

П.В. БЛЕНКО, гірничий інженер, Перший заступник ген. директора АТ «Механобрчормет»
Г.І. ЄРЕМЕНКО, канд. техн. наук, доц., АГНУ
С.О. ЖУКОВ, д-р техн. наук, проф., Криворізький національний університет

НОВІ ДЕТЕРМІНАТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ КРУТО-ПОХИЛИХ КОНВЕЄРІВ ПРИ ВІДПРАЦЮВАННІ КРУТО-СПАДАЮЧИХ РОДОВИЩ

Основна мета дослідження полягає в аналізі сучасних чинників, які впливають на зміни щодо організації переміщення (транспортування) кар'єрних вантажів (гірничої маси) і визначають структуру транспортних технологічних комплексів.

Методами дослідження є порівняльний та причинний аналіз факторів впливу технічних засобів на формування кар'єрних вантажопотоків у залежності від глибини гірничих робіт.

Наукова новизна дослідження полягає в установленні тенденцій та закономірностей еволюції кар'єрного транспорту зі зростанням глибин розробок.

Практичне значення: можливість прогнозування технічного переозброєння вантажопотоків рудних кар'єрів при проектуванні розвитку глибоких горизонтів.

Результат. На підставі виконаного авторами аналізу стану транспортно-технологічних комплексів рудних кар'єрів аргументовано стверджується, що впровадження круто-похилих конвеєрів у виробничі процеси залізорудних кар'єрів України є найбільш перспективним і реальним напрямком у технічному й економічному вирішенні питань удосконалення переміщення гірничої маси. Застосування круто-похилих конвеєрів забезпечує найбільш гнучку оптимізацію будь-якої внутрішньокар'єрної системи дроблення та транспортування гірських порід, проте, гірничодобувна галузь продовжує працювати з використанням звичайних конвеєрів та автосамоскидів. В даний час неоднозначною альтернативою круто-похилим конвеєрам стає навіть використання 300-тонних і більш потужних самоскидів у зв'язку з великими експлуатаційними витратами. Життєздатність застосування похилого конвеєра полягає у ступені його економічності. Це - та перевага, яку він забезпечує порівняно зі звичайною системою доставки за допомогою автомобільного транспорту, яку він має замінити. Аналіз останніх досліджень переконливо продемонстрував повністю виправдане відродження інтересу щодо транспортування гірничої маси в глибоких рудних кар'єрах під великим кутом та технічні й економічні переваги даного напрямку одночасно зі зменшенням негативного впливу на навколишнє середовище за умов його реалізації.

Ключові слова: гірська порода, кар'єр, кар'єрний транспорт, круто-похилий конвеєр.

doi:10.31721/2306-5435-2022-1-110-102-107

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. На даний момент в усьому світі домінують переважно три найпоширеніших види транспортування гірничої маси з кар'єру:

автомобільним транспортом;

комбінованим, що включає автомобільну доставку кар'єрними самоскидами і традиційними системами похилих конвеєрів;

круто-похилим конвеєрним транспортом.

В даний час у більшості кар'єрів глибина відпрацювання корисних копалин перевищує 200 м, що робить доставку автомобільним транспортом занадто витратною та малоефективною. Якщо ж тенденція відпрацювання кар'єрів рухатиметься й надалі у бік поглиблення останніх, то застосування нових круто-похилих конвеєрних систем стане чи не єдиним рішенням з можливих реально щодо підвищення продуктивності транспортування матеріалів.

Аналіз досліджень і публікацій. Метою будь-якої значної модифікації перевіреної часом вантажно-розвантажувальної техніки є досягнення помітного зниження транспортних витрат, достатнього не тільки для відшкодування капітальних інвестицій, а й для того, щоб зробити кінцевий продукт ГМК конкурентоспроможнішим на сучасному світовому ринку. Розробка кар'єрів супроводжується збільшенням їх глибини, зміною гірничо-геологічних умов та, відповідно, способом ведення гірничих робіт. Автомобільний рухомий склад традиційно є засобом транспортування при веденні відкритих гірничих робіт для перевезення гірничої маси з кар'єру. Але напруження зростаючої інфляційної економіки змушує гірників звернути увагу на альтернативи автомобільному транспорту, серед яких значна частина досліджень виділяє круто-похилі конвеєри [1-3]. При цьому головна увага приділяється конструктивному удосконаленню даних засобів з метою максимально ефективного їх упровадження й застосування в кар'єрах [4-10].

