей зруйнованої вибухом породи за такою функціональною залежністю:

$$Q_{\text{ЗМ}} = \frac{3600 \cdot E \cdot k_{\text{н}} \cdot T \cdot k_{\text{вик}}}{t_{\text{ц}} \cdot k_{\text{р}}} \quad (3.1)$$

У цьому розрахунковому рівнянні (3.1) змінна  $E$  визначає номінальну місткість ковша кар'єрного екскаватора ЕКГ-10 і дорівнює 10 кубічним метрам. Ступінь заповнення робочого органу під час екскавації підірваного вибою відображає коефіцієнт наповнення ковша  $k_{\text{н}}$ , величина якого для міцних скельних порід становить 1,15. Часова протяжність одного повного циклу черпання, повороту на

розвантаження та повернення до масиву позначена як  $t_{\text{ц}}$  і дорівнює 38 секундам. Зміна об'єму вилученої породи внаслідок її переходу в кускову форму враховується за допомогою коефіцієнта розпушення  $k_{\text{р}}$ , який для скельного масиву приймається на рівні 1,37. Загальна тривалість однієї робочої зміни  $T$  зафіксована на позначці 12 годин, тоді як рівень використання наявного змінного часу виймально-навантажувальною машиною в умовах безпосередньої взаємодії з автосамоскидами характеризує коефіцієнт  $k_{\text{вик}}$ , нормативне значення якого для базового екскаваторно-автомобільного комплексу становить 0,7.

На основі отриманого показника змінної виїмкової спроможності виконується перехід до добових та річних масштабів виробництва виймально-навантажувальної одиниці. Добовий обсяг екскавації гірничої маси розраховується шляхом масштабування змінного видобутку на встановлений режим роботи підприємства:

$$Q_{\text{доб}} = Q_{\text{зм}} \cdot n_{\text{зм}} \quad (3.2)$$

У цьому рівнянні (3.2) параметр  $n_{\text{зм}}$  відображає кількість робочих змін протягом однієї доби. Наступним етапом інженерного аналізу є визначення інтегральної річної продуктивності виймального апарату, яка враховує тривалість календарного періоду стабільної роботи обладнання в кар'єрному просторі:

$$Q_{\text{рекс}} = Q_{\text{доб}} \cdot T_{\text{р}} \quad (3.3)$$

У формулі (3.3) змінна  $T_{\text{р}}$  регламентує планову кількість робочих діб екскаватора протягом одного календарного року, а кінцевий результат виражається в кубічних метрах у щільному тілі за рік.

Визначення оптимального складу виймальної ланки для гірничо-геологічних та інфраструктурних умов кар'єру ПрАТ «Північний гірничо-збагачувальний комбінат» передбачає розрахунок необхідної кількості діючих одиниць техніки, що здатні забезпечити задані планові обсяги видобутку. Робочий парк виймальних машин розраховується як

відношення сумарної річної виробничої потужності підприємства за гірничою масою до розрахункової річної продуктивності одного навантажувального автомата:

$$N_e = \frac{A_{\text{річ}}}{Q_{\text{рекс}}} \quad (3.4)$$

Отримане за виразом (3.4) значення  $N_e$  відображає кількість екскаваторів, які мають безперервно перебувати безпосередньо у вибоях на робочих горизонтах для виконання виробничої програми, де чисельник  $A_{\text{річ}}$  відповідає річній плановій потужності кар'єру. Проте з урахуванням потреби у проведенні планово-попереджувальних ремонтів, планового технічного обслуговування та ліквідації раптових технічних відмов виникає необхідність формування технологічного резерву. Інвентарна чисельність екскаваторного парку комбінату розраховується за допомогою коригуючого множника:

$$N_{\text{еінв}} = N_e \cdot K_{\text{рез}} \quad (3.5)$$

У залежності (3.5) параметр  $K_{\text{рез}}$  виступає коефіцієнтом резерву, який регламентує нормативне співвідношення між перебуванням техніки в експлуатації та на стадіях сервісного відновлення, що гарантує стабільність виконання загального плану відкритих гірничих робіт.

