

І.Б. СТЕПАНКІНА, старший викладач, Криворізький національний університет

АНАЛІЗ ФУНКЦІОНУВАННЯ КОНВЕЄРНИХ СИСТЕМ КРИВОРІЗЬКОГО ЗАЛІЗОРУДНОГО БАСЕЙНУ

У сучасних умовах найбільш ефективними технологіями транспортування гірничої маси в глибоких кар'єрах є циклічно-поточні технології. При обґрунтуванні раціональних параметрів надійності експлуатації кар'єрних транспортних комплексів важливою є проблема взаємодії складових видів транспорту. В статті проведено аналіз взаємодії видів промислового транспорту глибоких кар'єрів у сучасних умовах з метою її удосконалення. Відмічено, що об'єктивною є необхідність створення транспортних комплексів, що базуються на одночасному або послідовному використанні двох чи більше видів транспорту в самостійному чи комбінованому використанні. Велике значення при цьому має досягнення збалансованої роботи всіх видів транспорту в комплексі. Для оптимізації транспортної системи кар'єру необхідно встановити кількісні та якісні показники взаємодії між транспортними процесами та їх обладнанням, а також раціональні співвідношення параметрів кожного виду кар'єрного транспорту в комплексі. Визначено напрямки дослідження закономірностей взаємодії елементів гірничотранспортної системи кар'єрів з метою збільшення її ефективності. На підставі проведених досліджень та обробки статистичного матеріалу планується провести обґрунтування параметрів надійності експлуатації автомобільно-конвеєрного комплексу глибоких кар'єрів.

Ключові слова: циклічно-поточна технологія, глибокий кар'єр, автомобільно-конвеєрний комплекс, взаємодія, надійність.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Розвиток гірничорудної промисловості визначається діяльністю великих гірничо-збагачувальних комбінатів, на частку яких припадає близько 80% видобутої руди. Сучасний гірничо-збагачувальний комбінат об'єднує кар'єри, фабрики підготовки руди, ремонтні, енергетичні та інші допоміжні підрозділи та за своєю структурою і функціональною діяльністю є дуже складною організацією, що має властивості, характерні для великих систем.

Гірниче підприємство являє собою складну систему багаторазового або безперервного функціонування; всі технологічні процеси та операції, що відбуваються в ньому, постійно повторюються. Причому ці повторення відбуваються в умовах впливу безлічі випадкових перешкод, в результаті чого мають місце різні порушення як в роботі окремих підрозділів, так і підприємства в цілому [1].

Конвеєрний транспорт широко використовується на підприємствах гірничодобувної промисловості для переміщення розсипчастих порід. Стрічкові конвеєри найбільш широко представлені на збагачувальних і брикетних фабриках гірничо-збагачувальних комбінатів, на поверхні шахт і кар'єрів (бункери, склади, похилі галереї тощо).

З початком використання важких конвеєрів зі стрічкою шириною 1600 і 2000 мм на кар'єрах Інгулецького, Північного, Центрального, Новокриворізького та Південного ГЗК Кривбасу об'єми перевезення залізної руди та скельних порід складають 400 млн т на рік.

У сучасних умовах на підприємствах гірничодобувної промисловості технологічні та транспортні лінії взаємопов'язані та утворюють одну промислову систему.

Відмова транспортної конвеєрної системи часто призводить до зупинки виробництва в цілому та до зниження обсягів випуску продукції. Надійність роботи конвеєрів є однією з вирішальних властивостей гірничодобувного комплексу, яка визначає ефективність транспортування гірничої маси.

Аналіз досліджень і публікацій. Кар'єри Криворізького залізорудного басейну відносяться до характерного типу родовищ «похилі та такі, що круто падають» поклади зі скельними породами і рудами та невеликою потужністю м'яких покривних порід. Конвеєри на підприємствах відкритого видобутку залізних руд Кривбасу транспортують розкриті та скельні породи з розмірами шматків до 200÷300 мм.

Продуктивність по розсипчастим породам доходить до 15000 м³/год. Траси конвеєрів у горизонтальній площині зазвичай прямолінійні, а у вертикальній можуть бути похилими або мати складну конфігурацію.

Короткі пересувні стрічкові конвеєри монтуються на колісному ході і використовуються на навантажувально-розвантажувальних роботах, найчастіше на складах готової продукції агломерацийних фабрик.

Із збільшенням глибини кар'єрів і обсягів видобутку залізних руд часто комбінують два або декілька видів транспорту: автомобільний із залізничним; автомобільний з конвеєрним; автомобільний зі скіповим підйомом та ін.