Постановка завдання. Значне зниження енергоспоживання та впливу на навколишнє середовище може бути досягнуто за допомогою круто-похилих конвеєрів, які є життєво важливою ланкою в будь-якій внутрішньокар'єрній системі дроблення та транспортування (in-pit crushing and conveying (IPCC)). На жаль, поки що ці круто-похилі конвеєри ще не набули широкого застосування в системах IPCC, де вони можуть реалізувати найбільшу перевагу.

Викладення матеріалу та результати. Конвеєр з великим кутом нахилу бортів – це складова передової технології транспортування корисних копалин з кар'єру нагору з використанням системи стрічкових конвеєрів із кутом нахилу понад 20°.

В даний час відомим є велике число конструкцій круто-похилих конвеєрів, основна відмінність яких полягає у способі утримання вантажу на вантажонесучій стрічці від мимовільного руху вниз під дією сили тяжіння.

Розрізняють такі конструкції круто-похилих конвеєрів:

- конвеєри з підвищеним коефіцієнтом тертя гірничої маси об поверхню стрічки;
- конвеєри зі спеціальними підпірними елементами на стрічці для утримання гірничої маси;
- конвеєри з підвищеним нормальним тиском гірничої маси на стрічку;
- конвеєри з притискною стрічкою.

Великим класом конвеєрів є конвеєри зі спеціальними підпірними елементами на стрічці для утримання гірничої маси. Переважна більшість відомих та застосовуваних крутопохилих конвеєрів даного класу обладнано спеціальними стрічками, що мають на робочій поверхні різного роду підпірні елементи або підпірні борти. До цього типу слід віднести конвеєри, що випускаються компаніями "Flexowell", "Rope-Pocketlift" та "Metso Minerals". Відмінною рисою таких конвеєрів є металеві борти та поперечні перегородки (скребки) висотою до 400 мм, які кріпляться до поверхні стрічки та дозволяють здійснювати транспортування шматків гірничої маси до 400 мм. Ці перегородки ділять стрічку на окремі частини, місткість яких залежить від висоти бортів та перегородок, а також – від кроку перегородок та ширини стрічки.

Приклад конвеєра зі спеціальними підпірними елементами на стрічці можна побачити на рис. 1.



Рис. 1. Конвеєр зі спеціальними підпірними елементами на стрічці

Але найбільшого поширення набули круто-похилі конвеєри з притискною стрічкою, які відрізняються широкою сферою застосування, де кут нахилу може досягати 90°.

Основними виробниками конвеєрів цього класу є «Dos Santos International», «Continental Conveyor Equipment Company» та «Ново-Краматорський Машинобудівний Завод».

Головною особливістю такого конвеєра є закритий жолоб, що складається з нижньої несучої та верхньої притискної стрічок, що працюють спільно у багат шаровому режимі. Верхня і нижня стрічки рухаються і натягуються незалежно одна від одної. Уздовж несучого шляху верхня та нижня стрічки поперемінно спираються на розташовані близько затискні ролики. Радіальний тиск через натяг стрічки та вигнутий профіль постійно притискають гірничу масу, яка знаходиться між двома стрічками. Виникає внутрішнє тертя та гірничу масу може транспортуватися під будь-яким великим кутом - аж до вертикалі.

Приклад круто-похилих конвеєрів компанії «Cortex Industries» (розробка компанії «Dos Santos International», США) у Західній Австралії можна побачити на рис. 2.



Рис. 2. Крутопохилий конвеєр з багатошаровою притискною стрічкою на виході з кар'єру

Основні технічні характеристики круто-похилого конвеєра компанії «Cortex Industries» наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Параметри	Показники
Кут транспортування, град	більш 60
Висота підйому, м	до трьох уступів (42 м)
Ширина стрічки, мм	2600
Розмір шматка гірської породи, мм	до 350
Продуктивність конвеєра, т/г	8000

Примітка. Можливість роботи в обох напрямках, що включає, як підйом з діючого кар'єру на поверхню відвалу, так і опускання для заповнення вироблених кар'єрів порожньою породою і розкривними масами

Зниження енергоспоживання та впливу на навколишнє середовище за допомогою внутрішньокар'єрної системи дроблення та транспортування було реалізовано ще у 1970-х роках. Через те, що транспортування гірничої маси обмежувалося звичайними відкритими лотковими конвеєрами, прямий шлях з кар'єру був виключений, що призвело до спіральних апарелей з малим кутом та/або глибоких щілин, та/або тунелів через борт кар'єру.