Наступна стадія інженерного проєктування кар'єрного транспорту передбачає комплексне визначення тривалості повного технологічного циклу кар'єрного автосамоскида на плечі транспортування від виймального забою до приймального пункту циклічно-потоквої технології. Під час розрахунків обсяг планового вантажопотоку приймається еквівалентним сумарній річній виробничій потужності всього екскаваторного парку підприємства і становить 10300000 кубічних метрів у щільному тілі, тоді як середня відстань переміщення породи зафіксована на позначці 2,5 кілометра. Часова

структура оборотного рейсу транспортної одиниці формується як сума окремих послідовних операційних елементів відповідно до виразу:

$$T_{\text{рейс}} = t_{\text{нав}} + t_{\text{роз}} + t_{\text{м}} + t_{\text{оч}} + t_{\text{рух}} \quad (3.6)$$

У цьому рівнянні складниками загального часу виступають тривалість безпосереднього навантаження кузова у завої, час розвантаження на приймальному вузлі циклічно-потоквої технології, тривалість маневрування техніки під екскаватором та на розвантажувальному майданчику, час очікування в технологічних чергах, а також чистий час двостороннього руху машини по кар'єрних дорогах.

Первинний часовий елемент загального оборотного рейсу, що відображає тривалість навантажувальної операції, обчислюється з урахуванням номінальної корисної вантажопідйомності обраного автосамоскида та параметрів черпання вибійної машини за формулою (3.8). На основі встановленого загального часу обертання транспортного засобу з'являється можливість розрахувати граничну кількість рейсів, яку машина здатна виконати протягом однієї робочої зміни. Цей показатель визначається як відношення корисного змінного бюджету часу до тривалості одного повного оборотного циклу з урахуванням рівня використання автотранспорту в часі, що регламентується залежністю (3.11):

$$n_p = \frac{T \cdot 60 \cdot k_{\text{вик}}}{T_{\text{рейс}}} \quad (3.7)$$

Для специфічних умов експлуатації та режиму роботи автотранспортного цеху кар'єру приватного акціонерного товариства "Північний гірничо-збагачувальний комбінат" коефіцієнт використання техніки у часі зафіксовано на нормативній позначці 0,75.

Обсяг гірничої маси, який одна автомобільна одиниця спроможна перемістити за одну зміну, визначається через добуток кількості виконаних рейсів та фактичного об'єму породи в кузові,

перерахованого у щільне тіло масиву. Наступний етап моделювання вантажопотоків передбачає перехід до добових обсягів транспортування розкриву чи руди шляхом масштабування змінного виробітку на кількість передбачених регламентом робочих змін протягом однієї доби. Фінальним кроком прогнозування продуктивності автомобільної одиниці є обчислення її інтегрального річного виробітку, що базується на поєднанні одержаних добових параметрів та планового фонду робочих днів самоскида протягом календарного року.

Завершальний крок інженерного аналізу полягає у визначенні необхідної інвентарної чисельності технологічного автотранспорту гірничого підприємства. Розрахунок спирається на відношення сумарного річного вантажопотоку кар'єру до річної продуктивності окремої машини, скориговане на відповідний коефіцієнт готовності парку:

$$N_{\text{ІНВ}} = \frac{A}{P_{\text{річ}} \cdot k_{\text{ГГ}}} \quad (3.8)$$

У цьому розрахунковому рівнянні (3.8) знаменник коригується за допомогою коефіцієнта технологічної готовності автосамоскидів, величина якого для досліджуваних умов становить 0,8.

Одержані комплексні інженерні обчислення дозволяють констатувати, що для стабільного освоєння заданих обсягів відкритих гірничих робіт структура базового екскаваторно-автомобільного комплексу має включати чотири кар'єрні канатні екскаватори типу ЕКГ-10, одну одиницю бульдозерної техніки для обслуговування вибоїв та відвалів, а також двадцять чотири технологічні автосамоскиди моделі БелАЗ-75145 вантажопідйомністю 120 тонн кожний.

Аналогічні розрахунки виконаємо для альтернативного 2 варіанту.

