

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ГІРНИЧО-МЕТАЛУРГІЙНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ВІДКРИТИХ ГІРНИЧИХ РОБІТ

КУЗЬМОВ ВЛАДИСЛАВ ОЛЕГОВИЧ

**ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ
СПОСОБІВ ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ КОМПЛЕКСІВ ЦПТ**

184 «Гірництво»

ОПП «Відкриті гірничі роботи»

ВИПУСКНА РОБОТА

на здобуття освітньо-кваліфікаційного рівня магістра

Керівник _____ / Луценко С.О. /

Завідувач кафедри _____ / Жуков С.О. /

Кривий Ріг

2024 р

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ.....	3
ВСТУП.....	5
Розділ 1 Аналіз умов ефективного застосування комплексів ЦПТ на кар'єрах і факторів, що впливають на їх експлуатаційні показники.....	7
1.1. Аналіз та узагальнення досвіду проектування, будівництва та експлуатації комплексів ЦПТ на кар'єрах.....	7
1.2. Обґрунтування основних факторів, що визначають рівень техніко-економічних показників роботи комплексів ЦПТ	15
Розділ 2 Дослідження і оцінка структури параметрів і режимів роботи ЦПТ.....	24
2.1. Особливості технологічних режимів роботи системи ЦПТ.....	24
2.2. Аналіз використання часу роботи комплексу ЦПТ.....	27
2.3. Аналіз та ймовірно-статистична оцінка роботи структурних елементів системи ЦПТ.....	30
2.4. Вплив подрібнення порід на ефективність обладнання ЦПТ.....	35
Розділ 3 Обґрунтування раціональних способів підвищення ефективності ЦПТ з допомогою попутного виробництва будівельних матеріалів	42
3.1. Обґрунтування доцільності попутного виробництва будівельних матеріалів при ЦПТ.....	42
3.2. Варіанти технологічних схем ЦПТ із попутним виробництвом будівельних матеріалів.....	46
Загальні висновки та рекомендації.....	49
Бібліографія.....	53

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до магістерської роботи на тему «Дослідження та обґрунтування раціональних способів підвищення продуктивності комплексів ЦПТ» складається з: 57 с., 14 рис., 7 табл., 45 джерел інформації.

"Випускна робота на здобуття освітньо-кваліфікаційного рівня магістра. Кривий Ріг. Криворізький національний університет, 2024. - 57 с."

Актуальність теми. Гірничорудне виробництво характеризується розширенням масштабів впровадження циклічно-поточної технології (ЦПТ), що є одним з основних напрямків технічного переозброєння підприємств та інтенсифікації гірничих робіт при розробці корисних копалин відкритим способом. Комплекси циклічно-поточної технології знайшли широке застосування на великих кар'єрах чорної металургії. У країнах СНД в експлуатації перебуває 15 дробильно-конвеєрних ліній. Комплекси ЦПТ застосовуються на кар'єрах зі складними гірничотехнічними умовами розробки. Для цих кар'єрів характерні великі обсяги переробки гірничої маси, висока щільність порід, що розробляються, значна глибина кар'єру по замкнутому контуру. «Досвід проектування та експлуатації комплексів ЦПТ свідчить про те, що своєчасне впровадження ЦПТ на залізорудних кар'єрах в умовах постійно зростаючої глибини відкритих гірничих робіт дозволяє скоротити витрати на транспортування гірничої маси з великих глибин на 15-20%, знизити собівартість видобутку корисних копалин на 10-15%, підвищити продуктивність праці на основних технологічних процесах в 1,2-1,5 рази» [1, 2]. У той же час досвід експлуатації комплексів ЦПТ свідчить про те, що більшість з них так і не досягли своєї проектної продуктивності, яка в даний час становить 50-60% від проектної, низький коефіцієнт використання обладнання в часі. Однак у зв'язку з поглибленням кар'єрів і зниженням гірничих робіт значення ЦПТ дедалі більше зростає [3, 4].

Таким чином дослідження питань підвищення продуктивності та ефективності застосування комплексів ЦПТ (як діючих, так і тих, що

будуються) є актуальним науковим завданням.

Мета й завдання роботи. Основною метою магістерської роботи є дослідження та обґрунтування раціональних способів підвищення продуктивності комплексів ЦПТ.

Для досягнення поставленої мети в роботі сформовані **основні задачі дослідження:**

1. Виконати аналіз сучасних досліджень щодо питання умов ефективного застосування комплексів ЦПТ на кар'єрах і факторів, що впливають на їх експлуатаційні показники.

2. Дослідити вплив подрібнення порід на ефективність обладнання ЦПТ.

3. Сформулювати основні напрямки подальших досліджень.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ЦИКЛІЧНО-ПОТОКОВА ТЕХНОЛОГІЯ, ЦПТ, ДРОБИЛЬНО-КОНВЕЄРНА ЛІНІЯ.

ВСТУП.

Циклічно-потокова технологія (ЦПТ) є одним із напрямків удосконалення технології відкритої розробки корисних копалин. Комплекси циклічно-потокової технології знайшли широке застосування на великих кар'єрах чорної металургії.

Особливістю роботи системи ЦПТ з автомобільно-конвеєрним транспортом є взаємна узгодженість у роботі двох транспортних систем: циклічної ланки - екскаваторно-автомобільного комплексу кар'єру та потокової ланки - дробильно-конвеєрного комплексу. При цьому визначальним фактором є екскаваторно-автомобільний комплекс. Процеси подрібнення і конвеєрного транспортування мають високу надійність і ритмічність.

Гірничорудне виробництво характеризується розширенням масштабів впровадження циклічно-потокової технології (ЦПТ), що є одним з основних напрямків технічного переозброєння підприємств та інтенсифікації гірничих робіт при розробці корисних копалин відкритим способом. У країнах СНД в експлуатації перебуває 15 дробильно-конвеєрних ліній. На даний час ЦПТ в Україні застосовується на 5 гірничо-збагачувальних комбінатах України. В експлуатації знаходиться 9 дробильно-конвеєрних ліній, у т.ч. рудних – 6, породних – 2, рудно-порідних – 1, У перспективі можливе будівництво нових комплексів ЦПТ та подовження діючих [5].

Комплекси ЦПТ застосовуються на кар'єрах зі складними гірничотехнічними умовами розробки. Для цих кар'єрів характерні великі обсяги переробки гірничої маси, висока щільність порід, що розробляються, значна глибина кар'єру по замкнутому контуру. Досвід проектування та експлуатації комплексів ЦПТ свідчить про те, що своєчасне впровадження ЦПТ на залізородних кар'єрах в умовах постійно зростаючої глибини відкритих гірничих робіт дозволяє скоротити витрати на транспортування гірничої маси з великих глибин на 15-20%, знизити собівартість видобутку

корисних копалин на 10-15%, підвищити продуктивність праці на основних технологічних процесах в 1,2-1,5 рази [1, 2]. У той же час досвід експлуатації комплексів ЦПТ свідчить про те, що більшість з них так і не досягли своєї проектної продуктивності, яка в даний час становить 50-60% від проектної, низький коефіцієнт використання обладнання в часі. Однак у зв'язку з поглибленням кар'єрів і зниженням гірничих робіт значення ЦПТ дедалі більше зростає [3, 4].

Таким чином дослідження питань підвищення продуктивності та ефективності застосування комплексів ЦПТ (як діючих, так і тих, що будуються) є актуальним науковим завданням.

Мета й завдання роботи. Основною метою магістерської роботи є дослідження та обґрунтування раціональних способів підвищення продуктивності комплексів ЦПТ.

Для досягнення поставленої мети в роботі сформовані **основні задачі дослідження:**

1. Виконати аналіз сучасних досліджень щодо питання умов ефективного застосування комплексів ЦПТ на кар'єрах і факторів, що впливають на їх експлуатаційні показники.
2. Дослідити вплив подрібнення порід на ефективність обладнання ЦПТ.
3. Сформулювати основні напрямки подальших досліджень.

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ УМОВ ЕФЕКТИВНОГО ЗАСТОСУВАННЯ КОМПЛЕКСІВ ЦПТ НА КАР'ЄРАХ І ФАКТОРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ЇХ ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ПОКАЗНИКИ

1.1. Аналіз та узагальнення досвіду проектування, будівництва та експлуатації комплексів ЦПТ на кар'єрах

Циклічно-потокова технологія (ЦПТ) є одним із напрямків удосконалення технології відкритої розробки корисних копалин. Комплекси циклічно-потокової технології знайшли широке застосування на великих кар'єрах чорної металургії. На даний час ЦПТ в Україні застосовується на 5 гірничо-збагачувальних комбінатах України. В експлуатації знаходиться 9 дробильно-конвеєрних ліній, у т.ч. рудних – 6, породних – 2, рудно-порідних – 1, У перспективі можливе будівництво нових комплексів ЦПТ та подовження діючих [5].

Питома вага ЦПТ у загальному обсязі переробки гірничої маси зростає з 1,6% у 1995 р. до 10,6% у 2010 р. У 2010-2022 роках більше 30% залізної руди видобувалася із застосуванням ЦПТ (питома вага циклічно-потокової технології у країнах СНД у загальному обсязі руди становить 32,2%). Наразі проектна продуктивність усіх комплексів ЦПТ становить 160 млн. т/рік, а окремих комплексів змінюється від 10 до 22 млн. т/рік У 2021 році з використанням ЦПТ видобуто 135,3 млн. т гірничої маси, у т.ч. залізної руди близько 94,8 млн. т. Проектні потужності комплексів ЦПТ загалом використовуються на 45-50% і становлять близько 20% рівня завантаження комплексів ЦПТ 2000 року. Розподіл обсягів ЦПТ за видами гірничої маси таке: видобуток руди 85-90%, скельної породи 10-15% (близько 10 млн. т/рік). Скальну породу переробляють комплексами ЦПТ на Північному (Ганнівський кар'єр), Центральному (кар'єр №1), Арселор Міттал Кривий Ріг (кар'єр №2-біс). Є проектні опрацювання породних комплексів для кар'єрів Ковдрського ГЗК, ПівдГЗК, ПівнГЗК. У нових проектах передбачається

паралельне розміщення двох конвеєрних ліній ЦПТ (рудної та породної), їх взаємозамінність (Ганнівський та Першотравневий кар'єри ПівнГЗК, кар'єр №2-біс Арселор Міттал Кривий Ріг).

Обсяги ЦПТ постійно зростали з 45 млн. т у 2000 р. до 160, 5 млн. т у 2020 р. (рис. 1.1), у т. ч. на видобутку руди з 16,8 млн. т до 142,5 млн. т і на переробці скельних розкривних порід з 8,2 млн. т до 26 млн. т.

У перспективі є значне збільшення обсягів ЦПТ на залізородних кар'єрах.

Комплекси ЦПТ застосовуються на кар'єрах зі складними гірничотехнічними умовами розробки. Для цих кар'єрів характерні великі обсяги переробки гірничої маси 40-100 млн. т/рік (табл. 1.1), зокрема. з видобутку руди 10-35 млн. т/рік, висока щільність порід, що розробляються 2,8 - 3,5 т/м³, значна глибина кар'єру по замкнутому контуру - 250-450 м. Проектна глибина окремих кар'єрів на кінець відпрацювання складе понад 700 м (Інгулецький, ПівдГЗК).

Інтенсивне зниження гірничих робіт (8-15 м/рік), характерне більшості залізородних кар'єрів, за прогноною оцінкою збережеться й у майбутньому (рис. 1.2).

Середня глибина кар'єрів з комплексами ЦПТ збільшилася з 250 м у 2000 р. до 400 м у 2020 р. Окремі кар'єри досягли глибини до 450 м (Першотравневий, ПівдГЗК). За прогноною оцінкою інтенсивність поглиблення близько 8 м/рік збережеться для кар'єрів цієї групи до 2035 р., що може призвести до значного зниження гірничих робіт. Середня глибина кар'єрів із комплексами ЦПТ у 2030 р. може становити 450 м. Понад 500 м досягне глибина Першотравневого та Інгулецького кар'єру. Збільшення глибини кар'єрів спричинить ускладнення гірничотехнічних умов розробки родовищ, збільшення витрат за транспортування гірничої маси, ускладнення транспортних схем.

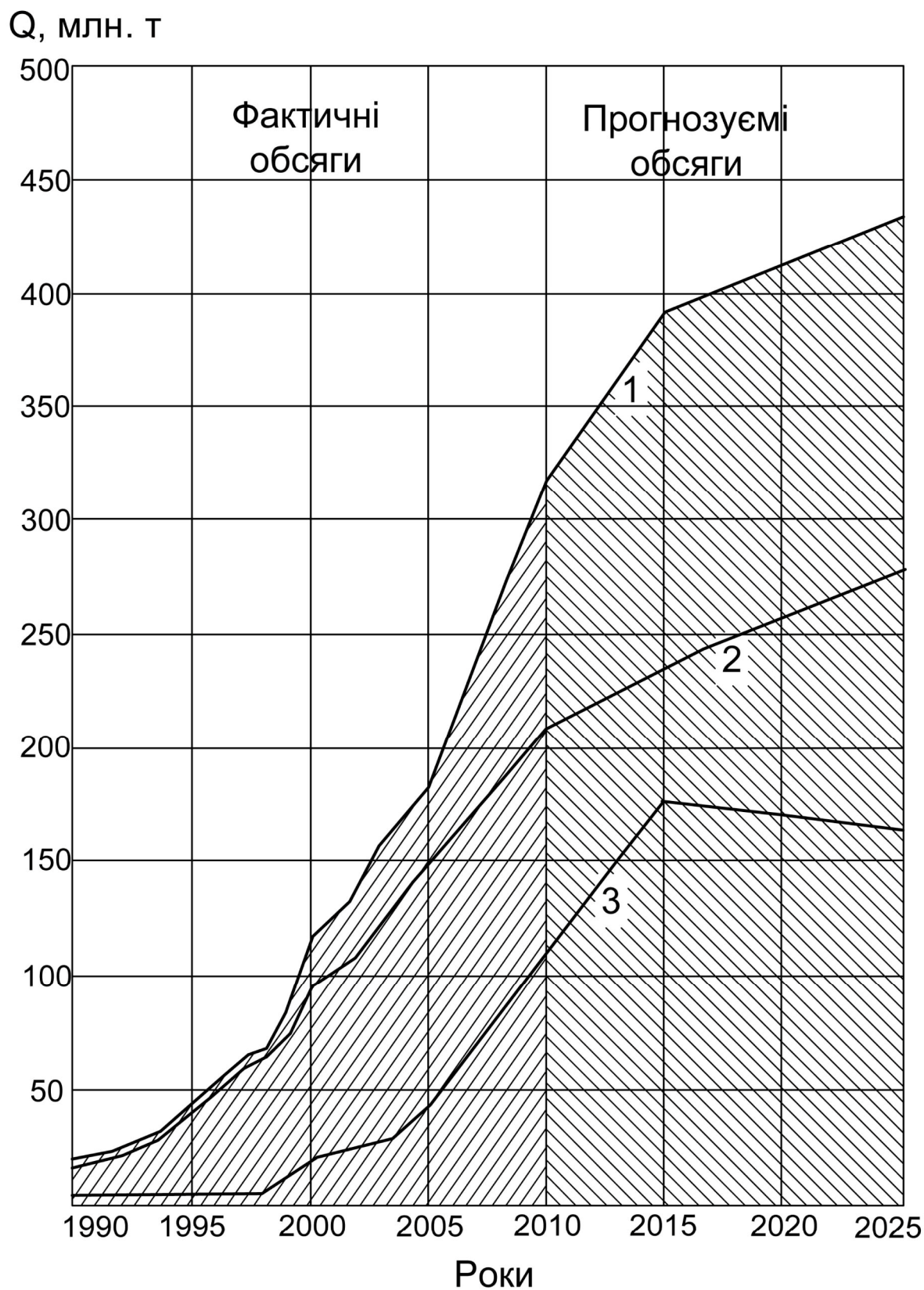


Рис. 1.1. Динаміка обсягів переробки гірничої маси комплексами ЦПТ:
 1- всього обсягів по ЦПТ, 2 - обсяги ЦПТ з переробки руди; 3 - обсяги ЦПТ з переробки скельного розкриву.