Однак слід врахувати той факт, що зі зростанням глибини кар'єру традиційні стрічкові конвеєри доводилося розташовувати за складною схемою, зі значною кількістю перевантажувальних вузлів, що часто включають і сполучні контейнери-перевантажувачі. Ці роботи, пов'язані з обмеженнями по малому куту, вплинули на вартість та погіршення довкілля, внаслідок чого різними компаніями незалежно проводилися дослідження, спрямовані на розробку систем транспортування під великим кутом, які могли б безперервно вивозити видобуту гірничу масу прямо з кар'єру вздовж його борту по найкоротшій відстані між двома кінцевими точками.

На підставі цих досліджень були розроблені системи транспортування з багатошаровими притискними стрічками під великим кутом, в яких використовувалося звичайне конвеєрне обладнання, включаючи гумові стрічки з гладкою поверхнею, які можна було безперервно очищати. Ці системи мали усі позитивні характеристики звичайних конвеєрів, але подолали обмеження по куту. Затискаючи гірничу масу між двома стрічками, внутрішнє тертя матеріалу створювало полегшення транспортування під будь-яким великим кутом, аж до 90° (по вертикалі).

Придатність круто-похилих конвеєрів з багатошаровою притискною стрічкою є ефективною для переміщення гірничої маси з подальшою переробкою за дуже високої швидкості.

Забезпечення подальшого збільшення обсягів видобутку гірничої маси великих кар'єрів залежить від оптимального вибору гнучких технологічних схем розробки та гірничого обладнання, максимально адаптованих до внутрішньої інфраструктури. Використання круто-похилого стрічкового конвеєра за цих умов дозволить підвищити ефективність систем циклічно-потокової технології (ЦПТ).

Застосування ЦПТ дозволяє знизити вартість транспортування гірничої маси, оскільки відомо, що при поглибленні кар'єру на кожні 100 м витрати на транспорт зростають при використанні автомобілів у 1,5 рази, а конвеєрів - лише на 5-6%. Але перевагою круто-похилих конвеєрів у порівнянні з традиційними є здатність переміщати сипучі матеріали під кутом 50-60° і більше. Це дозволяє значно скоротити обсяг гірничо-капітальних робіт під час підготовки траси підйому на борту кар'єру. Вплив кута її нахилу та висоти підйому мас гірських порід можна

простежити за питомими капітальними та експлуатаційними витратами дробильно-конвеєрних комплексів. Як приклад, наведемо дані для річної пропускної спроможності 20 млн тонн (табл. 2), як найбільш наближені до умов залізородних кар'єрів України.

Таблиця 2

Вплив висоти підйому масиву гірських порід на питомі капітальні та експлуатаційні витрати

Висота підйому гірничої маси, м	Зниження питомих капітальних витрат, %	Зниження питомих експлуатаційних витрат, %
100	7	3
200	20	8
300	25	17
400	32	21
500	37	23
600	39	25

З табл. 2 видно, що різниця у витратах, особливо експлуатаційних, для дробильно-конвеєрних комплексів - не дуже велика за висоти підйому матеріалу до 100-200 м. Зміна питомих витрат стає помітною, коли матеріал піднімається на висоту вище 200 м. У зв'язку з чим круто-похилі конвеєри доцільним стає застосовувати при висоті підйому гірничої маси понад 100-150 м. Крім того, використання круто-похилих конвеєрів дозволяє підвищити продуктивність праці одного робочого комплексу ЦПТ на 8-20%.

При збільшенні продуктивності комплексів до 20-30 млн тонн на рік, круто-похилі конвеєри слід застосовувати для підйому гірничої маси на висоту понад 200-300 м. За цих умов за невеликої різниці питомих експлуатаційних витрат (менше 10%), капітальні витрати на комплекси ЦПТ з круто-похилими конвеєрами знижуються на 10-22%. Це стосується застосування, як традиційних, так і круто-похилих конвеєрів при веденні відкритих гірничих робіт.

В інших умовах відпрацювання кар'єрів, коли без великих обсягів гірничо-капітальних робіт розмістити традиційні конвеєри стає дуже складно, застосування круто-похилих конвеєрів не викликає сумнівів.

В якості прикладу наведемо круто-похилий конвеєр (розробка компанії «Dos Santos International», США) на Сербському руднику «Майданпек» з видобутку та переробки мідної руди, що використовує дроблення та транспортування по периметру кар'єру, в якому було вирішено перемістити первинну дробарку глибоко в кар'єр і використовувати багатопарову стрічкову систему транспортування під великим кутом для безперервного підйому руди прямо з кар'єру вздовж борту на поверхню до периметра кар'єру, звідки здійснюється перевантаження гірничої маси на звичайний конвеєр для доставки на завод з подальшою переробкою.