Результати всіх розрахунків зведемо в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 – Порівняння складів комплексів механізації при використанні мобільних дробарно-перевантажувальних пунктів

<b>Найменування типу обладнання</b>	<b>Варіант 1 (базовий)</b>	<b>Варіант 2 (альтернативний)</b>
Кар'єрний екскаватор ЕКГ-10, шт.	4	3
Мобільний бункер-перевантажувач, шт.	-	3
Автосамоскид БелАЗ-75145 (120 т), шт.	24	20
Бульдозер допоміжний, шт.	1	1
Усього одиниць техніки в комплексі	29	27

Впровадження мобільних бункерів-перевантажувачів в архітектуру технологічного ланцюга за другим (альтернативним) варіантом зумовлює кардинальну реструктуризацію всього парку виймально-навантажувального та транспортного обладнання. Завдяки значному підвищенню коефіцієнта заповнення кузовів та ліквідації часових простоїв техніки у вибої, альтернативна конфігурація комплексу дозволяє освоювати аналогічні обсяги гірничої маси меншою кількістю основних машин.

Оновлений склад екскаваторно-автомобільного комплексу передбачає спільну роботу 3 кар'єрних екскаваторів ЕКГ-10, 3 мобільних бункерів-перевантажувачів, 1 бульдозера (для виконання допоміжних робіт) та 20 технологічних автосамоскидів БелАЗ-75145 вантажопідйомністю 120 т.

Аналітичне зіставлення з класичною схемою виробництва свідчить, що інтеграція 3 мобільних перевантажувачів забезпечує високий синергетичний ефект. Вона дозволяє повністю компенсувати та виключити з експлуатаційного контуру 1 екскаватор та 4 великовагові автосамоскиди. Така реконфігурація суттєво знижує

капітальні та операційні витрати на утримання й обслуговування рухомого складу, одночасно підвищуючи загальну безпеку та ритмічність відкритих гірничих робіт.

Не менш цікаві результати наведені в науковій праці [18] наведено результати моделювання трьох альтернативних стратегій інтеграції мобільного бункера-перевантажувача у структуру гірничо-транспортного комплексу. Кожен із підходів має чітко виражений технологічний ефект, що дозволяє проектувальнику гнучко адаптувати схему під економічні чи виробничі пріоритети конкретного підприємства.

Варіант 1 (Консервативний): передбачає поєднання мобільного бункера-перевантажувача з існуючим парком техніки (14 самоскидів). Це дозволяє наростити сумарну продуктивність комплексу на 26,4% та одночасно знизити експлуатаційні витрати на 40%, що є оптимальним рішенням за умов дефіциту рухомого складу.

Варіант 2 (Ресурсощадний): спрямований на оптимізацію витрат шляхом виведення з експлуатації 3 одиниць автотранспорту. При цьому за рахунок вирівнювання вантажопотоку загальна продуктивність комплексу навіть зростає на 4,2%.

Варіант 3 (Максимальна потужність): передбачає розширення автомобільного парку на 6 одиниць (до 20 самоскидів). Це забезпечує стрімке зростання обсягів перевалки на 65,7% завдяки ліквідації простоїв техніки та максимізації коефіцієнта її використання.

## ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ

За результатами виконання кваліфікаційної роботи бакалавра, що базується на аналізі теоретичних засад і передового світового досвіду експлуатації екскаваторно-автомобільних комплексів у специфічних умовах глибоких кар'єрів, а також на основі інженерних розрахунків технологічних параметрів роботи обладнання Першотравневого кар'єру ПрАТ «Північний ГЗК», було доведено ефективність використання мобільних дробарно-перевантажувальних комплексів.

У першому розділі кваліфікаційної роботи виконано комплексний ретроспективний аналіз еволюції технічних засобів, що складають основу сучасної архітектури екскаваторно-автомобільних комплексів на відкритих гірничих роботах. Дослідження охопило закономірності розвитку кар'єрних екскаваторів, технологічного автотранспорту, акумулюючих бункерів-перевантажувачів та самохідних гусеничних платформ. Завдяки проведеному аналізу вдалося ідентифікувати найбільш перспективні світові зразки обладнання, чітко окреслити раціональні межі їхнього застосування, а також систематизувати їх ключові конструктивні переваги та експлуатаційні обмеження.