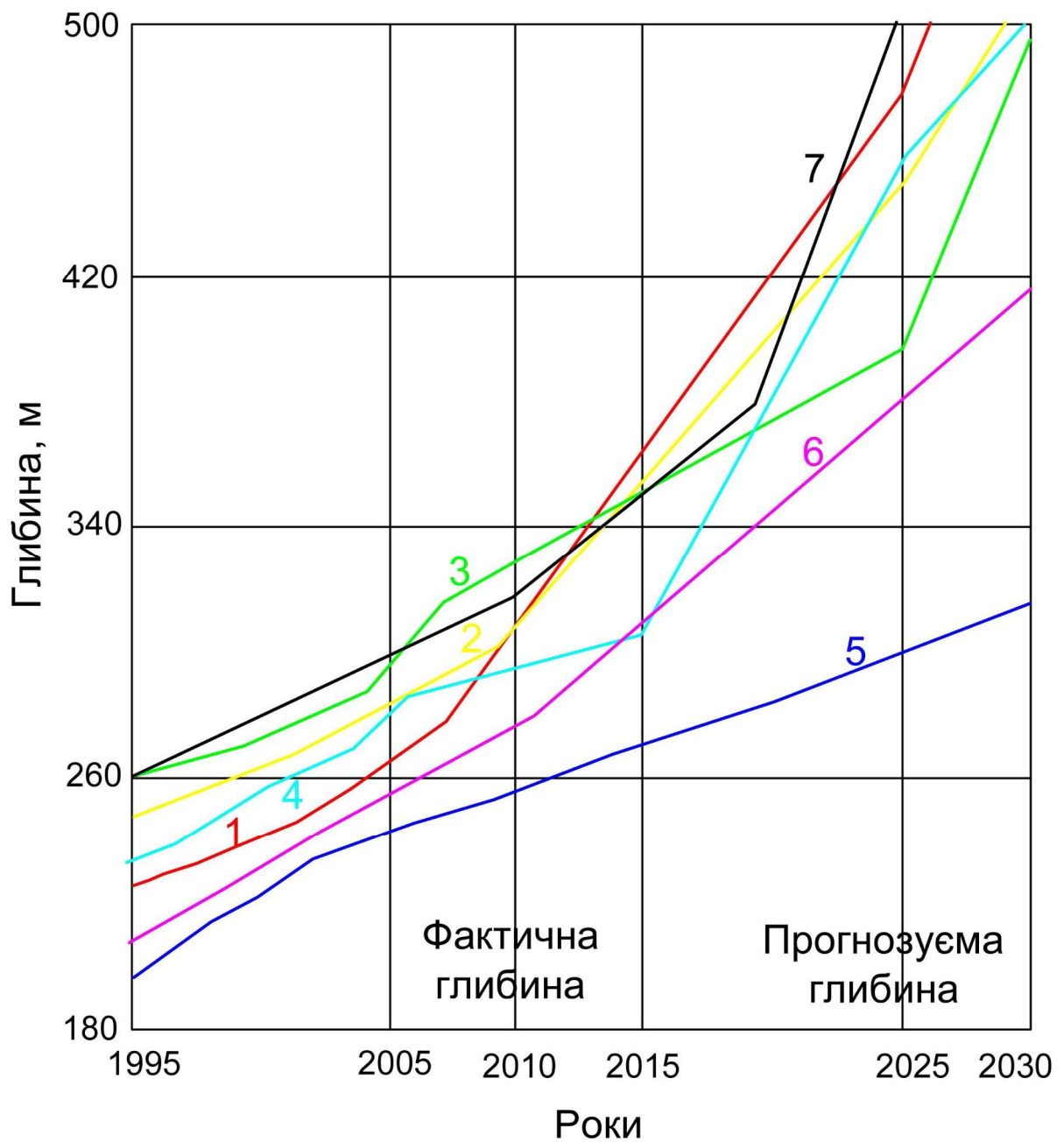


Рис. 1.2. Фактична та прогнозована глибина кар'єрів:

1 - ІнГЗК, 2 - ЦГЗК (кар'єр №1), 3 - Ганнівський, 4 - Першотравневий, 5 – Арселор Міттал Кривий Ріг (кар'єр №2), 6 - Арселор Міттал Кривий Ріг (кар'єр №3), 7 - ПІВДГЗК.

Таблиця 2.2

Гірничотехнічні умови розробки родовищ з використанням комплексів ЦПТ
з автомобільно-конейерним транспортом

Кар'єри	Річний обсяг переробки гірничої маси, млн. т		Об'ємна вага гірничої маси, т/м ³		Глибина кар'єру по замкнутому контуру, м			Висота підйому гірничої маси комплексом, м ЦПТ, м	Висота робочої зони при ЦПТ, м
	всього	в т.ч. руди	скельних порід	руди	проектна	фактична	прогнозуєма		
Першотравневий	99,3	28,3	2,8	3,2	500	290	405	120	180
Ганнівський	79,2	14,6	2,8	3,1	500	195	290	185	144
Інгулецький	68,1	34,8	2,8	3,36	770	269	430	150	75
№ 1 ЦГЗКа	49,4	11,2	2,9	3,3	525	287	400	257	180

Проектні техніко-економічні показники комплексів ЦПТ свідчать про перевагу цієї технології на глибоких кар'єрах у порівнянні з технологіями з циклічними видами транспорту [6, 7].

Розрахунковий економічний ефект від застосування ЦПТ на глибоких кар'єрах становить 20-55 млн грн/рік. Позитивний ефект від впровадження ЦПТ досягається також завдяки спрощенню організації робіт у робочій зоні кар'єру, поліпшенню умов роботи складального автотранспорту внаслідок скорочення відстані транспортування та робочого парку машин.

Нині відомо кілька класифікацій технологічних схем відкритої розробки родовищ, у яких схеми ЦПТ виділено окремий клас [8]. Теоретично обґрунтовані технологічні схеми ЦПТ з підвищеним ступенем потоковості за рахунок конвеєрного транспортування гірничої маси від вибою до пункту

розвантаження, а також схеми з різними способами підготовки гірничої маси для транспортування конвеєрним транспортом (гуркотінням, подрібненням, комбіновані). Однак у практиці відкритих гірничих робіт на залізорудних кар'єрах знайшли застосування схеми ЦПТ вузького класу з підготовкою гірничої маси подрібненням і складальним транспортом циклічної дії (автотранспортом та залізничним транспортом) (рис. 1.3).

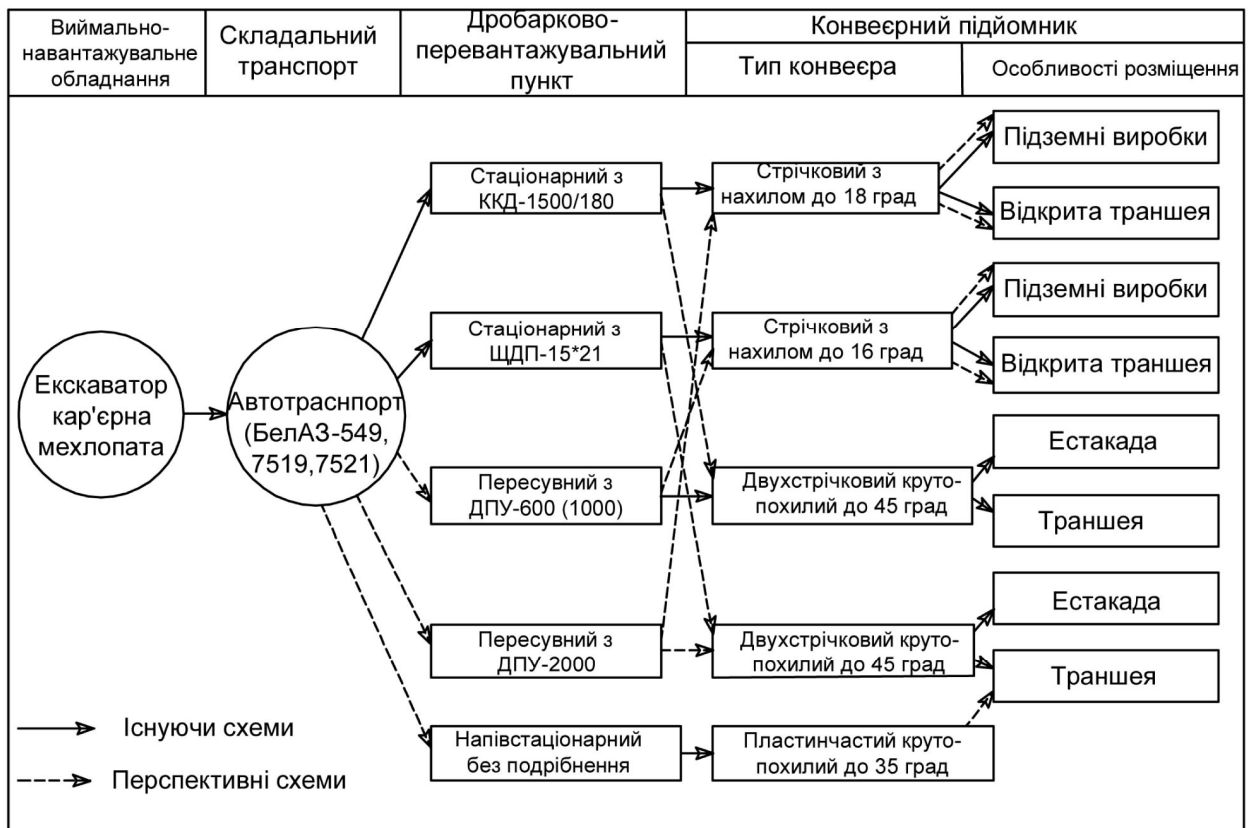


Рис. 1.3. Варіанти перспективних технологічних схем ЦПТ з автомобільно-конвеєрним транспортом

При будівництві діючих комплексів ЦПТ було використано в основному типові обладнання, яке випускається промисловістю для дробильно-збагачувальних фабрик (дробарки великого подрібнення ККД-1500/180, ЩДП-15x21, стрічкові конвеєри та ін.). Для встановлення цього обладнання в кар'єрі потрібна споруда масивних фундаментів та розміщення в опалюваних приміщеннях. Внаслідок цього будівлі та споруди комплексів

ЦПТ мають велику капіталомісткість, значні геометричні розміри і для їх розміщення в кар'єрі потрібні значні площі. Дробильно-перевантажувальні пункти (ДПП) комплексів ЦПТ, що розміщуються на глибоких горизонтах кар'єрів, аналогічні корпусам великого подрібнення дробильно-збагачувальних фабрик. Близько 60% їхньої вартості становлять витрати на будівельно-монтажні роботи. ДПП розміщуються на неробочому борту кар'єру на спеціально сформованих гірничими роботами майданчиках з розмірами 50-90м x 100-150м. При формуванні майданчиків для розміщення ДПП проводиться додаткове виймання розкритих порід, що іноді досягає обсягів у кілька мільйонів м³. Тривалість будівництва ДПП після формування майданчика 2-3 роки. За період будівництва комплексу ЦПТ гірничі роботи поглиблюються на 80-100 м, що сприяє зниженню ефективності ЦПТ через збільшення відстані доставки гірничої маси автотранспортом до перевантажувального пункту.

Підтримка ефективності ЦПТ у часі може бути досягнуто стабілізацією проектної потужності по руді та породі [9]. Практика показала, що жорсткі схеми ЦПТ із стаціонарними дробильними пунктами вимагають розробки способів регулювання пропускної спроможності окремих ланок та елементів. Більшість комплексів ЦПТ призначені для подачі одного виду гірничої маси, руди або породи, тому за рахунок організаційно-технічних заходів з'явилася можливість збільшення їхньої продуктивності.

Внаслідок швидких темпів поглиблення кар'єрів, що використовують комплекси ЦПТ, виникає проблема освоєння глибоких горизонтів, у зв'язку з чим виникає необхідність у розробці нового спеціалізованого обладнання для комплексів ЦПТ, яке може ефективно працювати на великих глибинах кар'єрів.

До такого типу обладнання відносяться круто похилі стрічкові та пластинчасті конвеєри (з кутом нахилу до 45⁰), пересувні дробильні установки в блоковому (модульному) виконанні, дробарки із завантаженням на горизонті їх установки, різне допоміжне обладнання ЦПТ (в т.ч. і для

виробництва будівельних матеріалів та щебеню). Круто похилі стрічкові конвеєри розробляються в інститутах УкрНДІпроект, ІГТМ, ІГД УрО РАН, та ін. За кордоном є позитивний досвід експлуатації промислової установки крутопохилого двострічкового конвеєра на кар'єрі Майданпек (Югославія). Використання крутопохилих конвеєрів дозволяє розміщувати конвеєрні підйомники в кар'єрі з кутом нахилу близьким до кута укусу борту і тим самим до мінімуму скоротити гірничопідготовчі роботи з підготовки траси підйомника, що особливо актуально при розробці глибинних зон кар'єрів.

Ведуться конструкторські роботи зі створення магістральних конвеєрів у виконанні У1 (для експлуатації при температурах до мінус 45-50⁰ С), використання яких дозволить виключити будівництво дорогих опалювальних галерей для їх розміщення. Конвеєри можуть мати блокову конструкцію ставу та приводних станцій, що дозволить скоротити терміни монтажу та спростить їх переміщення в кар'єрі. Для розміщення конвеєрів у кар'єрному просторі розглядаються варіанти відкритого розміщення конвеєрних витягів у траншеях (напівтраншеях) на борту кар'єру, що дозволяє суттєво скоротити витрати порівняно з розміщенням у підземних виробках.

Одним з перспективних напрямків створення нової техніки для ЦПТ є розробка мобільних дробильних установок у блочному (модульному) виконанні на базі конусних та щоккових дробарок та допоміжного обладнання до них: гусеничних транспортерів для переміщення модулів дробильних установок вантажопідйомністю 500-1000 т, на пневмоколісному або гусеничному ході вантажопідйомністю до 1000 т. Мобільна дробильна установка складається з 2-4 укрупнених блоків, які не розбираються при переміщенні, а перевозяться повністю за допомогою гусеничного транспортера. Таке конструктивне рішення дозволяє швидко та з мінімальними експлуатаційними витратами переміщувати дробильну установку у кар'єрному просторі. За кордоном мобільні дробильні установки, виготовлені відомими фірмами ("Круп" Німеччина, "Кобе Стіл" Японія та ін), знайшли порівняно широке застосування на кар'єрах [10-22].

Ефективним шляхом скорочення капітальних витрат на глибоких кар'єрах може стати виробництво щебеню на комплексах ЦПТ із скельних порід, що попутно видобуваються.

Нове спеціалізоване обладнання у поєднанні з перспективними технологіями дозволять суттєво розширити можливості та ефективність застосування ЦПТ у складних гірничотехнічних умовах сучасних кар'єрів.

1.2. Обґрунтування основних факторів, що визначають рівень техніко-економічних показників роботи комплексів ЦПТ

Чинники, що визначають ефективність ЦПТ можна розділити на групи (табл. 1.2).

Група технологічних факторів враховує умови кар'єру, які залежать від форми рудного тіла, прийнятої системи розробки та технологічних рішень, прийнятих на стадії проектування.

Природні чинники відбивають фізико-механічні властивості гірських порід, кліматичні умови.

Конструктивні чинники характеризують параметри технологічного устаткування комплексу ЦПТ.

Група організаційних чинників враховує загальну організацію робіт, показники ефективності використання обладнання ЦПТ.

Економічні фактори враховують рівень цін на обладнання системи ЦПТ за технологічними переділами та питомі вартісні показники на матеріали та енергоносії, що використовуються при експлуатації обладнання ЦПТ.