Досвід експлуатації конвеєрних установок на кар'єрах Кривбасу (ІнГЗК, ПГЗК, Північний ГЗК) дозволяє визначити їх роль і область подальшого використання. Щорічні обсяги переміщення руди конвеєрними трактами досягли 18-20 млн т, що не виключає необхідності прямих перевезень руди автомобільним або іншими видами транспорту.

На Південному ГЗК використовують стрічкові конвеєри ЛК-9, 1КТ, реверсивні пересувні стрічкові конвеєри 2Т виробництва Новокраматорського машинобудівного заводу. В 2012 р. комплекс циклічно-поточної технології Північного ГЗК був обладнаний шістьма стрічковими конвеєрами виробництва цього машинобудівного підприємства.

Інгулецький гірничо-збагачувальний комбінат першим серед гірничорудних підприємств освоїв в промисловому масштабі циклічно-поточну технологію видобутку руди з використанням автомобільно-конвеєрного транспорту.

У 1973 р. був зданий в експлуатацію конвеєрний тракт «Східний», а в 1983 р. - конвеєрний тракт «Західний» (кожен продуктивністю 18 млн т руди на рік). У 1996 р. введено в експлуатацію 3-ю чергу конвеєрного тракту.

Технологічна схема передбачає переміщення неокисленої добутої руди із забоїв самоскидами до приймальних пристроїв концентраційних горизонтів, обладнаних конусними дробарками ККД-1500/180 ГРЦ.

Приймальний пристрій являє собою залізобетонний бункер, перекритий нерухомим колосниковим решетом з відстанню між колосниками 250 мм.

Дробарно-перевантажувальні пункти розташовані на додаткових горизонтах - мінус 180 м і мінус 240 м (дно кар'єру - мінус 426 м). Продукт з-під решітки з бункера за допомогою живильника надходить на конвеєр; після первісного дроблення руда похилими конвеєрами по підземних виробках і наземних галереях подається на збагачувальні фабрики.

Надрешітний продукт за допомогою самоскидів доставляють на поверхню. На кар'єрі ІнГЗК за наявності двох конвеєрних підйомників самоскидами вивозять до 21 % усієї видобутої руди.

Виймку скельних розкривних порід на глибоких горизонтах із застосуванням циклічно-поточної технології по похилим конвеєрам застосовують на Первомайському кар'єрі Північного ГЗК та на кар'єрі № 2 ВАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» з розташуванням конвеєрів в стовпах [2].

У даний час на всіх кар'єрах Криворізького залізорудного басейну (крім Петровського і Артемівського кар'єрів ВАТ «ЦГЗК») застосовується циклічно-поточна технологія гірничих робіт у варіантах виконання схем розкривання горизонтів підземними виробками (конвеєрні стовбури і квершлагги) і схем з розташуванням конвеєрних підйомників в крутих траншеях. Конвеєрний транспорт створює безперервний магістральний потік скельної гірничої маси з кар'єру, а подачу дробленої гірської маси на конвеєр забезпечують живильники дробильно-перевантажувальних пунктів (ДПП).

Відстань транспортування руди від забоїв до концентраційних горизонтів при цьому щорічно збільшується на 40÷100 м [3].

В умовах глибоких кар'єрів енергетична ефективність конвеєрного транспорту у 1,9÷2,2 рази вища, ніж електрифікованого залізничного транспорту та у 2,4÷3,0 рази – ніж автомобільного.

Для забезпечення високої надійності та ефективності роботи конвеєрів всі основні показники надійності повинні бути нормовані. Нормативний термін служби конвеєрів 4-8 років. Стрічковий конвеєр є однією з найбільш надійних установок для переміщення гірської маси. Такі конвеєри мають високу експлуатаційну надійність.

Нормативні мінімальні значення коефіцієнта готовності стрічкових конвеєрів магістральних конвеєрних систем знаходяться в межах 0,95÷0,96, для дільничних конвеєрів - дещо нижче (0,9÷0,95). В окремих випадках коефіцієнт готовності конвеєрів може досягати 0,98÷0,99.

Конвеєрні системи утворюються послідовним, паралельним і комбінованим розташуванням окремих елементів. У послідовній системі конвеєрів можуть бути наявними або відсутніми накопичувальні пристрої у кожного окремого конвеєра або у всієї системи в цілому. Такі сис-

теми можуть мати дублюючу лінію за окремими складовими частинам або у всій системі в цілому [4-5].