Другий розділ присвячено поглибленому вивченню функціональних принципів та кінематичних особливостей експлуатації сучасних мобільних бункерів-перевантажувачів. У роботі детально обґрунтовано механізм їхньої взаємодії з суміжними ланками ланцюга та доведено технологічну перевагу над класичними схемами прямого відвантаження «екскаватор-самоскид». До базових переваг віднесено:

1. суттєве підвищення годинної продуктивності комплексу завдяки мінімізації часу безпосереднього наповнення кузовів та

повному нівелюванню простоїв екскаватора в очікуванні порожнього транспорту.

2. підвищення загального рівня промислової безпеки та охорони праці безпосередньо у зоні ведення виймально-навантажувальних робіт.

3. зниження руйнівних динамічних та ударних навантажень на металоконструкції й підвіску автосамоскидів за рахунок прецизійного регулювання щільності та траєкторії рудного потоку через випускний тракт бункера.

4. скорочення тривалості підготовчо-допоміжних маневрів автотранспорту у вибої завдяки розгортанню інтелектуальних систем цифрової автоматизації та зв'язку.

5. забезпечення безперервності та ритмічності функціонування всього комплексу шляхом утримання постійного буферного об'єму підірваної гірничої маси в акумулюючій місткості перевантажувача.

У третьому розділі здійснено практичну оцінку техніко-економічної ефективності впровадження мобільних перевантажувальних пунктів у технологічні процеси кар'єру ПрАТ «Північний ГЗК». Інженерні розрахунки показали, що за умов відпрацювання рудних зон, інтеграція 3 одиниць мобільних дробарно-перевантажувальних комплексів дозволяє переглянути парк обладнання з виведенням з експлуатаційного контуру 1 кар'єрного екскаватора та 4 великовантажних автосамоскидів. Встановлено зворотну залежність: зі зменшенням відстані транспортування породи питома ефективність та рентабельність застосування перевантажувачів демонструють стабільне зростання.

Водночас оптимізація структури автомобільного парку відкриває додаткові перспективи для переходу на технологічний транспорт меншої вантажопідйомності та більш компактних габаритів. Такий крок

є стратегічно важливим для глибоких залізорудних кар'єрів, де просторове розширення транспортних комунікацій та берм супроводжується значними обсягами додаткових розкривних робіт і капітальними витратами.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. The Ace of Spades // World Mining Equipment. 1996. Vol. 20, № 8, October. P. 3.
2. White L. Advanced technologies and loading shovel design // Mining Engineering. 1995. Vol. 47, № 4. Pp. 340–343.
3. Quick loading // World Mining Equipment. 1996. Vol. 20, № 1, January/February. Pp. 22, 23, 25.
4. White L. Large loading equipment: what the users think // Engineering and Mining Journal. 1996. Vol. 197, № 2. Pp. 32–34.
5. Surface Mining. 2nd ed. Littleton : Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., 1990. 1194 p.
6. Woof M. Dig this ! // World Mining Equipment. 1997. № 1. Pp. 31–34.
7. Самоходный бункер-дозатор для загрузки самосвалов : пат. 625993 СРСР : МПК В65G 67/06 / В. И. Нестеренко, Е. Е. Новиков, И. С. Писаренко, А. Г. Скороход. № 2415913 ; заявл. 25.10.76 ; опубл. 30.09.78, Бюл. № 36.
8. Sassos M. P. In-Pit Crushing and Conveying Systems // Engineering and Mining Journal. 1984. Vol. 185, № 4. Pp. 46–59.
9. WyIme R. J. M. In-Pit Grushers Recently Installed and Newly Planned Installations in Hard Rock and Coal Mines Around the World // Engineering and Mining Journal. 1989. Vol. 190, № 5. Pp. 22–27.
10. Support Staff. The Spotlight Shines on Landmark MMD Invention — Prospect Mining Awards. 27 November 2019. URL: <https://prospectawards.com.au/the-spotlight-shines-on-landmark-mmd-invention/>
11. MMD. Fully Mobile Surge Loader Catalog. Edenvale, South Africa : MMD, 2019.