Таблиця 1.2

Фактори, що визначають рівень ефективності ЦПТ

Група факторів	Фактори	Умовні позначення
Технологічні	1. Середньозважена відстань транспортування автотранспортом	$L_{\text{ср}}$
	2. Річний обсяг переробки гірничої маси комплексом ЦПТ	$Q_{\text{г}}$
	3. Висота підйому гірничої маси автотранспортом	$H_{\text{па}}$
	4. Висота робочої зони в кар'єрі під час роботи з ЦПТ	$H_{\text{рз}}$
	5. Кут нахилу конвеєрного витягу	$\alpha_{\text{к}}$
	6. Висота підйому гірничої маси конвеєрним витягом	$H_{\text{пк}}$
Природні	1. Щільність гірничої маси	γ
	2. Міцність гірничої маси по шкалі проф. Протод'яконова	β
	3. Кліматична зона розташування кар'єру	
Конструктивні	1. Ємність ковша екскаватора	$E_{\text{е}}$
	2. Місткість кузова автосамоскида	$E_{\text{а}}$
	3. Довжина конвеєрної лінії	$L_{\text{к}}$
	4. Ширина транспортерної стрічки конвеєра	$B_{\text{к}}$
	5. Швидкість транспортерної стрічки	$V_{\text{к}}$
	6. Кількість конвеєрів у лінії ЦПТ	$n_{\text{к}}$
	7. Комплектація обладнання ДПП	
Організаційні	1. Календарний фонд часу	$T_{\text{г}}$
	2. Тривалість робочої зміни	$T_{\text{см}}$
	3. Річний фонд робочого часу	$T_{\text{р}}$
	4. Коефіцієнт використання комплексу ЦПТ у часі (залежить від часу ППР, вихідних днів, простоїв з технологічних, організаційних та інших причин)	$K_{\text{в}}$
Економічні	1. Ціна автосамоскида	$C_{\text{а}}$
	2. Ціна екскаватора	$C_{\text{е}}$
	3. Ціна магістрального конвеєра	$C_{\text{МК}}$
	4. Вартість гірничо-капітальних робіт	
	5. Питомі вартісні показники	

Аналіз звітних даних залізородних кар'єрів дозволяє зробити висновок, що сукупний вплив перелічених груп чинників виявляється у таких

показниках як річний обсяг переробки гірничої маси, годинна продуктивність комплексу, коефіцієнт використання комплексу у часі, собівартість перевезення гірничої маси.

Річний обсяг переробки гірничої маси переважно відбиває вплив групи технологічних чинників.

Коефіцієнт використання гірничої маси пов'язаний із впливом організаційних та конструктивних факторів.

На показники годинної продуктивності та собівартості переробки 1 т гірничої маси впливають фактори з усіх перерахованих груп.

За даними підприємств проведено кореляційний аналіз встановлення взаємозв'язків між переліченими показниками (табл. 1.3).

Таблиця 1.3

Показники тісноти кореляційного зв'язку (r) між основними показниками роботи комплексів ЦПТ

Чинники	Годинна продуктивність комплексу	Річний обсяг переробки гірничої маси	Коефіцієнт використання комплексу	Собівартість
Годинна продуктивність	X	0,87	- 0,26	0,41
Річний обсяг переробки гірничої маси	0,87	X	0,01	0,55
Коефіцієнт використання комплексу	- 0,26	0,01	X	0,53
Собівартість ЦПТ	0,41	0,55	0,53	X

Аналіз показників таблиці свідчить, що між показниками роботи комплексу існує функціональна зв'язок.

Найбільш тісно пов'язані між собою річна та годинна продуктивність, собівартість, річна продуктивність та коефіцієнт використання комплексу. Взаємозв'язки між факторами мають складний характер.

Технологічні рішення прийняті на стадії проектування безпосередньо формують умови роботи складального автотранспорту через висоту підйому-спуску вантажу і середньозважену відстань транспортування. Взаємодія екскаваторів з автосамоскидами проявляється через співвідношення ємностей ковша екскаватора, кузова автосамоскида і часу циклу екскавації і впливає на тривалість навантаження і транспортного циклу автосамоскида.

Основні питання застосування циклічно-поточної технології та інших транспортних систем на рудних кар'єрах відбито у працях академіків Н.В. Мельникова, В.В. Ржевського, К.М. Трубецького, Н.М. Мельникова, член-кор. РАН В.Л. Яковлева, проф. М.В. Васильєва, В.П. Смірнова, П.П. Бастана, В.С. Хохрякова, О.М. Шиліна, В.А. Галкіна, Т.М. Томакова, М.Г. Потапова. Питання підвищення ефективності транспортних систем відбито у дослідженнях д.т.н. М.С. Четверика, Б.М. Тартаковського, С.П. Решетняка, А.В. Гальянова, Ю.І. Льоля, к.т.н. А.А. Котяшева, Ю.В. Стеніна, А.Г. Сісіна, С.І. Бурикіна, Т.П. Воробйова та ін.

Середньозважена відстань транспортування автотранспортом, обсяг гірничої маси, що перевозиться, тривалість транспортного циклу в свою чергу визначає змінну продуктивність автосамоскида, кількість машин в роботі і впливає, зрештою, на рівень техніко-економічних показників роботи складального автотранспорту (рис. 1.4) [23, 24].

Існують більш складні взаємозв'язки між факторами, що впливають на показники роботи складального автотранспорту в схемах ЦПТ. Якість покриття автошляхів, середній ухил траси відбивається через швидкість руху автосамоскида на тривалість руху. Щільність гірничої маси, ступінь її розпушення в кузові автосамоскида, відображається на коефіцієнті використання його вантажопідйомності. Все вище перераховані фактори безпосередньо визначають змінну продуктивність автосамоскида.

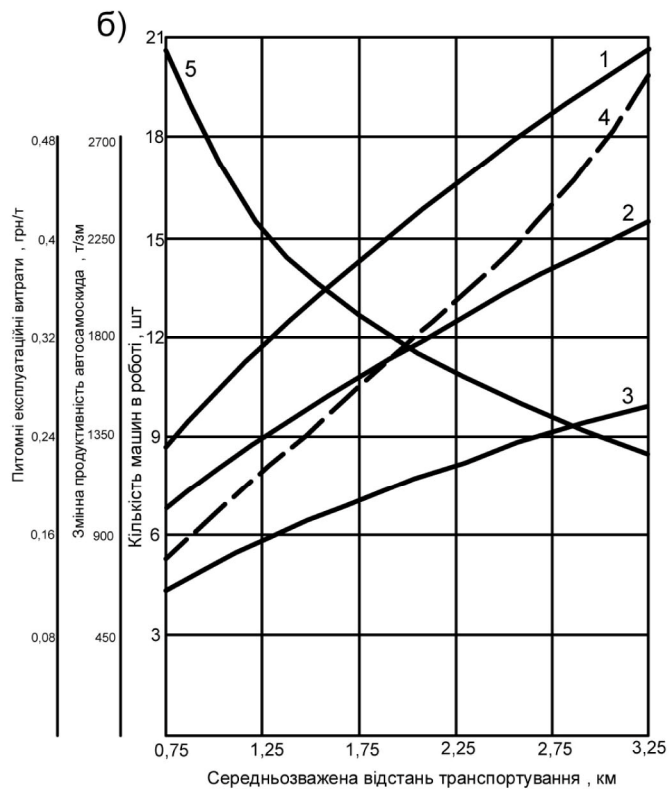
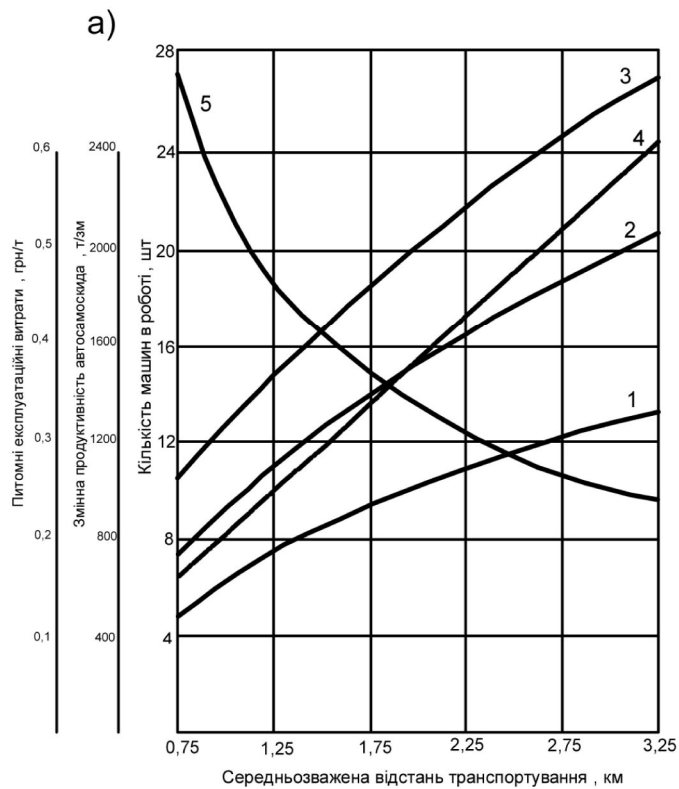


Рис. 1.4. Вплив зміни середньозваженої відстані транспортування на показники роботи автотранспорту БелАЗ-131 (а), БелАЗ-7519 (б); 1, 2, 3 - робочий парк автосамоскидів при річній продуктивності відповідно 10 млн. т, 15 млн. т, 20 млн. т; 4 - питомі приведені витрати; 5 - змінна продуктивність автосамоскида.

Різносторонній вплив мають чинники з перерахованих груп на показники роботи дробильно-конвеєрного комплексу. Фізико-механічні властивості гірничої маси (щільність, міцність, вологість та ін), річний обсяг переробки комплексом ЦПТ визначають конструкцію дробильно-перевантажувального пункту, впливають на коефіцієнт готовності комплексу і конструктивні параметри конвеєрів.

Є взаємозв'язок між висотою підйому гірничої маси комплексом ЦПТ, похилою довжиною конвеєрів, річним обсягом транспортування гірничої маси, сукупним впливом економічних факторів на питомі наведені витрати по конвеєрному витягу (рис. 1.5).

Одні й ті ж самі чинники різною мірою впливають на роботу суміжних технологічних ланок системи ЦПТ і визначають рівень показників роботи.

Аналіз роботи суміжних ланок системи ЦПТ і характеру їх взаємодії між собою показує, що найбільш повно взаємодія різних факторів відбивається на показнику годинної продуктивності комплексу ЦПТ.

Відома формула визначення годинної продуктивності комплексу ЦПТ:

$$Q_{год} = \frac{Q_2}{T_p \cdot K_2} \quad (1.1)$$

Вплив різних чинників на годинну продуктивність комплексу показано на рис. 1.6. Годинна продуктивність є функцією одного з факторів при середньому значенні інших.

$$\begin{aligned} Q_{год} &= f(Q_{річн}) \\ Q_{год} &= f(T_{річн}) ; \\ Q_{год} &= f(K_{річн}) ; \\ Q_{год} &= f(Y) \end{aligned} \quad (1.2)$$

Кожен із перелічених факторів належить до однієї з виділених груп факторів.

Таким чином рівень ефективності техніко-економічних показників ЦПТ визначається безліччю факторів, що включають технологічні, природні, конструктивні, організаційні та економічні фактори. Ефективність застосування ЦПТ на кар'єрах визначається показником питомих витрат за транспортування одиниці (1т) гірничої маси.

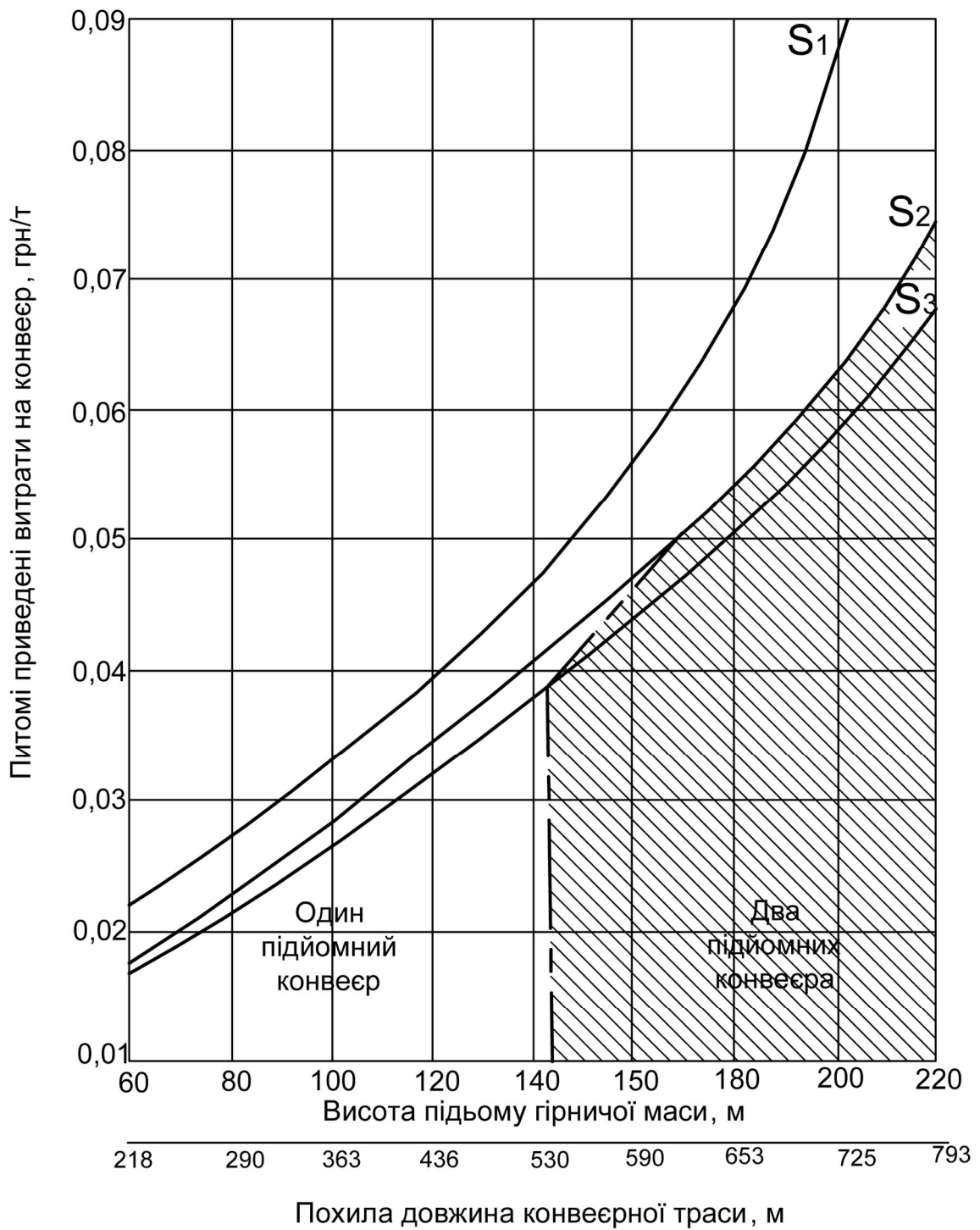


Рис. 1.5. Вплив зміни висоти підйому гірничої маси комплексом ЦПТ на питомі наведені витрати по конвеєрному транспорту: S1 – при річній продуктивності 10 млн. т; S2 – при річній продуктивності 15 млн. т; S3 - при річній продуктивності 20 млн. т.