У ланках транспортного ланцюга, представлених конвеєрним транспортом, процес транспортування проходить дискретно. Збільшення глибини сучасних залізрудних кар'єрів Кривбасу внаслідок розробки родовищ призводить до значного подовження конвеєрних ліній та до збільшення кількості конвеєрних ставів на похилих висхідних трасах. Це зменшує загальну надійність системи транспортування.

Маючи високу продуктивність, технологічні конвеєрні системи містять лімітуючі елементи, які швидко зношуються, наприклад, роликові опори і конвеєрна стрічка. Довговічність конвеєрних стрічок суттєво залежить від крупності, щільності та абразивності транспортованих порід, а також від впливу динамічних навантажень.

Унаслідок підвищення навантажень на окремі елементи конвеєрів при крутих підйомах великих шматків породи надійність системи транспортування повинна бути найбільш повно врахована. Тим більше, що на відміну від систем стрічкових конвеєрів загального призначення, для яких одним з основних способів підвищення надійності є резервування, конвеєрні лінії гірничодобувних підприємств відносяться до нерезервованих систем.

Резервування дозволяє створити системи, надійність яких вища за надійність окремих елементів, що входять до її складу. Але для конвеєрних систем гірничодобувних підприємств установка резервної лінії значно підвищує капітальні витрати на додаткові гірничі роботи та спорудження резервної конвеєрної лінії, що робить резервування всієї системи неприйнятним [6-8].

Постановка завдання. Метою роботи є аналіз функціонування конвеєрних систем, що використовуються на кар'єрах та збагачувальних фабриках гірничо-збагачувальних комбінатів Криворізького залізрудного басейну та окреслення напрямків підвищення надійності конвеєрних систем з метою збільшення ефективності гірничотранспортної системи кар'єрів.

Викладення матеріалу та результати. Техніко-економічні показники конвеєрного транспорту визначаються, в першу чергу, продуктивністю, а також енергоємністю і вартісними характеристиками конвеєрних установок.

Експлуатаційна продуктивність конвеєрів залежить від ширини стрічки, швидкості транспортування, а також від коефіцієнта використання конвеєрного транспорту протягом зміни. Витрати на технічне обслуговування та ремонт конвеєрних систем складають 10-15 % від загальної суми витрат на експлуатацію.

Конвеєрна система гірничодобувної промисловості розглядається як складна імовірнісна система, функціонування якої описується математичними моделями. Підвищення надійності конвеєрних систем вимагає науково обґрунтованих рішень на базі теорії надійності.

Математичні моделі перехідних станів систем конвеєрного транспорту будуються на основі безперервних марковських процесів, що описуються системами диференціальних рівнянь, які можуть мати різні методи рішень, включаючи і наближені [9-10]. Із загального числа аварійних простоїв системи транспортування і переробки гірничо-збагачувального підприємства на долю конвеєрного транспорту приходить близько половини простоїв. Час «чистої» роботи конвеєрної лінії, що складається з послідовно з'єднаних конвеєрів, на практиці виявляється менше часу ймовірних простоїв. Коефіцієнт готовності конвеєрної лінії та ступінь використання конвеєрів в часі зменшуються при збільшенні кількості конвеєрів у технологічній лінії.

Найпоширенішими причинами простоїв конвеєрних ліній є несправності механічного та електричного устаткування конвеєрів, проведення перевірок та регулювання, несправності контролюючої апаратури, нерегулярне підвезення або відсутність руди, пошкодження стрічок конвеєрів. На конвеєрних лініях глибоких залізрудних кар'єрів за зміну спостерігають в середньому 2-3 зупинки з переважною тривалістю від 14 до 22 хвилин.

До 20 % простоїв стрічкових конвеєрів визвано позаплановими роботами із заміни та ремонту стрічок, що отримали пошкодження внаслідок передчасного зношування стиків через роботу з несправними роликами. Значні об'єми ремонтів стиків стрічки (до 25 % втрат часу) визвано ушкодженнями стикувальних з'єднань, що виникають під час пуску конвеєра. На вулканізацію стиків стрічки конвеєра припадає найбільший час простоїв.

Ще одна причина - схід стрічки на сторону, особливо в місцях перевантажування руди, та швидке зношування неякісної стрічки за шириною. Значна частина пошкоджень (до 10%) ви-

никає через проколи та розриви стрічки одиничними ударами значної сили при неякісному подрібненні рудної маси.