Основні технічні характеристики круто-похилого конвеєра кар'єру «Майданпек» (Сербія) наведено у табл. 3.

Таблиця 3

Параметри	Показники
Матеріал, що транспортується	Золотоносна руда
Розмір шматка гірської породи, мм	до 300
Насипна щільність матеріалу, т/м ³	1,75
Продуктивність, т/г	3500
Кут транспортування, град	37
Висота підйому, м	270
Сумарна довжина, м	916
Ширина стрічки, мм	2000
Швидкість руху стрічки, м/с	3,15
Сумарна потужність приводів (притискна/вантажна), кВт	5040 (1260/3780)

Система, що використовується на кар'єрі «Майданпек», довела свою перевагу за такими пунктами:

1. Скорочення парку вантажівок на 10 одиниць (кожна вантажопідйомністю 200 т), що привело до нульових викидів в атмосферу та значного скорочення пробок на кар'єрі.
2. Виключення необхідності використання 4 км відкотних рамп, що дозволило забезпечити 3,5 км постійного підйому.
3. Забезпечення економії у кількості \$12 млн на рік.

Також слід згадати успішне застосування круто-похилих конвеєрів на золотоносному кар'єрі «Мурунтау» Навойського ГМК (Узбекистан). Необхідність в його використанні виникла у зв'язку зі збільшенням поглиблення кар'єру понад 500 м, з проектним поглибленням - до 1000 метрів. У зв'язку з чим застосування автомобільної доставки стало нерентабельним, оскільки довжина транспортування перевищила межу транспортування корисних копалин автомобільним транспортом у кілька разів.

Другим важливим фактором у необхідності застосування круто-похилого конвеєра в новій системі ЦПТ кар'єру стала неможливість рознесення його бортів, пов'язана з наявністю діючих інфраструктурних об'єктів на східному і південному бортах, а західний і північний борти – неприйнятні до відпрацювання. У зв'язку з чим керівництво підприємства було змушене розпочати будівництво круто-похилого конвеєра у північно-східній частині кар'єру. Цей конвеєр був розроблений заводом «НКМЗ» («Ново-Краматорський машинобудівний завод», Україна).

Для Навойського ГМК будівництво нового ЦПТ з круто-похилим конвеєром не було чимось новим, оскільки на підприємстві вже був досвід застосування цієї технології. На «Мурунтау» вже успішно працював круто-похилий конвеєр з притискною стрічкою висотою підйому 30 м, що експлуатується як перевантажувач на південному борту в комплексі ЦПТ (розробка заводу «Азовмаш», Україна). Цей конвеєр успішно працював і показав перспективність застосування круто-похилих конвеєрів у комплексі ЦПТ.

Основні технічні характеристики круто-похилого конвеєру кар'єру «Мурунтау» Навойського ГМК (Узбекистан) наведено в табл. 4.

Таблиця 4

Параметри	Показники
Матеріал, що транспортується	Мідна руда
Розмір шматка гірської породи, мм	250
Насипна щільність матеріалу, т/м ³	2,08
Продуктивність, т/г	4000
Кут транспортування, град	35,5
Висота підйому, м	93,5
Сумарна довжина, м	173,7
Ширина стрічки, мм	2000
Швидкість руху стрічки, м/с	2,8
Сумарна потужність приводів (притискна/вантажна), кВт	1350 (450/900)

Схема роботи даного комплексу представлена схемою: розвантажувальний пункт для автомобільного транспорту - розвантажувальний бункер - стрічковий живильник - дробарка ДШЗ 1300/300 - круто-похилий конвеєр КНК-270 - складський конвеєр.

На даний час на залізрудних кар'єрах України склалася ситуація, яка сприяє впровадженню комплексів ЦПТ із застосуванням круто-похилих конвеєрів, оскільки глибини відпрацювання кар'єрів є досить критичними для застосування автомобільного транспорту або традиційних похилих конвеєрних систем.

Як приклад наведемо глибини відпрацювання основних залізрудних кар'єрів України.

«Метінвест Холдинг»:

1. Північний ГЗК:

Першотравневий кар'єр - понад 475 м.

Ганнівський кар'єр - 300 м.

2. Центральний ГЗК:

Глеюватський кар'єр - 426 м.

Петрівський кар'єр - 350 м.