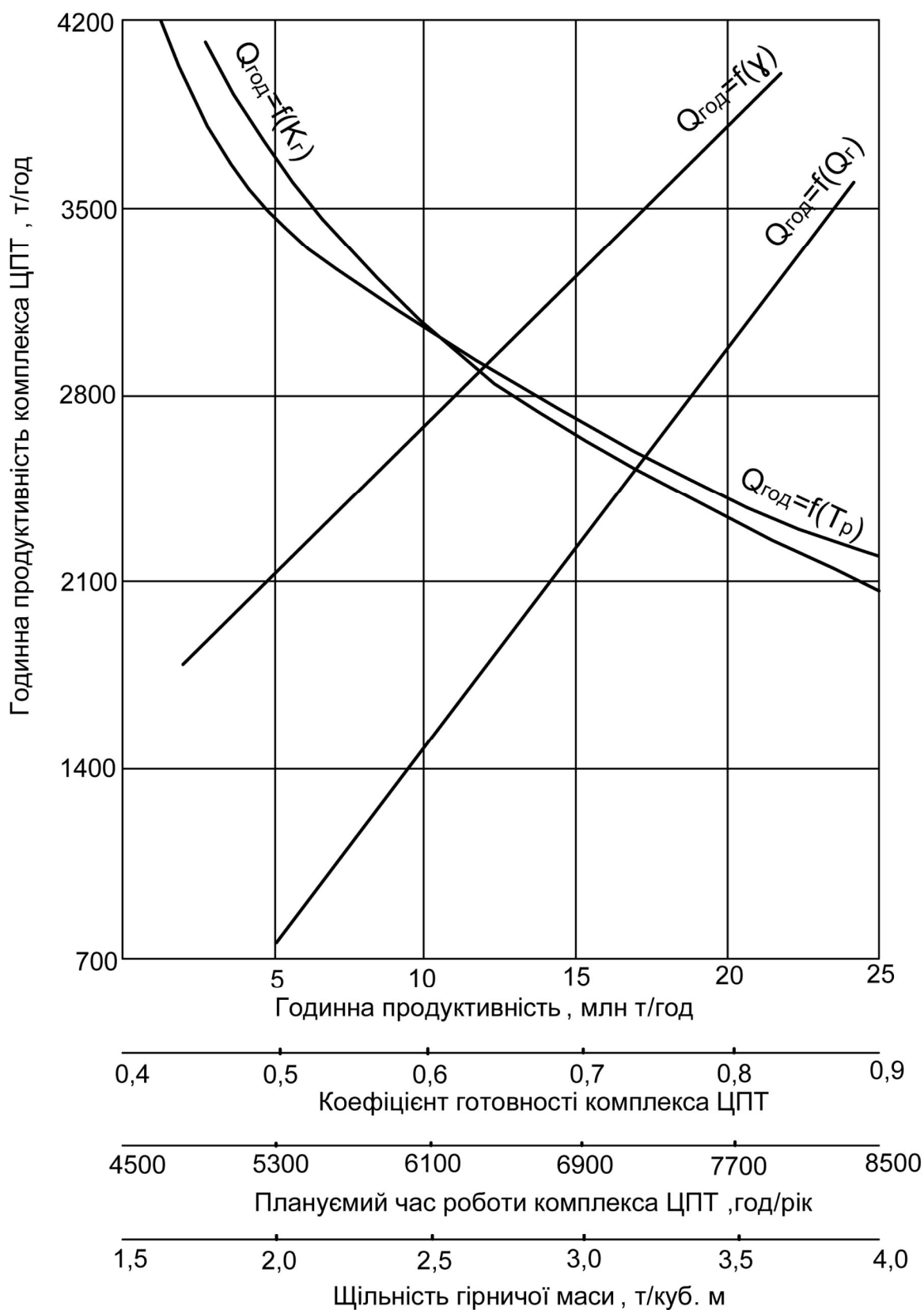


Рис. 16. Вплив різних факторів, що характеризують експлуатаційні показники комплексів ЦПТ (K_r , Q_r , T_p), на годинну продуктивність дробильно-конвеєрного комплексу ЦПТ

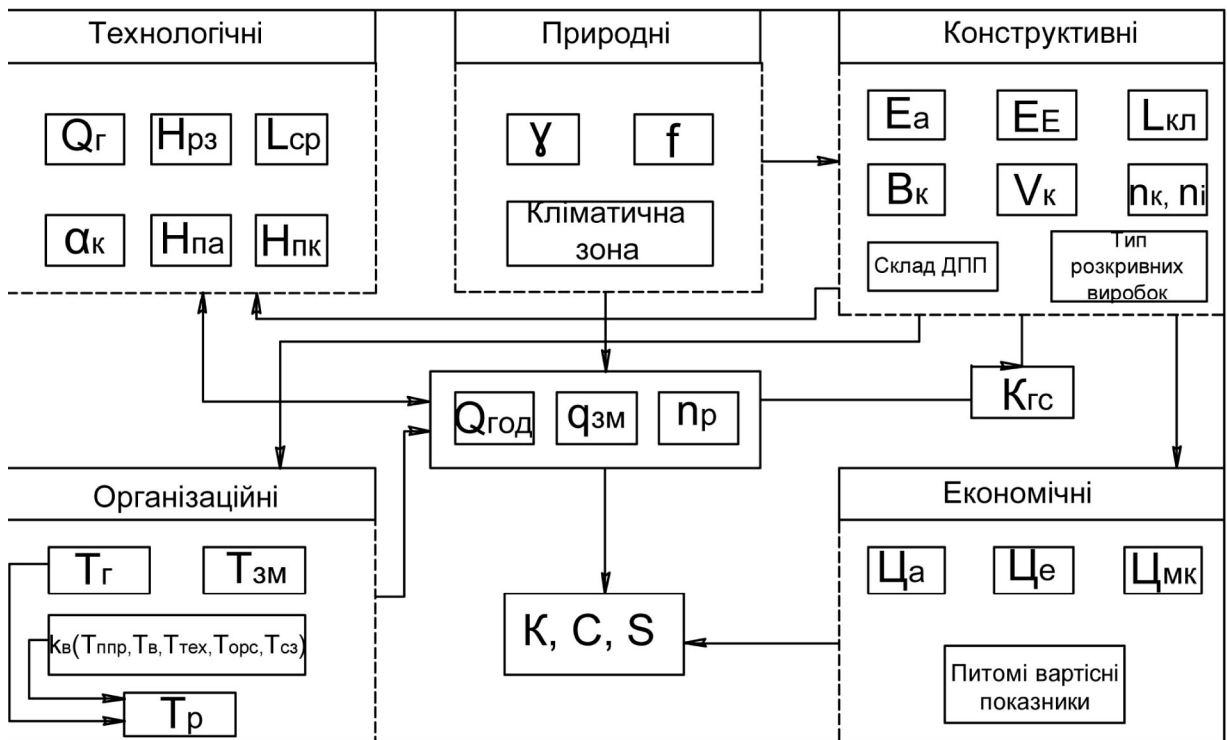


Рис. 1.7. Блок-схема впливу основних чинників на показники ЦПТ, що визначають рівень її ефективності.

Основними чинниками, що впливають на формування показника питомих витрат, є: річний обсяг переробки гірничої маси, висота підйому гірничої маси комплексом ЦПТ (автотранспортом і дробильно-конвеєрним комплексом), щільність гірничої маси, швидкість конвеєрів у конвеєрній системі, надійність елементів системи, коефіцієнтом використання річного фонду робочого дня.

Дія інших факторів проявляється опосередковано через вищезазначені (рис. 1.7.).

Найбільш повно сукупний вплив всіх факторів проявляється у часовій продуктивності системи ЦПТ.

РОЗДІЛ 2 ДОСЛІДЖЕННЯ І ОЦІНКА СТРУКТУРИ ПАРАМЕТРІВ І РЕЖИМІВ РОБОТИ ЦПТ

2.1. Особливості технологічних режимів роботи системи ЦПТ

Під технологічними режимами роботи комплексів ЦПТ мається на увазі сукупність і певна послідовність операцій з розробки та транспортування гірничої маси.

Особливістю роботи системи ЦПТ з автомобільно-конвеєрним транспортом є взаємна узгодженість у роботі двох транспортних систем: циклічної ланки - екскаваторно-автомобільного комплексу кар'єру та потокової ланки - дробильно-конвеєрного комплексу. При цьому визначальним фактором є екскаваторно-автомобільний комплекс. Процеси подрібнення і конвеєрного транспортування мають високу надійність і ритмічність.

Для складального автотранспорту характерна істотна нерівномірність у роботі. Режим руху складального автотранспорту невстановлений ($dv/dt=0$) [24]. Дослідження проведені в ІГД [25, 26], свідчать про те, що експлуатаційні показники складального автотранспорту в схемах ЦПТ характеризується значною варіацією. Найбільшою зміною відрізняються режими руху, загальним показником яких є середньотехнічна швидкість, що визначається з виразу

$$V_{cp.m} = \frac{2 \cdot V_{cp.z} \cdot V_{cp.n}}{V_{cp.z} + V_{cp.n}} \quad (2.1)$$

де $V_{cp.z}, V_{cp.n}$ - середні швидкості руху автосамоскидів, відповідно, у вантажному та порожняковому напрямках, км/год..

Показники ефективності складального автотранспорту та тягово-динамічні характеристики процесу руху автосамоскидів у кар'єрі визначається комплексом гірничотехнічних, дорожньо-транспортних та організаційних умов експлуатації, дальністю транспортування (L), висотою

підйому гірничої маси (H_n), середньозваженим поздовжнім ухилом ($i_{сер.в}$), шириною проїжджої частини автодоріг (B), питомою вагою тимчасових автодоріг у загальній відстані перевезень ($P_{в.д}$), складністю траси ($P_{кр}$), інтенсивністю руху (Y) та ін.

Робота автосамоскидів БелАЗ на складальних перевезеннях гірничої маси характеризується переважанням невстановлених режимів руху, недовикористанням швидкісних і динамічних якостей, значною питомою вагою (до 40-50%) маневрових і вантажно-розвантажувальних операцій у тривалості транспортного циклу. Встановлено, що робота складального автотранспорту в пункті прийому гірничої маси з точки зору ймовірностатистичного аналізу підпорядковується законам властивим для простих потоків [26-28]. Потік автосамоскидів має властивість ординарності, а в встановлений період, що займає 70-80% тривалості зміни, а також властивістю стаціонарності і відсутності післядій і підпорядковується закону пуассонівського розподілу.

Повний час обслуговування автосамоскидів на внутрішньокар'єрному перевантажувальному пункті ($t_{об}$) описується логарифмічно нормальним законом розподілу (з параметрами $x = 97,8$ с, $\sigma = 21,8$ с, $k_v = 22,2\%$).

У роботі [29, 30] детально розглянуті варіанти роботи складального автотранспорту при відмови дробильно-конвеєрного комплексу. Робиться висновок про необхідність організації перевантажувального буферного складу перед дробильно-конвеєрним комплексом або перемикання автотранспорту на магістральні перевезення.

Коефіцієнт ефективності резервування продуктивності збірного автотранспорту за магістральною схемою в періоди аварійних відмов дробильно-конвеєрного комплексу рекомендується визначати за формулою

$$K_p^{эф} = \frac{Q_m}{Q_{сб}} \cdot \frac{t_{цсб}}{t_{wv}} \cdot f\left(\frac{L_{сб}}{L_m}, \frac{H_{сб}}{H_m}\right) \quad (2.2)$$

де $Q_{сб}$, Q_m , $t_{цсб}$, t_{wv} , $L_{сб}$, L_m , $H_{сб}$, H_m - відповідно продуктивність, тривалість транспортування, відстань транспортування та висота підйому

гірничої маси при роботі автотранспорту на збірній та магістральній схемах.

Коефіцієнт K_p^{ef} рекомендується приймати 0,3-0,5.

Продуктивність роботи дробильно-конвеєрного комплексу значною мірою залежить від ритмічності надходження автосамоскидів на дробильно-перевантажувальний пункт.

У період робочого стану системи годинна продуктивність комплексу буде визначатися як функція від кількості автосамоскидів, що розвантажуються протягом години на ДПП комплексу:

$$Q_{год} = f(n), \quad (2.3)$$

Необхідна для ритмічної роботи комплексу кількість автосамоскидів в роботі залежить від вантажопідйомності автосамоскидів обслуговуючих комплекс (g_a) і тривалості транспортного циклу ($T_{ц}$).

Фактична вантажопідйомність автосамоскида (g_{af}) залежить від фізико-механічних властивостей порід, що розробляються (питомої ваги γ), коефіцієнта розпушування порід (k_p), коефіцієнта наповнення ковша екскаватора (k_n), місткості ковша екскаватора (E_e):

$$g_{af} = \frac{E_e \cdot k_n \cdot \gamma \cdot n_e}{k_p} \quad (2.4)$$

Ефективність роботи комплексу ЦПТ, ритмічність надходження автосамоскидів значною мірою залежать від тривалості транспортного циклу $T_{ц}$:

$$T_{ц} = t_{дж} + t_n + t_o + t_p + t_{mp} + t_{mn}, \quad (2.5)$$

де $t_{дж}$ - час руху автосамоскида в навантаженому та порожньому стані;

t_n - час навантаження автосамоскида;

t_o - час очікування навантаження автосамоскида;

t_p - час розвантаження автосамоскида;

t_{mp}, t_{mn} - час маневрів автосамоскида відповідно в пунктах розвантаження та навантаження.

За відомої годинної продуктивності комплексу $Q_{год}$ необхідна кількість автосамоскидів для його безперебійної роботи складе:

$$n = \frac{Q_{год}}{0,9 \cdot H_{вч}} \quad (2.6)$$

де $H_{вч}$ - продуктивність автосамоскида протягом години; 0,9 – коефіцієнт використання робочого парку.

$$H_{вч} = \frac{60 \cdot ga^\phi}{T_{ц}} \quad (2.7)$$

$$n = \frac{Q_{год} \cdot T_{ц}}{0,9 \cdot 60 \cdot ga^\phi} \quad (2.8)$$

2.2. Аналіз використання часу роботи комплексу ЦПТ

Одним з основних показників використання часу роботи комплексів ЦПТ є коефіцієнт використання календарного часу (коефіцієнт використання $k_в$). На діючих комплексах ЦПТ коефіцієнт використання календарного часу коливається від 0,48 до 0,84 (табл. 2.1).

Таблиця 2.1

Показники використання комплексів ЦПТ

Комплекс ЦПТ	Коефіцієнт використання ($k_в$)	Час роботи комплексу, год	
		Календарний, T_k	Чистий, T_p
Інгулецький			
- західний тракт	0,78	8016	6282
- східний тракт	0,77	8016	6142
Ганнівський ПівнГЗК			
- рудний тракт	0,84	8760	7376
- породний тракт	0,78	8760	6840

Аналіз звітних даних підприємств свідчить про те, що на показники використання обладнання комплексів ЦПТ впливають на плановані і на не плановані простої комплексу.

Структура простоїв комплексу характеризується тим, що до 50% простоїв складають плановані попереджувальні ремонти (рис. 2.1). Не плановані (аварійні простої) у кількості простоїв становлять 30-55%.

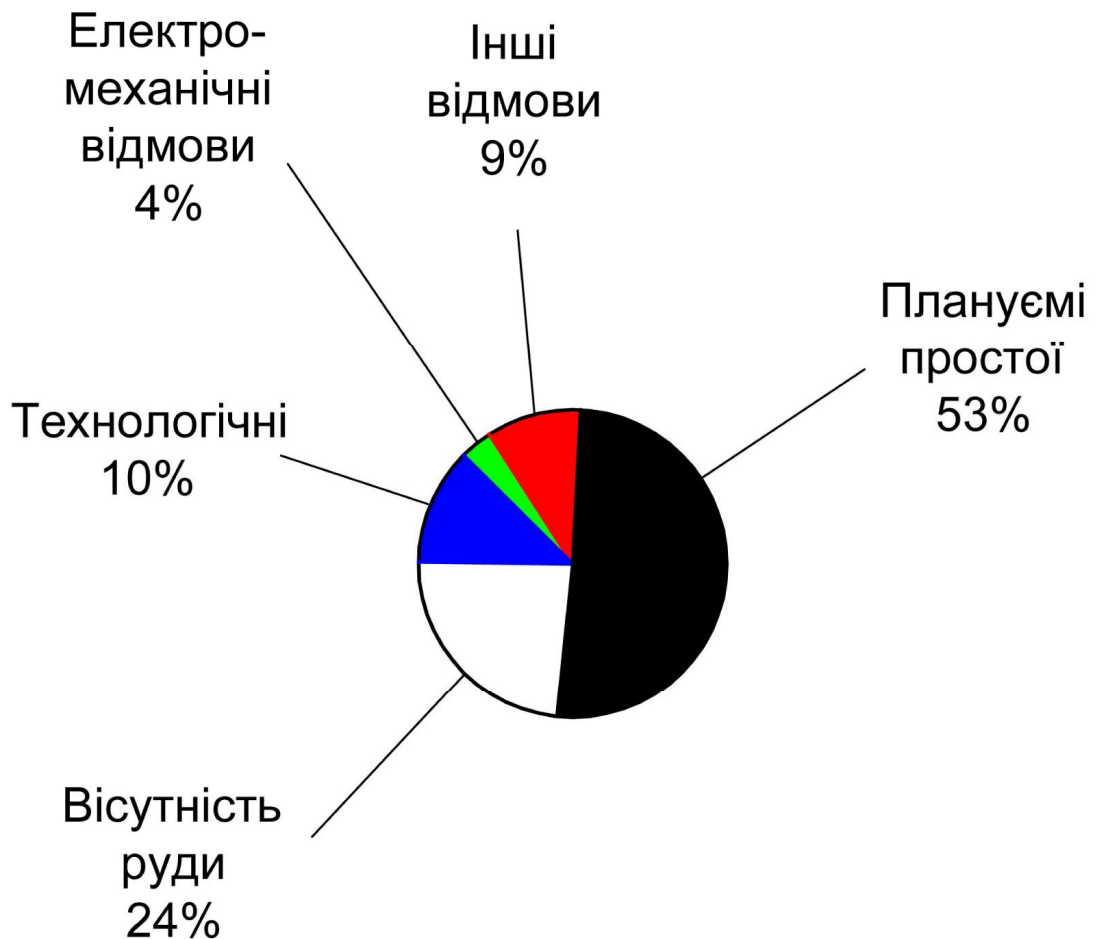


Рис. 2.1. Структура простоїв комплексу ЦПТ Інгулецького ГЗКа

За своїм характером не заплановані простої можна виділити в наступні групи: - технічні, пов'язані з аварією електромеханічної частини комплексів ЦПТ; технологічні, пов'язані з необхідністю зупинки комплексів викликаних технологією ведення робіт; та організаційні.