До 12% простоїв виникає за причиною забивання видобутою гірничою породою транспортних конвеєрних ліній через низьку ефективність очищувальних пристроїв. У таких умовах максимальне напруження на відмову - це тривалість роботи конвеєрної лінії, протягом якої відсутні простої з тривалістю 15-30 хвилин [7].

За відсутності накопичувальних пристроїв зупинка будь-якого окремого послідовно розташованого конвеєра викликає відмову всієї конвеєрної системи. Ймовірність безвідмовної роботи системи, що складається з n конвеєрів, визначається добутком ймовірностей безвідмовної роботи кожного окремого конвеєра.

Загальний коефіцієнт готовності системи визначається аналогічно. Коефіцієнт готовності конвеєрної лінії, що складається з n послідовно встановлених конвеєрів і $(n-1)$ перевантажувальних вузлів, зменшується при збільшенні кількості конвеєрів.

У конвеєрних лініях, довжина яких досягає 8 км, зазвичай послідовно встановлюється до 10 стрічкових конвеєрів.

При нормативних значеннях коефіцієнта готовності конвеєрів 0,96 і коефіцієнта готовності перевантажувальних пунктів 0,996, прийнятих при проектуванні конвеєрних ліній, зниження надійності конвеєрної лінії в залежності від числа встановлених в ній конвеєрів значне: наприклад, при 7 конвеєрах в лінії коефіцієнт її готовності $K_1=0,73$.

Зі збільшенням часу експлуатації конвеєрної лінії відбувається зниження її надійності порівняно з проектною внаслідок спрацювання вузлів і деталей як конвеєрів, так і перевантажувальних пунктів, що приводить до зростання числа відмов, а також витрат на їх ліквідацію, збільшуються простої конвеєрних ліній і пов'язані з цим втрати видобутку руди.

При проведенні аналізу оцінки надійності конвеєрних ліній важливо встановити всі можливі причини простоїв системи та їх відповідний ймовірнісний вплив на працездатність лінії та виконання планових показників гірничодобувного підприємства.

Оскільки значна частка простоїв конвеєрних ліній відбувається за різних аварійних причин, то при розрахунку продуктивності конвеєрної лінії на глибоких і надглибоких залізрудних кар'єрах необхідне більш повне врахування надійності комплекуючого і допоміжного обладнання.

При аналізі тих чи інших абсолютних значень показників надійності, отриманих на основі обробки статистичних даних, необхідно брати до уваги, що при зміні навантаження й умов роботи конвеєра показники надійності будуть різними.

При існуючих конструкціях і схемах конвеєрний транспорт поки не повністю вирішує проблеми переміщення великих обсягів гірничої маси при безперервному посуванні фронту гірничих робіт та їх поглибленні.

Зростання проектної глибини кар'єрів з видобутку родовищ залізних руд Кривбасу може надалі призводити до збільшення довжини конвеєрних ліній за підвищення міцності видобутої гірської маси та ускладнення гірничо-геологічних умов видобутку і транспортування.

Тому підвищення надійності роботи конвеєрних ліній при транспортуванні гірської маси в глибоких і надглибоких кар'єрах - одна з головних задач для підтримання високої ефективності гірничо-транспортної системи кар'єрів Криворізького залізрудного басейну.

Економічна сутність проблеми підвищення надійності обладнання конвеєрних систем досить актуальна, тому що її мета - це стабільне функціонування виробництва та зростання продуктивності праці при зниженні собівартості видобутку залізних руд.

Підвищення надійності конвеєрних систем може бути здійснено або за рахунок резервування окремих елементів системи, або за рахунок підвищення їх надійності внаслідок проведення заходів конструктивного, виробничого і експлуатаційного характеру, а також вдосконалення організації процесу транспортування.

Планується дослідити накопичений досвід застосування конвеєрних систем на кар'єрах глибиною 350÷500 м при обсягах транспортування гірничої маси 70-120 млн т на рік, виконати статистичний аналіз їх роботи, вибір та обґрунтування основних показників надійності таких систем.

Висновки та напрямки подальших досліджень. Проведений аналіз функціонування конвеєрного транспорту, що використовуються на гірничо-збагачувальних комбінатах Криворізького залізрудного басейну.

Окреслено напрямки підвищення надійності конвеєрних систем з метою збільшення ефективності гірничотранспортної системи кар'єрів.

На основі проведених досліджень та обробки статистичного матеріалу планується розробити методику нормування показників надійності конвеєрних систем із можливістю побудовання моделі раціональної системи технічного обслуговування і ремонту складових елементів транспортної системи залізородних кар'єрів.