Артемівський кар'єр - 195 м.

3. Інгулецький ГЗК. Глибина кар'єру - 480 м.

4. Південний ГЗК. Глибина кар'єру - 375 м.

Холдинг «Феррекспо»:

1. Полтавський ГЗК. Глибина кар'єру - 460 м.

2. Єриствський ГЗК. Глибина кар'єру - 200 м.

«АрселорМіттал Кривий Ріг»:

1. Кар'єр №3. Глибина кар'єру - 390 м.
2. Кар'єр №2-біс. Глибина кар'єру - 290 м.

Висновок. На підставі зазначених глибин можна чітко аргументовано стверджувати, що впровадження круто-похилих конвеєрів у виробничі процеси залізородних кар'єрів України чекає свого часу і є досить перспективним напрямком у технічному й економічному вирішенні питань удосконалення доставки гірничої маси.

Застосування круто-похилих конвеєрів забезпечує зв'язок з оптимізацією будь-якої внутрішньокар'єрної системи дроблення та транспортування, проте, гірничодобувна галузь продовжує працювати з використанням звичайних конвеєрів та автосамоскидів. Промислові підприємства продовжують використовувати звичайні конвеєрні системи з обмеженою гнучкістю, що вимагають надмірного часу маневрування, надмірної складності й обсягів виїмки породи та повторної її обробки.

В даний час неоднозначною альтернативою круто-похилим конвеєрам стає навіть використання 300-тонних і більш потужних самоскидів з великими експлуатаційними витратами.

Життєздатність застосування похилого конвеєра полягає у ступені його економічності. Це - та перевага, яку він забезпечує порівняно зі звичайною системою доставки за допомогою автомобільного транспорту, яку він має замінити.

Аналіз останніх досліджень переконливо продемонстрував повністю виправдане відродження інтересу щодо транспортування гірничої маси в глибоких рудних кар'єрах під великим кутом та технічні й економічні переваги даного напрямку одночасно зі зменшенням негативного впливу на навколишнє середовище за умов його реалізації.

Список літератури

1. **Пертен Ю.А.** Крутонаклонные конвейеры. Л.: "Машиностроение", 1977. 216 с.
2. **Зенков Р.Л.** Механика насыпных грузов. М.: "Машиностроение", 1964. 251 с.
3. **Пертен Ю.** Конвейеры: Справ. А. Л.: Машиностроение. 1984. 367 с.
4. Belt Conveyors for Bulk Materials. Fifth Edition Conveyor Equipment Manufacturers Association (CEMA), USA 1997.
5. **Антоняк Е.** Теоретические исследования и конструирование ленточных конвейеров нового поколения // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). № 3, 2003.
6. **Антоняк Е.** Перспективы развития горных восстающих ленточных конвейеров. Подъемно-транспортное оборудование, № 2, 2001.
7. Goodyear Supplier News. Engineering and Mining Journal, July 1999.
8. **Greune A.:** Energiesparende Auslegung von Gurtförderanlagen. Dissertation, University of Hanover, Germany 1989.
9. **Spaans C.:** Calculation of the Main Resistance of Belt Conveyors, Bulk, Solids, Handling, nr 4, 1991.
10. Stetigförderer-Gurtförderer fbr Schbtgtbter - Grundlagen fbr Berechnung und Auslegung. Deutsches Institut fbr Normung DIN 22101 e.V. Febr. 1982.

Рукопис подано до редакції 03.04.22

УДК 622. 7

ВОЛОДИМИР ГАРБЕР Dr.-Ing

Büro Feuerung- und Trocknungstechnologien, Німеччина

ВОЛОДИМИР ГОЛОВАНЬ, Незалежний консультант АГНУ, Україна

ВИКОРИСТАННЯ ПВП - ПИЛОВУГІЛЬНОГО ПАЛИВА В МЕТАЛУРГІЇ ТА НА ГЗК УКРАЇНИ

Мета. Метою даних досліджень є оцінка можливості застосування використання вугільних технологій на основі відпрацьованих металургіями технічних рішень щодо заміни газу вугіллям.

Методи дослідження. Дослідження способів приготування та спалювання пиловугільного палива залежно від властивостей вугілля та технологічного процесу.

Наукова новизна. Наукова новизна результатів дослідження полягає в визначенні основних показників процесу сушіння та спікання металургійних продуктів з використанням вугільного палива залежно від типу та теплової потужності основного технологічного апарату, марки використовуваного вугілля, умов складування та подачі вугіл-