Технічні аварійні простої більшість комплексів становлять незначний відсоток у кількості простоїв 2 -10%.

Простої з технологічних причин також порівняно незначні і становлять 5-15% від усіх простоїв. Найбільший відсоток незапланованих простоїв 20-45% від загального обсягу простоїв, викликані причинами, які можна згрупувати за їх характером в одну групу організаційних причин. До них відносяться простої комплексу через відсутність гірничої маси, не прийом руди на ДЗФ, відсутність місця розвантаження породи з комплексу

ЦПТ на породний склад, відсутність думпкарів і т.д. Причому простої через відсутність гірничої маси становить до 80% простоїв цієї групи.

Таке положення є наслідком того, що організація ведення гірничих робіт на кар'єрах проводиться без урахування особливостей роботи комплексів ЦПТ і без взаємозв'язку з ними. Погодинний аналіз роботи комплексів ЦПТ показує, що мінімум обсягів від середньозмінних обсягів гірничої маси починає надходити на комплекси протягом 2-х перших годин 8-ми годинної зміни.

Продуктивність комплексу поступово протягом цього часу наростає. Протягом наступних 5 годин зміни спостерігається відносно стабільний режим роботи комплексу. В останню годину робочої 8-годинної зміни знову спостерігається падіння продуктивності комплексу. Виробництво комплексу в першу годину роботи зміни становить 20-25% від продуктивності комплексу в середині зміни і 30-35% від середньозмінної продуктивності. В останню годину роботи комплексу його продуктивність становить 60% від продуктивності в середині зміни і 70% від середньозмінної продуктивності.

Продуктивність комплексу протягом 5 годин його стабільної роботи перевищує середньозмінну на 15-20%.

Аналіз простоїв дробильно-конвеєрного комплексу ЦПТ на Першотравневому кар'єрі виявив, що 85% незапланованих простоїв відбувається через відсутність руди. При аналізі аварійних простоїв виявлено, в основному, простої з механічних (15%), електричних (25%) та технологічних (60%) причин. Останні пов'язані із забиттям течок (на перевантаженні) і дробарки КПД-1500/180, сходами конвеєрних стрічок та ін.

Дослідження причин суттєвого зниження продуктивності комплексів на початку і наприкінці зміни показує, що вони пов'язані зі складальним автомобільним транспортом. Зниження продуктивності комплексів ЦПТ на початку робочої зміни пов'язане із затримкою виходу автомобілів з гаража. Наприкінці зміни зниження продуктивності пов'язане з тим, що частина автосамоскидів передчасно сходить з лінії, а зміна водіїв відбувається в

гаражі на поверхні кар'єру. Перегін автосамоскидів з кар'єру в гараж і назад при великій протяжності доріг займає до 40 хв., що приводить до скорочення часу їх роботи в технологічних схемах.

2.3. Аналіз та ймовірно-статистична оцінка роботи структурних елементів системи ЦПТ

Система ЦПТ кар'єру включає такі структурні елементи: екскаваторна ланка з обслуговування комплексу ЦПТ, складальний автотранспорт, дробильно-конвеєрний комплекс, пункт прийому гірничої маси (ДЗФ чи перевантажувальний склад).

На підставі обробки результатів емпіричних та хронометражних спостережень, виконаних на Першотравневому, Інгулецькому, Ганнівському, кар'єрі №1 ЦГЗК та ін. кар'єрах виконано аналіз та ймовірно-статистична оцінка роботи структурних елементів системи ЦПТ [31, 32].

Кількість екскаваторів на навантаженні руди для комплексу ЦПТ змінюється в окремі зміни з 1 до 6 шт. Найчастіше комплекс ЦПТ Першотравневого кар'єру обслуговує 4-5 екскаватора. Середньозмінна продуктивність комплексу зі збільшенням числа екскаваторів, що виділяються, підвищується [33] (рис. 2.2).

Зміна продуктивності екскаваторної ланки на завантаженні руди не повністю характеризують його роботу, оскільки протягом зміни екскаватори навантажують і руду і породу. Розкривні породи в загальному обсязі переробки гірничої маси екскаваторами, що обслуговують комплекс ЦПТ складають близько 15%. Простої екскаваторної ланки в аварійних простоях становлять близько 7% від врахованого фонду часу і 23% від усіх простоїв. Тривалість простоїв досить значна. Найбільш тривалі за часом простої через аварійність обладнання стріли, ковша, рукояті та перетворювального агрегату. Простої з цих причин становлять 14,5% від усіх простоїв.

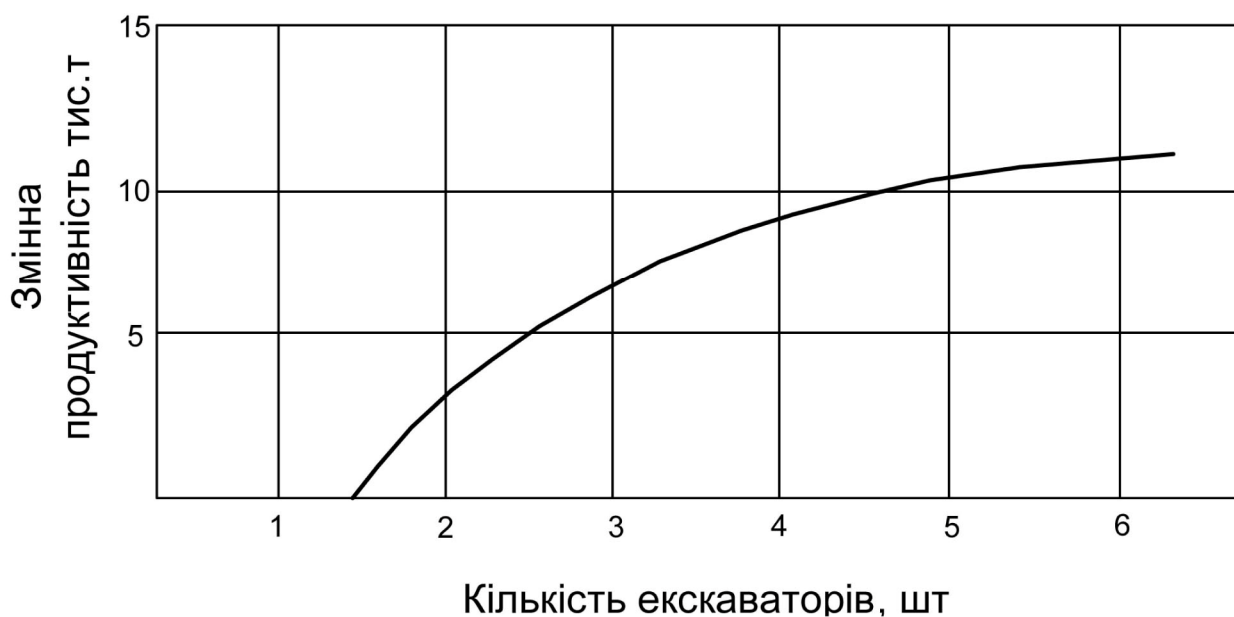


Рис. 2.2. Зміна продуктивності комплексу ЦПТ (на прикладі Першотравневого кар'єру) в залежності від кількості обслуговуючих екскаваторів.

Внутрішньозмінні простої з технологічних і організаційних причин складають 10 % від врахованого фонду часу. Велика частка цих простоїв припадає на використання екскаваторів на допоміжних роботах, а також переїзди та перемикання екскаваторів. Через відсутність автосамоскидів простої екскаваторів становлять 16% від загального часу всіх простоїв.

Значну частку часу становлять цілісні простої екскаваторів, пов'язані в основному з їх технічним обслуговуванням і ремонтом, а також усуненням аварійних несправностей та іншими причинами.

Коефіцієнт використання екскаваторів у часі на обслуговуванні комплексу ЦПТ становить 0,55-0,65.

Для автомобільного транспорту на кар'єрах характерне постійне підвищення частки складальних перевезень, збільшення середньої висоти підйому гірничої маси, середньозваженого ухилу автошляхів у кар'єрах і середньої відстані транспортування, хоча останній показник зростає не так швидко як інші.

Автосамоскиди призначені для ефективної експлуатації при

транспортуванні руд та порід з питомою масою 1,9-3,6 т/м³ при відстані транспортування 2,0-5,0 км і висоті підйому вантажу 250-300 м. Продуктивність автомобілів в середніх умовах експлуатації повинна досягати 2,5-3,5 млн. т на рік. Однак на практиці автосамоскиди часто використовуються неефективно і не досягають розрахункових показників.

Ефективність роботи автосамоскидів в кар'єрі залежить від багатьох факторів, до ряду яких відносяться фізико-механічні властивості порід, організація роботи автотранспорту в кар'єрі по закритому або відкритому циклу, оперативність управління вантажопотоками в кар'єрі, потужність навантажувального обладнання та доцільне поєднання можливостей навантажувального обладнання з вантажопідйомністю автосамоскидів, наявність у кар'єрі достатніх об'ємів готових до виїмки запасів гірничої маси та необхідної кількості місць розвантаження, що особливо актуально при ЦПТ.

У процесі спостережень за транспортним циклом автомобілів виявлено, що тривалість навантаження змінюється в широких межах і в залежності від поєднання вищезгаданих факторів. Наприклад навантаження автосамоскидів марки БелАЗ-121 (в.п. 110 т) екскаваторами ЕКГ-8І, найбільш поширеними на кар'єрах, здійснюється за 2-3 хв, а автосамоскидів БелАЗ-75136 (в.п. 130 т) вже за 3-4 хв, що можна порівняти з часом, яке необхідно автосамоскиду для проходження з вантажем по кар'єрних автодорогах на відстань до 1,5 км. Великі простой автосамоскидів в очікуванні навантаження, які в залежності від гірничотехнічних та організаційних умов становлять до 90 хв (19% змінного часу). Прийнята нормативами тривалість очікування навантаження становить 0,4 хв на один рейс і як правило на практиці не витримується.

Аналіз взаємодії навантажувального екскаваторного і складального автомобільної ланки при ЦПТ показує, що простой автотранспорту в очікуванні навантаження можна розділити на простой через відмови завантажувального ланки і на простой через нерівномірність надходження

автосамоскидів в пункти навантаження. Особливо великі простой автосамоскидів через відмови екскаваторів при організації їх роботи по закритому циклу (5-7% змінного часу). При роботі автосамоскидів за відкритим циклом простой мінімальні (0,5-1% змінного часу), тому що у разі відмов екскаватора автосамоскиди до нього до усунення поломок не посилаються [34-38].

Найбільш значними (до 4-5 хв на один рейс) є простой автосамоскидів в очікуванні навантаження, зумовлені нерівномірністю їх надходження до пунктів навантаження, що у свою чергу викликано недостатньо ефективною організацією робіт у кар'єрі.

Простой екскаваторної ланки в очікуванні автосамоскидів мають місце, в основному на початку зміни і після усунення тривалих відмов. Простой на початку зміни обумовлені затримкою прибуття автосамоскидів з автоцеху; тривалість простоїв з цієї причини визначається відстанню від автоцеху до вибою, який повинен обслуговувати конкретний автосамоскид, рівнем технічного обслуговування в автоцеху і досягає 30-50 хв. Простой екскаваторів в очікуванні автосамоскидів після усунення тривалої відмови обумовлені інертністю в управлінні навантажувально-транспортними роботами та недостатньою автоматизацією керування вантажопотоками в кар'єрі і досягають 25-35 хв за зміну.

Основні виробничі процеси в екскаваторно-автомобільному комплексі можна оцінити наступними часовими параметрами: час навантаження та розвантаження, рухи в навантаженому та порожньому стані, маневрування перед навантаженням та розвантаженням, час виконання допоміжних та ремонтних робіт у періоди відмов екскаваторів та автосамоскидів. Ці параметри визначаються на підставі статистичної обробки даних хронометражних спостережень.

Хронометражні спостереження показують, що розкид параметрів випадкових величин дуже значний навіть за тих самих умов роботи.

Спостереження проведені на Інгулецькому, Ганнівському кар'єрах,

кар'єрі №1 ЦГЗК та ін. показують, що час навантаження автосамоскидів БелАЗ-75191 екскаваторами ЕКГ-8І порід III-IV категорії міцності коливається від 180 до 540 с при максимальному відхиленні 70-80%, час розвантаження змінюється від 30 до 75 с при максимальному відхиленні від середнього значення на 50-80%; час маневрування перед навантаженням (при тупиковому заїзді) змінюється від 10 до 130 с, максимально відхиляючись від середнього значення на 90-130%; час маневрування перед розвантаженням - від 24 до 77 с, максимально відхиляючись від середнього значення на 80-110%.

Для ефективної роботи екскаваторно-автомобільного комплексу при ЦПТ має значення співвідношення ємності ковша екскаватора та вантажопідйомності автосамоскида. З цього питання виконано досить багато науково-дослідних робіт [26, 39, 40], в результаті яких наприклад виявлено, що автосамоскиди вантажопідйомністю 180 т доцільно використовувати в комплексі з екскаваторами з ковшем ємністю 20 м³, а автосамоскиди вантажопідйомністю 110-120 т - з екскаваторами з ковшем місткістю 12,5 і 16 м³. Однак на практиці, майже повсюдно, такі раціональні поєднання параметрів екскаваторно-автомобільних комплексів ЦПТ не дотримуються і тим самим ефективність роботи цих важливих ланок системи ЦПТ знижується.

Аналіз спільних і несумісних простоїв екскаваторів і дробильно-конвеєрного комплексу Ганнівського кар'єру, виконаний для виявлення причин недозавантаження комплексу рудою, показав, що несумісні простой займають більшу частину часу аварійних простоїв обладнання: для екскаваторів вони складають 75-80%, для комплексу ЦПТ – 90-92%. Під час простоїв відбувається або недозавантаження комплексу рудою (при аваріях екскаваторів), або доставка руди, призначеної для комплексу, на перевантажувальний склад західного борту кар'єру (при аваріях комплексу). Встановлено, що після усунення аварійних відмов обладнання ЦПТ, автосамоскиди продовжують протягом 1-2 год працювати в іншій

технологічній схемі. Це є однією з основних причин зниження об'ємів руди, призначених для видобутку із застосуванням ЦПТ. На рис. 2.3 показано на прикладі Інгулецького комплексу ЦПТ [33] взаємозв'язок кількості автосамоскидів, що виділяються для обслуговування комплексу ЦПТ і його годинної продуктивності.