Список літератури

1. Стахеев, Н.Л. Структуры управления на горно-обогатительных комбинатах [Текст] / Н.Л. Стахеев, В.Л. Казакова. – М.: Недра, 1990. – 124 с.
2. Четверик М.С. Формирование комплексов при технологии преобогачения руды в карьерах [Текст] / М.С. Четверик, Е.В. Бабий, А.А. Икол // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. - 2007. - № 3. – С. 91-93.
3. Бабец, Е.К. Современное состояние горного производства на глубоких карьерах, основные проблемы и пути их решения [Текст] / Е.К. Бабец // *Збірник наукових праць державного підприємства «Науково-дослідний гірничорудний інститут»* - 2010. - №52. - С.10-16.
4. Спиваковский, А.О. Транспортирующие машины / А.О. Спиваковский, В.К. Дьячков. – 3-е изд., перераб. – М.: Машиностроение, 1983. - 487 с., ил.
5. Хачатрян, С. А. Обоснование методов повышения надежности эксплуатации конвейерных систем угольных шахт [Текст]: Дисс. ... доктор техн. наук / С.А. Хачатрян. – С.-Пб., 2004. – 280 с.
6. Вскрытие глубоких горизонтов карьеров [Текст] / под ред. А.Ю. Дриженко. – М.: Недра, 1994. – 288 с.
7. Литвиненко К.В. Надежность конвейерного транспорта при открытой разработке полезных ископаемых [Текст] / К.В. Литвиненко // *Репозиторий НТБ НГУ. – Днепропетровск: НГУ, 2011. – ГЕА №87.*
8. Дриженко, А.Ю. Закономерности формирования рабочей зоны глубоких карьеров [Текст] / А.Ю. Дриженко, К.В. Литвиненко // *Сб. научн. трудов НГУ. – Днепропетровск: НГУ, 2008. - №31. – С.61-69.*
9. Герцбах, И.Б. Модели отказов [Текст] / И.Б. Герцбах, Х.Б. Кордонский / под ред. Б.В. Гнеденко. – М.: Советское радио, 1966. – 166 с.
10. Вентцель, Е.С. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения [Текст] / Е.С. Вентцель, Л. А. Овчаров. – М.: Наука, Гл.ред. физ.-мат. лит., 1991. – 384 с.

Рукопись поступила в редакцию 11.03.14

УДК 624.042.65

О.І. ВАЛОВОЙ, канд. техн. наук, проф.,

О.Ю. ЄРЬОМЕНКО, М.О. ВАЛОВОЙ, кандидати техн. наук, доц.

Криворізький національний університет

ЗАКОНОМІРНОСТІ ПОВЕДІНКИ СТАЛЕЙ ПРИ СКЛАДНОМУ ДЕФОРМУВАННІ І НАВАНТАЖЕННІ

Наведено результати та аналіз експериментальних досліджень по пружно-пластичному деформуванню сталі при складних навантаженнях. Інтенсивності навантажень на конструкції збільшуються, і як наслідок, поява пружно-пластичних деформацій. Їх врахування у роботі та визначення граничного стану конструкцій є важливим етапом безпечного їх функціонування та довговічності при правильному виборі коефіцієнтів запасу. Більшість реальних елементів конструкцій в процесі експлуатації зазнають дії комплексу термомеханічного навантаження, яке істотно впливає на їх несучу здатність. Тривалі дослідження конструкційних матеріалів, які працюють в умовах складного напружено-деформованого стану, показують, що анізотропія пластичного стану елемента матеріалу залежить як від напружено-деформованого стану та історії деформування, так і від напрямку дії напруження. Дослідження закономірностей пружно-пластичного деформування матеріалів при складному напруженому стані, виявлення впливу та оцінка цих закономірностей в залежності від параметрів складного навантаження при ізотермічних процесах деформування є актуальною задачею механіки деформованого твердого тіла. Наведено результати та аналіз експериментальних досліджень по пружно-пластичному деформуванню сталі при складних навантаженнях. Зроблено висновки по наведеним відомостям.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. У сучасному будівництві характерним є збільшення інтенсивності навантажень на конструкції, і як наслідок, - поява пружно-пластичних деформацій.

Їх врахування у роботі та визначення граничного стану конструкцій є важливим етапом безпечного їх функціонування та довговічності при правильному виборі коефіцієнтів запасу.

Спроби спрощення теорії процесів пружнопластичного деформування конструкційних матеріалів призводять до великої розбіжності розрахунків з експериментальними даними.