12. McCarthy P. MMD Changing the Future of Mining. Sydney, Australia, 2019.
13. Londoño J. G., Knights P. F., Kizil M. S. Modelling of In-Pit Crusher Conveyor alternatives // Trans. Institutions Min. Metall. Sect. A Min. Technol. 2013. Vol. 122. Pp. 193–199.
14. MMD. Mmd Sizers. No. 8.1. El Grupo de Empresas MMD, 2017.  
URL:  
[https://www.mmdsizers.com/images/brochure/ES\\_MMD\\_Products\\_and\\_Applications\\_Brochure\\_v8-1-Online.pdf](https://www.mmdsizers.com/images/brochure/ES_MMD_Products_and_Applications_Brochure_v8-1-Online.pdf).
15. ZhiGang T., DongDong Z., XiaoJie Y., JiaMin W., Yu S. Evaluation of Open-Pit Mine Security Risk Based on FAHP-Extenics Matter-Element Model // Geotech. Geol. Eng. 2020. Vol. 38. Pp. 1653–1667.
16. Bise C. J. Mining Engineering Analysis. Min. Eng. Anal. 1986.  
URL: <https://www.osti.gov/biblio/6685713>.
17. Fisonga M., Mutambo V. Optimization of the fleet per shovel productivity in surface mining: Case study of Chilanga Cement, Lusaka Zambia // Cogent Eng. 2017. Vol. 4.
18. Nguyen H. Determination of Shovel – Truck Productivities in Open-Pit Mines. 2019. URL:  
[https://www.researchgate.net/publication/308305875\\_DETERMINATION\\_OF\\_SHOVEL\\_-TRUCK\\_PRODUCTIVITIES\\_IN\\_OPEN\\_-PIT\\_MINES](https://www.researchgate.net/publication/308305875_DETERMINATION_OF_SHOVEL_-TRUCK_PRODUCTIVITIES_IN_OPEN_-PIT_MINES).
19. Herrera Herbert J. Seguridad, Salud y Prevención de Riesgos en Minería : Bachelor's Thesis / Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, Spain, 2008.
20. Kasap Y., Subası E. Risk assessment of occupational groups working in open pit mining: Analytic Hierarchy Process // J. Sustain. Min. 2017. Vol. 16. Pp. 38–46.

21. Teixeira J. V. S., Reis A. M., Mendes F. B., Vergara L. G. L. Occupational and Environmental Safety and Health. Charm, Switzerland : Springer, 2019. Vol. 202.

22. Mutual-Seguridad. Prevención de Riesgos en Minería del Cobre Apunte curso Prevención de Riesgos en Minería del Cobre a rajo Abierto. Santiago, Chile : Mutual de seguridad CChC, 2018.

23. Leiva Peña C. I. Análisis de Implementación de Camiones Autónomos en Mina a cielo Abierto : Bachelor's Thesis / Universidad de Chile. Santiago, Chile, 2020.

24. Xiao D., Shan F., Li Z., Le B. T., Liu X., Li X. A target detection model based on improved tiny-yolov3 under the environment of mining truck // IEEE Access. 2019. Vol. 7. Pp. 123757–123764.

25. Rojas Ramos F. Detección de Objetos Usando Cámaras y Sensores LIDAR : Bachelor's Thesis / Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Puebla, Mexico, 2020.

26. Editec G. E. Detección de Proximidad para Equipos Mineros en Operaciones de Extracción. URL: <https://www.mch.cl/reportajes/deteccion-de-proximidad-para-equipos-mineros-en-operaciones-de-extraccion/>.

27. Потніченко О. М. Звіт з переддипломної практики за освітньо-професійною програмою «Відкрита розробка родовищ» / О. М. Потніченко; ТОВ «Технічний університет «Метінвест Політехніка». – Запоріжжя, 2026. – 25 с.