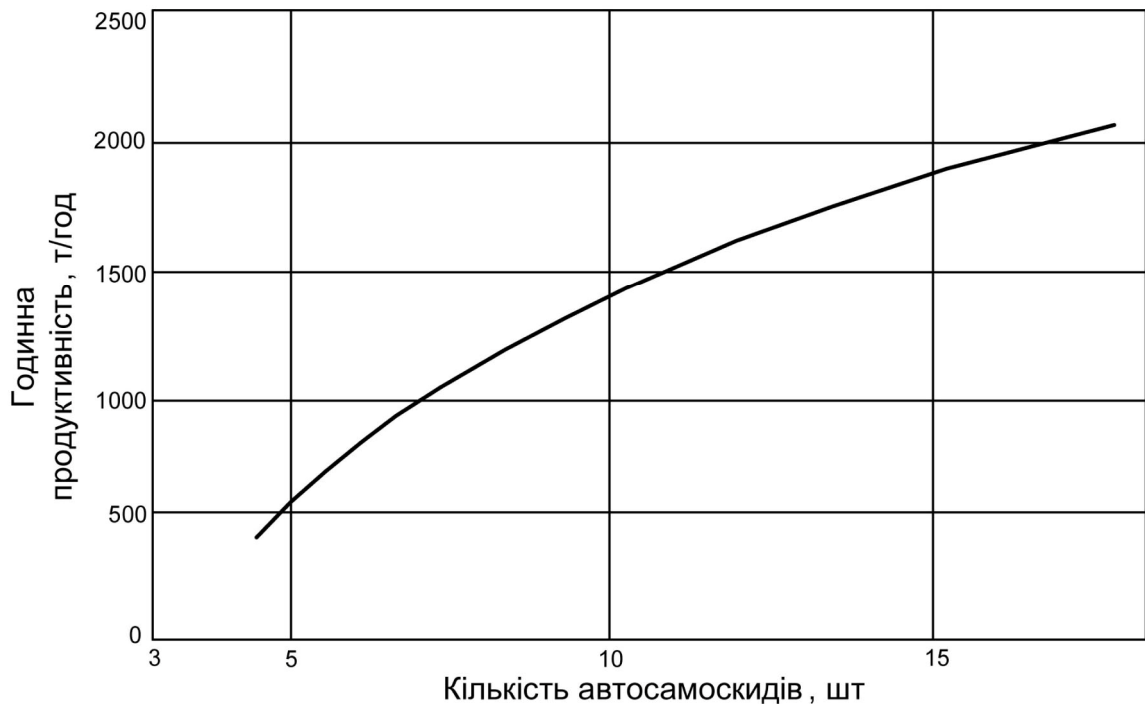


Рис. 2.3. Зміна продуктивності Інгулецького комплексу ЦПТ залежно від кількості обслуговуючих автосамоскидів.

2.4. Вплив подрібнення порід на ефективність обладнання ЦПТ.

У роботах [41, 42] обґрунтовано вплив ступеня кусковатості гірничої маси на вибір обладнання та сферу застосування технологічних схем. Кускуватість порід не є постійною на всіх стадіях розробки, отже, змінюється і ступінь її впливу на техніко-економічні показники окремих процесів. Кускуватість гірничої маси впливає на ефективність всіх технологічних процесів у кар'єрі. Стосовно обладнання ЦПТ цікавий вплив кусковатості вихідної гірничої маси на процеси подрібнення гірничої маси в дробарках

великого і середнього подрібнення, гуркотіння, конвеєрного транспортування.

Одним з факторів, що впливають на ефективність застосування ЦПТ, у тому числі з попутним виробництвом будівельних матеріалів, є ступінь розпушення гірничої маси після буропідривних робіт. Зі збільшенням ступеня подрібнення породи та коефіцієнта розпушення питомий опір породи копанню скорочується і зростає ефективність роботи екскаваторів у вибої. Існує оптимальний коефіцієнт розпушування ґрунтів кожної категорії, який відповідає мінімальним витратам на буропідривні роботи при досягненні величини опору ґрунтів копанню (K_f), що відповідає номінальному режиму роботи екскаваторів.

Зменшити категорію проблеми екскавації породи в масиві (N_u) і перевести її в іншу категорію (N_e) можливо шляхом забезпечення заданого ступеня її розпушення (K_p) і кусковатості (d_{cp}).

Категорія породи після розпушення визначається за виразом:

$$N_e = N_u - n_e, \quad (2.9)$$

де n_e - коефіцієнт (в одиницях), що враховує зміну категорії породи при її розпушенні.

Величина n_e , що визначається розрахунковим методом і таблиць, залежить від коефіцієнта розпушування породи та її кускуватості. Розрахунки показують, що для умов залізородних кар'єрів (породи IV-VI категорії) можливе зниження категорії породи за складністю екскавації на порядок шляхом забезпечення коефіцієнта розпушення, рівного 1,3-1,4 і кусковатості 40-60 мм. Практичне здійснення цього заходу на кар'єрах в даний час можливе, але спричинить збільшення витрати ВР і вартості буровибухових робіт.

У табл 2.2 наведено грансклад (за даними підприємств) підірваної скельної гірничої маси у вибої на ряді залізородних кар'єрів.

Таблиця 2.2

Грансклад підірваної скельної гірничої маси на кар'єрах

№ зп	Кар'єр, ГЗК	Зміст класів крупності, %					Діаметр середнього шматка, мм
		0-400	400-600	600-800	800-1000	>1000	
1	Ганнівський кар'єр	79,2	12,5	5,4	1,6	1,3	288,7
2	Кар'єр №1 ЦГЗКа	88,0	7,2	3,0	0,9	0,9	251,9
3	Кар'єр ПівдГЗКа	90,0	6,0	2,0	1,5	0,5	243,5
4	Кар'єр ІнГЗКа	76,7	13,9	5,8	1,9	1,7	301,0
5	Кар'єр №3 Арселор Міттал Кривий Ріг	56,4	20,9	8,1	3,1	12,0	431,4
	У середньому по групі кар'єрів	78,9	11,4	4,9	2,3	2,5	299,8

Величина номінального питомого зусилля копання (K_f) у сучасних моделях мехлопат становить у середньому 0,3-0,33 Мпа. Це відповідає номінальному режиму їх роботи в породах IV категорії, що потрібно враховувати при підготовці порід до екскавації за допомогою буровибухових робіт з тим щоб категорія підірваних порід відповідала технічним можливостям екскаваторів і сприяла їх номінальному режиму роботи.

Практика експлуатації дробарок, лабораторні дослідження та експлуатаційні показники показують, що їх продуктивність значною мірою визначається крупністю шматків живлення. Кускуватість підірваної гірничої маси враховується у продуктивності дробарок (Q_d) відсотковим вмістом шматків розміром більше половини ширини завантажувального отвору ($\Phi > 0,5B_d$) [41]

$$Q_d = k_d * k_{кр} * Q_o * \rho_p \quad (2.10)$$

де k_d - коефіцієнт, що враховує фізико-механічні властивості порід (вологість, міцність);

$k_{кр}$ – поправка на зміст класів крупності розміром $\Phi > 0,5B_d$;

ρ_p - насипна вага подрібнених гірських порід, т/м³;

Q_o - приведена продуктивність дробарок, м³/рік.

Для щоккових дробарок:

$$Q_o = (0,15 + 0,75 B_d) \cdot L_d \cdot e, \quad (2.11)$$

Для конусних дробарок:

$$Q_o = 0,65(D_k^2 \cdot r \cdot n_k) \cdot e, \quad (2.12)$$

де B_d , L_d - відповідно довжина та ширина приймального отвору дробарки (щоккової), м;

e - ширина розвантажувальної щілини дробарки, мм;

D_k - діаметр основи конуса дробарки (конусної), м

r - ексцентриситет, м;

n_k - число хитань конуса в 1 хв.

У дробарку завантажуються шматки розміром не більше $0,85B_d$. Звідси кількість шматків, що впливають на продуктивність дробарки (δ) визначається за формулою: $\delta = \gamma_o$. «Ступінь подрібнення (i) показує ступінь скорочення крупності у процесі руйнування шматкового матеріалу» [41].

Дробарки працюють ефективно при обмежених ступенях подрібнення - зазвичай $i=3-8$ (10).

Зі збільшенням кускуватості вихідної гірничої маси продуктивність дробарок знижується у зв'язку з підвищенням вмісту в ній великих шматків (γ , %). На рис. 2.4 представлені графіки залежності продуктивності конусних та щоккових дробарок від кускуватості вихідної гірничої маси.

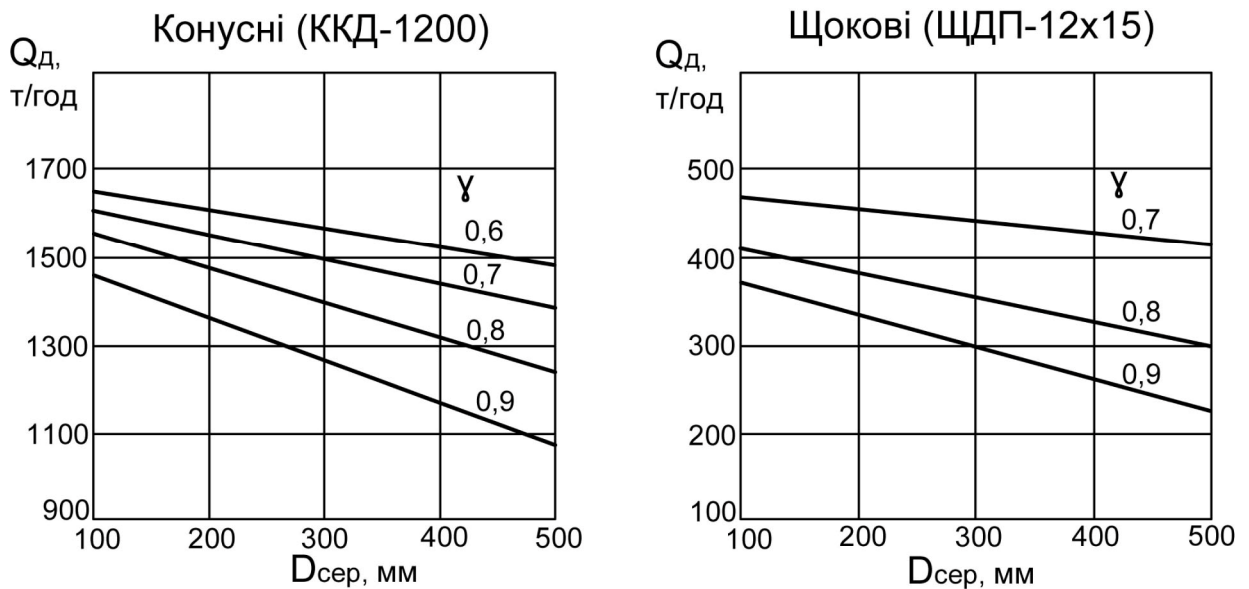


Рис. 2.4. Залежність продуктивності конусних і щоківих дробарок від крупності вихідної гірничої маси.

Параметри конвеєрного транспорту також значною мірою залежать від кусковатості гірничої маси, що надходить на конвеєр з дробильного переділу. Вплив кусковатості на техніко-економічні показники похилих конвеєрів знаходить вираз у більш інтенсивному зносі стрічки. Вираз визначення терміну служби конвеєрної стрічки при транспортуванні гірничої маси має вигляд [43]:

$$T_l = \frac{200^2 \delta_k \cdot \cos \beta_k \sqrt[3]{L_k}}{(1 + d_k) \rho_p \cdot h_k} k_k, \text{ год} \quad (2.13)$$

де δ_k - товщина робочої обкладки, мм;

L_k - довжина конвеєра, м;

β_k - кут нахилу конвеєра, град;

d_k - середній розмір шматків, м;

ρ_p - насипна вага подрібнених гірських порід, т/м³;

h_k - висота падіння шматків на стрічку під час завантаження, м;

k_k - коефіцієнт, що враховує конструктивні особливості конвеєра та умови його роботи.

Витрати на транспортування 1 т гірничої маси стрічковим конвеєром в залежності від кускуватості гірничої маси (грн/т) пропонується визначати за формулою [41]

$$S_k = \frac{1}{Q_2} \left(C_{лк} + \frac{2,05 \rho_p h_k T_{см} k_v N_n K_{л} \sqrt[3]{L_k^2}}{200 B_{л}^2 \delta_k \cos \beta_k h_k} (1 + d_k f) + (2,05 K_{л} L_K + K_{МК}) E \right) \quad (2.14)$$

де $C_{лк}$ - експлуатаційні витрати без урахування зносу стрічки, грн;

$K_{л}$ - вартість 1 пог. м конвеєрної стрічки, грн/м;

$K_{МК}$ - вартість металоконструкцій та електроустаткування, грн.

На рис. 2.5 представлені залежності питомих витрат (S_k) на транспортування порід стрічковим конвеєром від крупності шматків ($D_{сер}$).

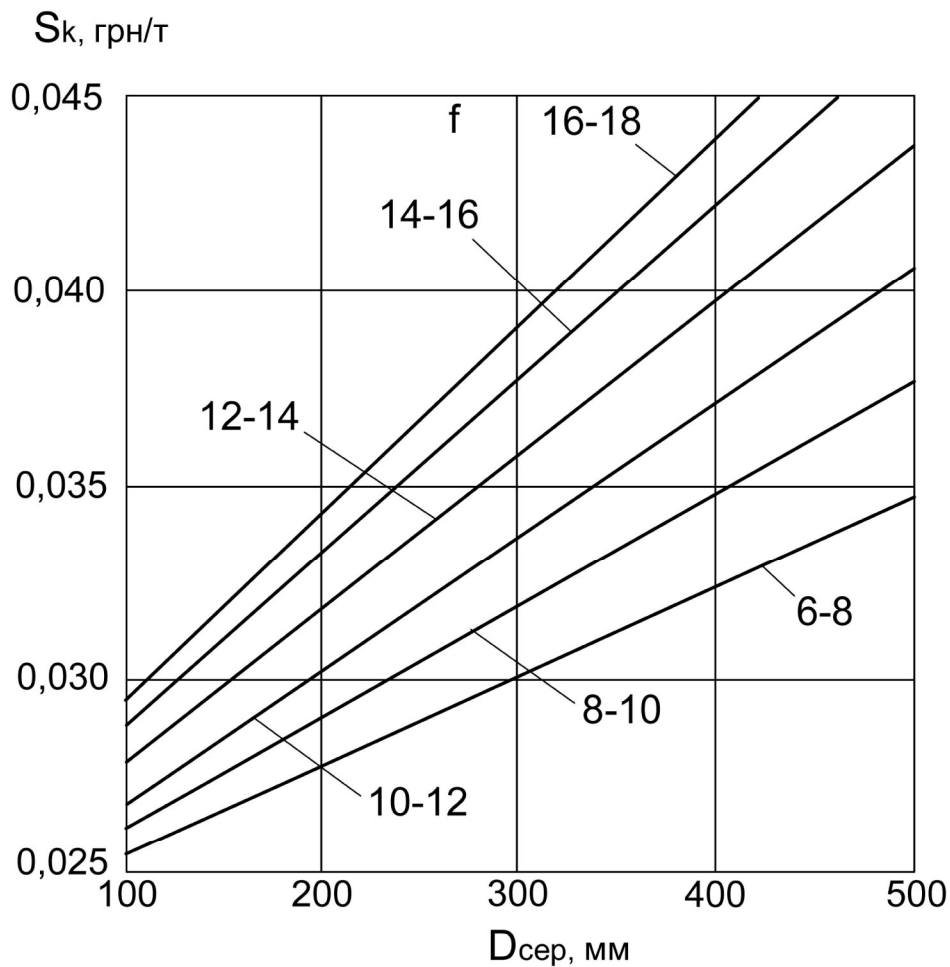


Рис. 2.5. Залежність питомих витрат за транспортування порід стрічковим конвеєром від великої частини шматків гірничої маси.

Підвищення ступеня подрібнення порід сприяє збільшенню терміну служби конвеєрної стрічки та економічному транспортуванню, при зменшенні середнього розміру шматків ($f=14-18$) від 400 до 100 мм термін служби конвеєрної стрічки зростає в 3 рази, питомі експлуатаційні витрати знижуються на 32%.

Найважливішим елементом дробильно-сортувальних установок, а також перевантажувальних пунктів з гуркотінням є гуркіт. Від ефективної роботи гуркоту залежить економічність всієї запропонованої схеми робіт. Одна з основних вимог, що пред'являються до вузла грохочення - це його висока ефективність по якісному поділу гірничої маси. Іншою важливою вимогою є висока продуктивність гуркотів та пропускна спроможність перевантажувального пункту.

РОЗДІЛ 3 ОБГРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ СПОСОБІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЦПТ З ДОПОМОГОЮ ПОПУТНОГО ВИРОБНИЦТВА БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

3.1. Обґрунтування доцільності попутного виробництва будівельних матеріалів при ЦПТ

Промислове виробництво щебеню та інших будівельних матеріалів з порід скельної розкриву гірничодобувних підприємств може стати одним з найбільш реальних напрямів підвищення ефективності ЦПТ та одночасно комплексного освоєння надр. Особливо придатні для цієї мети комплекси ЦПТ, що використовуються для розробки скельних розкривних порід. Рудні комплекси ЦПТ після впровадження заходів щодо підвищення їх продуктивності за допомогою дозавантаження скельною породою також можуть бути використані для попутного виробництва будівельного і дорожнього щебеню [35].

Побічно видобуваємі на залізорудних ГЗК у великих кількостях супутні нерудні корисні копалини в даний час практично не використовуються, а скидаються в змішані відвали. Серед них найбільшу групу представляють нерудні будівельні матеріали з вміщаючих і бічних скельних порід, придатні для будівництва і дорожнього щебеню. До їх складу входять сланці та безрудні кварцити, некондиційні залізисті кварцити, амфіболіти, граніти, мигматити та гнейси.

В даний час дорожньо-будівельні матеріали виробляються, як правило, на дрібних підприємствах, що експлуатують багато родовищ. При цьому для їх розробки під гірничий відвід часто необґрунтовано відчужуються родючі землі, відбувається забруднення атмосфери, води та прилеглих земель. У той же час у технологічних схемах виробництва щебеню передбачається проведення буропідривних робіт і первинне подрібнення гірничої маси в дробарках великого подрібнення, тобто роботи, які виконуються у великих кар'єрах при циклічно-потоківій технології.

Комплексне використання мінеральних ресурсів за допомогою

діючих комплексів ЦПТ є важливим джерелом розширення мінерально-сировинної бази, насамперед промисловості будівельних матеріалів при мінімальних додаткових капітальних вкладеннях. Крім того досягається більш ефективна структура капітальних вкладень, оскільки збільшення виробничих потужностей шляхом реконструкції та розширення діючих підприємств більш рентабельно, ніж будівництво нових. Підготовка ж нових мінерально-сировинних баз являє собою досить складний і тривалий процес, що вимагає значних витрат праці та матеріальних засобів. Тільки на розвідку одного середнього за розмірами родовища, проектування та будівництво на ньому гірничовидобувного підприємства знадобиться не менше 6-7 років з питомими капітальними вкладеннями 18-25 грн/м³ нерудної сировини.

На більшості кар'єрів покриваючі породи за своїми фізико-механічними властивостями відповідають вимогам і можуть бути використані для виробництва будівельних матеріалів. Щебінь з цих скельних порід придатний для виробництва армованого і неармованого бетону, улаштування баластного шару внутрішньозаводських залізничних колій, будівництва автомобільних доріг, штучних основ під фундаменти і для зворотних засипок, вимощення і благоустрій. Марка щебеню при цьому відповідає: за міцністю 400 і 600, по зносу I-1, по удару на копрі У-50 та У-75. Бетон, виготовлений на щебені з кварцитів та будівельних пісків зі шламових відходів збагачення, має міцність на 9% вище та витрату цементу на 5% нижчу в порівнянні з бетоном на гранітному щебені.

В даний час практично на кожному залізорудному комбінаті організовано невеликі підсобні виробництва щебеню з поточного видобутку скельних порід розкриву, що вміщують, некондиційні і малорудні залозисті кварцити у кількостях 200-500 тис. м³/рік, в основному для власних потреб (будівництва та ремонту автошляхів, підсипки залізничного полотна та кар'єрних виїздів, будівельних робіт) собівартістю 15-18 грн/м³. Щебінь на ГЗК виробляється, як правило, на тимчасових дробильно-сортувальних установках (ДСУ) з одностадійним подрібненням, виготовлених зі списаного обладнання, знятого з основного виробництва. При цьому вони працюють в одну-півтори зміни і їх виробничі потужності використовуються

недостатньо. Все це свідчить про необхідність більш глибокого опрацювання питання попутного виробництва будівельних матеріалів особливо з використанням обладнання комплексів ЦПТ.

Схеми ЦПТ із подрібненням та застосуванням автомобільно-конвеєрно-залізничного транспорту розкривних робіт використовувалися на 5 кар'єрах (Ганнівський кар'єр, комплекс ПДК на кар'єрі № 1 ЦГЗК, кар'єри № 2- біс та № 3 Арселор Міттал Кривий Ріг), схема з автомобільно-конвеєрним транспортом – на 1 кар'єрі (дослідно-промислова ділянка ЦПТ на кар'єрі №1 ЦГЗК).

Можливі обсяги переробки скельних розкривних порід із застосуванням ЦПТ на залізородних кар'єрах Росії представлені у табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Можливі обсяги переробки скельних розкривних порід при застосуванні ЦПТ на залізородних кар'єрах

Підприємство	Об'єм, млн. т/рік
ІнГЗК	44
ПівдГЗК	18
ПівнГЗК	14
ЦГЗК	4,5

Для вибору раціональної технології виробництва щебеню має значення фракційний склад гірничої маси, який змінюється в залежності від параметрів буровибухових робіт, ступеня тріщинуватості та інших характеристик порід, що розробляються.

Гранулометричний склад гірничої маси, що пройшла першу стадію подрібнення в схемах ЦПТ, на прикладі деяких ГЗК представлені в табл. 4.2.

На рис. 4.1 представлена гістограма розподілу крупності рудної маси при ЦПТ: а) що надходить із вибоїв на дробильно-перевантажувальний пункт; б) на конвеєрну лінію після подрібнення.

Таблиця 4.2

Гранулометричний склад скельної гірничої маси
(що пройшла першу стадію подрібнення в комплексах ЦПТ)

Підприємство	Класи крупності, мм	Вихід, %
ЦГЗК	0-100	69
	100-400	30,7
	+ 0, 3	0,3
ІнГЗК	0-50	62,9
	50-100	20,0
	100-200	12,2
	200-400	4,9
	+ 400	-

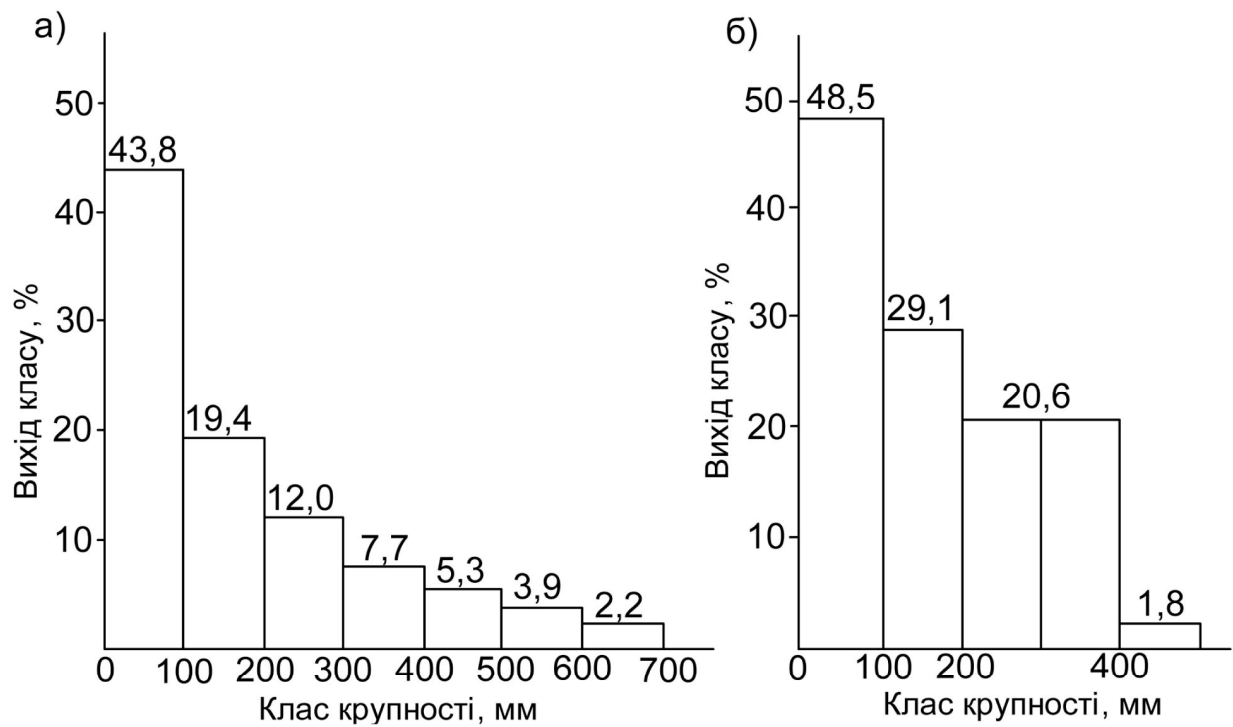


Рис. 4.1. Гістограма розподілу крупності рудної маси при ЦПТ: а) що надходить із вибоїв на дробильно-перевантажувальний пункт; б) на конвеєрну лінію після подрібнення.

Аналіз гранулометричного складу скельних розкривних порід, що пройшли першу стадію подрібнення показує, що більше 60% матеріалу має крупність 0-70 мм, придатну для виробництва фракцій щебеню, що нормуються, за допомогою грохочення.

Як сировина для виробництва щебеню раціонально використовувати конвеєрні відвали породних комплексів ЦПТ, а також скельну породу, видану рудними комплексами ЦПТ в результаті їх дозавантаження з метою підвищення продуктивності.

3.2. Варіанти технологічних схем ЦПТ із попутним виробництвом будівельних матеріалів

Найбільше практичне значення мають схеми попутного виробництва щебеню на базі комплексів ЦПТ з автомобільно-конвеєрно-залізничним та автомобільно-конвеєрним видами транспорту з розташуванням комплексу з виробництва щебеню:

- 1) на перевантажувальному складі на поверхні;
- 2) поблизу вузла навантаження гірничої маси з одного конвеєра на інший;
- 3) на конвеєрному відвалі;
- 4) поблизу конвеєрного відвалу;
- 5) у залізничному глухому куті на перегоні “перевантажувальний склад-екскаваторний відвал”.

На рис. 4.2 наведені варіанти технологічних схем попутного виробництва щебеню у вигляді блок-схеми з урахуванням основних процесів і транспортних зв'язків. Рис. 4.2 демонструє багатоваріантність виробництва щебеню при ЦПТ (понад 50 варіантів без урахування різних якісно-кількісних схем, способів примикання до шляхів МПС, потужності установок тощо).

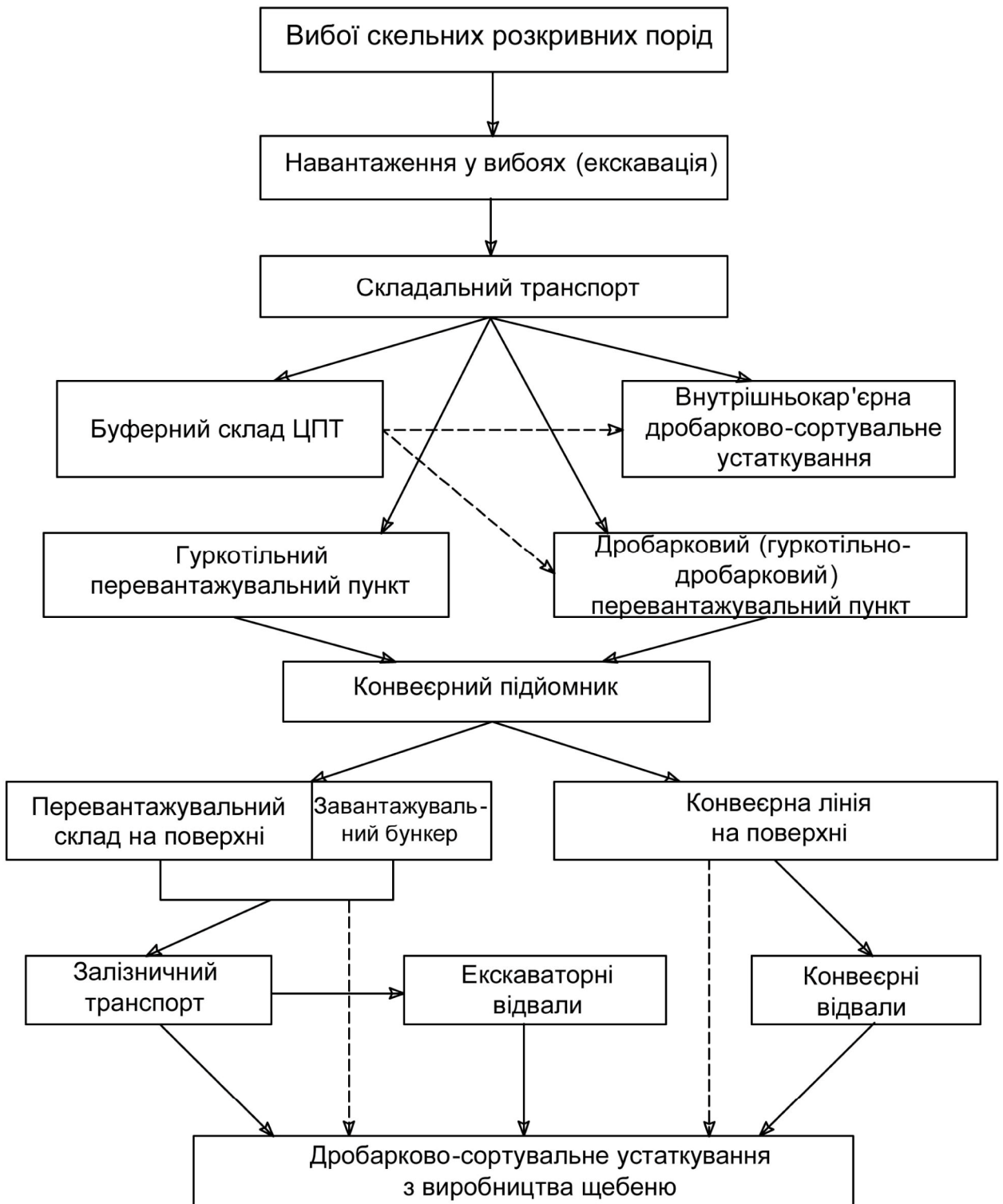


Рис. 4.2. Варіанти технологічних схем попутного виробництва щебеню при ЦПТ по розташуванню ДСУ.

На першому етапі є доцільним попутне виробництво щебеню на пересувних дробильно-сортувальних установках. Їх перевага - в малих обсягах будівельно-монтажних робіт, швидкому введенні в експлуатацію. При цьому можливі три варіанти компоновки установок:

- без подрібнення;
- з однією стадією подрібнення;
- із двома стадіями подрібнення.

Розрахунки показують, що в першому випадку вихід готового щебеню з вихідної гірничої маси складе 41%, у другому - 57%, у третьому 80%, при випуску двох фракцій щебеню 10-40 і 40-70 мм. Фракція 0-10 мм йде у відходи, але за наявності споживача також може бути використана, наприклад, для благоустрою і т.д.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ.

Виконаний аналіз дозволив систематизувати різні гірничотехнічні чинники щодо їх впливу на техніко-економічні показники комплексів ЦПТ.

Безліч факторів технологічного, технічного (конструктивного), організаційного, економічного та природного характеру визначають рівень ефективності ЦПТ. Найбільш повно комплексний вплив цих факторів відбивається на формуванні показника годинної продуктивності комплексу ЦПТ.

Аналіз науково-технічної літератури та існуючих методик визначення та планування основних показників комплексів ЦПТ показує, що в них не враховується сукупний вплив усіх факторів. Це призводить до помилок при плануванні основних параметрів, виборі обладнання, сприяє зниженню ефективності комплексів та скорочення області їх ефективного застосування.

Проведений аналіз показав:

1. Досвід експлуатації комплексів ЦПТ свідчить про те, що на більшості комплексів не досягнуто проектний рівень за основними техніко-економічними показниками і насамперед продуктивності комплексів.

2. Причинами недостатньо ефективного використання комплексів ЦПТ є:

➤ Значні терміни будівництва комплексів (7-9 років) і затримка проектних термінів початку експлуатації, внаслідок чого через зниження гірничих робіт у кар'єрі за період будівництва виникають неоптимальні умови роботи складального автотранспорту (велика висота підйому і середньозважена відстань транспортування).

➤ Неузгодженість у створенні роботи циклічної і поточної ланок ЦПТ. Відсутність достатньо науково-обґрунтованих рекомендацій та методик щодо здійснення такої взаємодії.

➤ Зниження потужності залізрудних кар'єрів (Першотравневий, №1 ЦГЗКа) внаслідок зміни гірничотехнічних умов розробки родовища

(відставання розкривних робіт, зміна напрямку ведення гірничих робіт та ін.) [44, 45].

➤ Недостатнє використання можливостей діючих комплексів ЦПТ (наприклад для виробництва будівельних матеріалів зі скельних розкривних порід).

3. Одним з основних факторів, що визначають всі інші техніко-економічні показники системи ЦПТ, є експлуатаційна годинна продуктивність комплексу ЦПТ. Від якості планування продуктивності комплексу на стадії проектування залежить його економічна та технологічна ефективність при експлуатації.

4. Ефективність роботи системи ЦПТ з автомобільно-конвеєрним транспортом визначається взаємною узгодженістю в роботі двох транспортних систем: циклічної ланки-екскаваторно-автомобільного комплексу кар'єру та потокової ланки-дробильно-конвеєрного комплексу.

Продуктивність роботи дробильно-конвеєрного комплексу значною мірою залежить від ритмічності надходження автосамоскидів на дробильно-перевантажувальний пункт.

Для складального автотранспорту характерна істотна нерівномірність у роботі, показники складального автотранспорту в схемах ЦПТ характеризується значною варіацією, переважанням неусталених режимів руху, недовикористання швидкісних і динамічних якостей, значною питомою вагою (до 40-50%) маневрових та вантажно-розвантажувальних операцій у тривалості транспортного циклу.

5. Одним з основних показників використання часу роботи комплексів ЦПТ є коефіцієнт використання календарного часу. На діючих комплексах ЦПТ коефіцієнт використання календарного часу (k_v) коливається від 0,48 до 0,84.

6. Погодинний аналіз роботи комплексів ЦПТ показує, що гірничу масу надходить на комплекси ЦПТ нерівномірно. Протягом 8-ми годинної зміни безупинної роботи комплексу продуктивна робота здійснюється в

середньому протягом 5 годин. На початку та наприкінці робочої зміни продуктивність ЦПТ різко падає. Продуктивність комплексу в першу годину роботи зміни становить 20-25% від продуктивності комплексу в середині зміни і 30-35% від середньозмінної продуктивності. В останню годину роботи комплексу його продуктивність становить 60% від продуктивності в середині зміни і 70% від середньозмінної продуктивності. Продуктивність комплексу протягом 5 годин його стабільної роботи перевищує середньозмінну на 15-20%, що свідчить про значні резерви підвищення продуктивності ЦПТ. Причини суттєвого зниження продуктивності комплексів на початку і наприкінці зміни пов'язані зі складальним автомобільним транспортом, який невчасно виходить на лінію на початку зміни і передчасно сходить наприкінці зміни (10-15% простоїв ЦПТ).

7. Великий вплив на ефективність технологічних процесів ЦПТ надає кускуватість гірничої маси, що надходить з однієї технологічної операції на іншу.

8. Інтенсифікація роботи комплексів ЦПТ може бути здійснена шляхом подачі на комплекс скельної породи з інших кар'єрних видів транспорту в регламентовані проміжки часу. Тривалість періодів подачі породи та обсяги дозавантаження залежать від конструктивних параметрів комплексів, ступеня їх завантаження рудою, умов роботи складального автотранспорту, обсягів видобутої в зоні ДПП скельної породи.

7. Виявлено, що у зв'язку зі зниженням видобувних робіт у кар'єрі та скороченням обсягів видобутку комплекси ЦПТ завантажені на 40-50% від їх проектних потужностей. Це призводить до збільшення собівартості як ЦПТ, так і загалом гірничих робіт у кар'єрі. У той же час у зоні ДПП комплексів ЦПТ розробляються значні обсяги скельних порід, які вивозяться у відвали за допомогою автомобільно-залізничного транспорту. При цьому автотранспорт працює неефективно в неоптимальних умовах за середньої відстані транспортування 3-5 км і більше, з висотою підйому гірничої маси понад 200 м.

На основі висновків можна сформулювати наступні рекомендації відносно подальшого розвитку питання підвищення продуктивності комплексів ЦПТ:

1. Встановити закономірності формування параметрів роботи комплексів ЦПТ з урахуванням ймовірнісного характеру циклічного та потокового процесів.

2. Розробити методику визначення раціональних параметрів режимів роботи комплексів ЦПТ при подачі по одному дробильно-конвеєрному тракту двох видів гірничої маси.

Бібліографія.

1. Yakovlev, V.L., Glebov, A.V., Bersenyov, V.A., Kulniyaz, S.S., & Ligotskiy, D.N. (2020). Influence of an installation angle of the conveyor lift on the volumes of mining and preparing work at quarries at the cyclic-flow technology of ore mining. News of National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, 4(442), 127-137. <https://doi.org/10.32014/2020.2518-170X.93>
2. Kiriya, R.V., Zhigula, T.I., & Zhelyazov, T. (2019). Opredelenie predelnogo ugla naklona trubchatogo lentochnogo konveera. Geotekhnichna Mekhanika, (149), 198-208. <https://doi.org/10.15407/geotm2019.149.198>
3. Chetverik, M.S. (1986). Vskrytie gorizontov glubokikh kar'erov pri kombinirovannom transporte. Kiev, Ukraina: Naukova dumka, 188 s.
4. Chetverik, M.S., Peregudov, V.V., Romanenko, A.V., Levitskiy, A.P. Udod, E.G., & Fedin, K.A. (2012). Tsiklichno-potochnaya tekhnologiya na glubokikh kar'erakh. Perspektivy razvitiya. Krivoy Rog, Ukraina: Dionis, 325 s.
5. Drizhenko, A.Yu., & Anisimov, O.A. (2004). Metodika rascheta parametrov po etapnoy razrabotki porod vskryshi na zhelezorudnykh kar'erakh. Razrabotka Rudnyh Mestorozhdeniy, (85), 128-131.
6. Zimmermann, E., & Kruse, W. (2006). Mobile crushing and conveying in quarries-a chance for better and cheaper production. Proceedings of the 8th International Symposium Continuous Surface Mining, (1), 481-487.
7. Tutton, D., & Streck, W. (2009). The application of mobile in-pit crushing and conveying in large, hard rock open pit mines. Mining Magazine Congress, 1-16.
8. Васильев М.В. Комбинированный транспорт на карьерах / М.В. Васильев. - М.: Недра, 1975. - 360 с.
9. Ritter, R. (2016). Contribution to the capacity determination of semi-mobile in-pit crushing and conveying systems. PhD Thesis. Freiberg, Germany: Technische Universität Bergakademie Freiberg, 176 p.

10. Bazzazi, A.A., Osanloo, M., & Karimi, B. (2009) Optimal open pit mining equipment selection using fuzzy multiple attribute decision making approach. *Archives of Mining Sciences*, (54), 301-320.
11. Burt, C.N., & Caccetta, L. (2014). Equipment selection for surface mining: A review. *Interfaces*, (44), 143-162. <https://doi.org/10.1287/inte.2013.0732>
12. Abbaspour, H., Drebenstedt, C., Paricheh, M., & Ritter, R. (2019). Optimum location and relocation plan of semi-mobile in-pit crushing and conveying systems in open-pit mines by transportation problem. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, 33(5), 297-317. <https://doi.org/10.1080/17480930.2018.1435968>
13. Bernardi, L., Kumral, M., & Renaud, M. (2020). Comparison of fixed and mobile in-pit crushing and conveying and truck-shovel systems used in mineral industries through discrete-event simulation. *Simulation Modelling Practice and Theory*, (103), 102100. <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2020.102100>
14. de Werk, M., Ozdemir, B., Ragoub, B., Dunbrack, T., & Kumral, M. (2017). Cost analysis of material handling systems in open pit mining: Case study on an iron ore prefeasibility study. *Engineering Economist*, 62(4), 369-386. <https://doi.org/10.1080/0013791X.2016.1253810>
15. Burt, C., Caccetta, L., Fouché, L., Welgama, P. (2016) An MILP approach to multi-location, multi-period equipment selection for surface mining with case studies. *Journal of Industrial and Management Optimization*, 12(2), 403-430. <https://doi.org/10.3934/jimo.2016.12.403>
16. Yarmuch, J., Epstein, R., Cancino, R., & Peña, J.C. (2016). Evaluating crusher system location in an open pit mine using Markov chains. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, 31(1), 24-37. <https://doi.org/10.1080/17480930.2015.1105649>
17. Rummel H. (1969). *Ladegerät und Transportfahrseug // Baumaschine und Bautechnik*, №10, S. 414-417.

18. Schmidt E., Gebauer M. (1965). Einsatz von elektronischen Rechenautomaten bei der Proektierung von Braunkohlen tagebauen // Bergbautechnik, №11, S 4-6.

19. Cohrs H.H. (1984). Mobilbrecher im Tagebaueinsatz / ZForder und Heben, №5, S. 376-379.

20. Chadwick J.R. (1983). In-pit crushing, reducing haulage costs // World Mining, №4, S. 46-47.

21. Hoffinan W.C. (1988). Die transportraupe-ein bewahrtes Tagebauhilffagerat // Bergbau, №5, S. 206-210.

22. Muller G. (1986). Shenkung der betriebsconsten im Festgesteein-Tagebau durch Einsatz von Brecher-Band System // Fordern und heben, №8, S. 556-559.

23. Kiriya, R.V., & Larionov, N.G. (2015). Opredelenie predelnogo ugla naklona konveera s lentoy glubokoy zhelobchatosti. Geotekhnichna Mekhanika, (120), 276-286.

24. Joukov, S., Lutsenko, S., Hryhoriev, Y., Shvets, E., & Babiy, E. (2021). Optimization of the parameters of cyclical-streaming technology in the conditions of the development of Kryvbas iron ore deposits. Sustainable Extraction and Processing of Raw Materials, (2), 52-56.

25. Смирнов В.П. Использование теории эксперимента в исследованиях карьерного автотранспорта / В.П. Смирнов, А.А. Котяшев, Ю.И. Лель // Сб. науч. трудов. - 1979. - № 60. - С. 28-34

26. Смирнов В.П. Ритмичность поступления горной массы как условие безопасной работы автотранспорта на перегрузочных пунктах / В.П. Смирнов, В.Л. Могилат, Ю.В. Стенин // Труды. - 1979. - Вып. № 60. - С. 49 - 53.

27. Селянин В.Г. Интенсификация горных работ в глубоких карьерах / В.Г. Селянин. - М.: Недра, 1977. - 192 с.

28. Тимченко А.И. Исследование циклично-поточной технологии при разработке скальных вскрышных пород на маломощных крутопадающих

месторождениях значительной протяженности / А.И. Тимченко // Автореф. дис. канд. техн. наук. - МТИ, 1969. - 13 с.

29. Антонов В.А. Методы расчета и оптимизация параметров аккумулирующих складов при циклично-поточной технологии открытых горных работ / В.А. Антонов // Дис. канд. техн. наук. - 1984. - 174 с.

30. Трубецкой К.Н. Комплексы мобильного оборудования на открытых горных работах / К.Н. Трубецкой, Е.Р. Леонов, Ю.В. Панкевич. - М.: Недра, 1990. - 255 с.

31. Шарин В.В. Возможности попутного производства щебня при ЦПТ на примере карьера № 1 ЦГОКа / В.В. Шарин, М.И. Буянов, Е.Ю. Ребрин, В.Д. Кантемиров // Направления совершенствования технологии открытых разработок месторождений при их комплексном освоении. - 1987. - С. 55-62.

32. Шарин В.В. Выбор технологических схем попутного производства щебня при ЦПТ / В.В. Шарин, С.И. Агданцев, В.Д. Кантемиров, Е.Ю. Ребрин // Комплексное использование минерального сырья. - 1987. - № 8. - С. 82 - 85.

33. Котяшев В.В. Разработка мероприятий по дозагрузке комплекса ЦПТ на Оленегорском ГОКе с целью достижения проектной мощности / В.В. Котяшев, А.П. Тюлькин // Отчет о НИР - Свердловск, 1987. - 118 с.

34. Дрю Д. Теория транспортных потоков и управления ими: Пер. с англ / Д. Дрю. - М.: Транспорт, 1972. - 423 с.

35. Куделя А.Д. Комплексное использование минеральных ресурсов железорудных горно-обогатительных комбинатов УССР / А.Д. Куделя. - Киев: Наук. думка, 1984. - 495 с.

36. Прокопенко В.И. Параметры формирования концентрационных горизонтов в глубоких карьерах / В.И. Прокопенко, А.В. Дриженко, В.В. Котов // Изв. вузов. Горный журнал. - 1972, - № 9. - С. 7 - 12.

37. Тартаковский Б.Н. Циклично-поточная технология добычи руды на карьерах Кривбасса / Б.Н. Тартаковский. - Киев: Техника, 1978 - 175 с.

38. Четверик М.С. Вскрытие горизонтов глубоких карьеров при комбинированном транспорте / М.С. Четверик. - Киев: Наук.думка, 1977. - 188 с.

39. Беляков Ю.И. Совершенствование экскаваторных работ на карьерах / Ю.И. Беляков, В.М. Владимиров. - М.: Недра, 1974. - 303 с.

40. Васильев М.В. Внутрикарьерное складирование и перегрузка руд / М.В. Васильев. - М.: Недра, 1968. - 182 с.

41. Друкованый М.Ф. Влияние дробления пород на эффективность технологических процессов открытой разработки / М.Ф. Друкованый, Б.Н. Тартаковский, В.С. Вишняков, Э.И. Ефремов - Киев: Наук. думка, 1974. - 268 с.

42. Котяшев А.А. Оценка влияния горнотехнических факторов на эксплуатационные параметры большегрузных автосамосвалов / А.А. Котяшев, В.П. Смирнов, Ю.И. Лель // Сб. научн. трудов. - Свердловск, 1980. - № 62. - С. 48-52.

43. Волотковский В.С. Выбор оборудования карьерного конвейерного транспорта / В.С. Волотковский, Г.Д. Кармаев, М.И. Драя. - М.: Недра, 1990. - 192 с.

44. Rakishev, B.R., Moldabayev, S.K., & Rysbekov, K.B. (2015). Technology of liquidation of stripping works' lagging on open pits with the usage of excavating and automobile complexes. GIAB Mining Informational and Analytical Bulletin, (4), 103-112.

45. Moldabayev, S., Sultanbekova, Zh., Adamchuk, A., & Sarybayev, N. (2019). Method of optimizing cyclic and continuous technology complexes location during finalization of mining deep ore open pit mines. SGEM International Multidisciplinary Scientific GeoConference, Science and Technologies in Geology, Exploration and Mining, (19), 407-414. <https://doi.org/10.5593/sgem2019/1.3/S03.052>