

15. Вахненко, В.О. Подібність автомодельних потоків газу і двофазного середовища з нестисливою компонентою [Текст] / В.О. Вахненко //Доповіди НАН України.– 2010. - №12. - С.97 -103.

16. Письменская, Е.Б. Тепловой взрыв в системе ниобий-алюминий. Основные макрокинетические стадии [Текст] / Е.Б.Письменская, А.С.Рогачев, А.С.Бохматов, Н.В.Сачкова // Физика горения и взрыва. – 2000. – Т. 30. № 2. – С. 40 – 44.

17. Гаспарян, А.Т. Макрокинетика взаимодействия и тепловой взрыв в смесях порошков Ni и Al [Текст] / А.Т. Гаспарян, А.С. Штейнберг //Физика горения и взрыва. – 1988. – т. 24, № 3. – С. 67 – 74.

18. Письменская, Е.Б. Высокотемпературный синтез интерметаллических соединений в режиме динамического теплового взрыва[Текст]: автореферат дис. ... канд. физ.-мат. наук: 01.04.17 / Письменская Елена Борисовна; Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения РАН. -Черноголовка, 2000. 16с.

Статья поступила в редакцию 10.05.2016 г.

УДК 658.562.64:622.3

В.Г. Кравець, д.т.н., проф., НТУУ «КПІ», **О.А. Темченко**, д.т.н., проф., ДВНЗ «Криворізький національний університет», **В.В. Вапнічна**, к.т.н., доц, НТУУ «КПІ», **Г.В. Шиповський**, к.т.н, ст.н.с., провідний інженер технічного відділу ПАТ «ІНГУЛЕЦЬКИЙ ГЗК»

ДОСЛІДЖЕННЯ НАДІЙНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ГІРНИЧОТРАНСПОРТНОГО УСТАТКУВАННЯ НА ГЛИБОКИХ ЗАЛІЗОРУДНИХ КАР'ЄРАХ

V.H. Kravets, (National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»), **O.A. Temchenko**, (State Higher Educational Establishment «Kryvyi Rih National University»), **V.V. Vapnichna** (National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»), **H.V. Shypovskiy** (PJSC “Ingulets GOK”)

MINING AND HAULAGE EQUIPMENT RELIABILITY STUDY AT DEEP-LEVEL IRON ORE OPEN PITS

На основі аналізу п'ятирічних даних щодо фактичного використання гірничотранспортного устаткування на глибоких кар'єрах Кривбасу (Україна) запропоновано механізм розрахунку технологічної надійності рудопотоків у системі «кар'єр - дробильно-збагачувальна фабрика». Отримані статистичні залежності вказують на те, що найбільш істотний вплив на надійність і економічну ефективність рудопотока чинить робота екскаватора у рудному вибої з урахуванням забезпечення необхідної якості дроблення гірничої маси в кар'єрі. Саме на підвищення надійності цієї ланки повинна бути

акцентована аналітична діяльність гірничозбагачувальних підприємств, враховуючи складні умови їх господарювання.

Ключові слова: відкриті гірничі роботи; кар'єр; рудопотік; гірничо-транспортне устаткування; надійність.

На основе анализа пятилетних данных о фактическом использовании горнотранспортного оборудования на глубоких карьерах Кривбасса (Украина) предложен механизм расчета технологической надежности рудопотоков в системе «карьер - дробильно-обогащительная фабрика». Полученные статистические зависимости указывают на то, что наиболее существенное влияние на надежность и экономическую эффективность рудопотока оказывает работа экскаватора в рудном забое с учетом обеспечения необходимого качества дробления горной массы в карьере. Именно на повышение надежности этого звена должна быть акцентирована аналитическая деятельность горно-обогащительных предприятий, учитывая сложные условия их хозяйствования.

Ключевые слова: открытые горные работы; карьер; рудопоток; горно-транспортное оборудование; надежность.

Considering the five-year data analysis of actual mining and haulage equipment use at deep-level open pits of Kryvbas (Ukraine), a mechanism for calculating ore flow reliability in the system "open pit – crushing and concentrating plant" is suggested. The obtained statistical relationship reveals that the most significant influence on the ore flow reliability and economic efficiency is exerted by a mining shovel operation in a face taking into account the need to provide the required crushing quality of mined rock at an open pit. The analytical activity of mining and concentrating enterprises should be focused on the reliability increase of this production stage considering the difficult conditions of their management.

Keywords: open pit mining; open pit; ore flow; mining and haulage equipment; reliability.

Актуальність роботи. Розвиток техніки і технології видобутку та переробки мінеральної сировини на базі сучасних досягнень науки обумовлюється багатьма факторами, зокрема залученням до видобування некондиційних пластів з мінімальним вмістом корисного компоненту, інтенсифікацією процесів видобутку корисних копалин на значних глибинах, яка супроводжується зниженням їх якості і зміною гранулометричного складу, підвищенням вимог щодо якості концентратів, необхідністю зниження матеріалоємності, впровадженням ресурсо- та енергозберігаючих заходів у технологічний процес з одночасним поліпшенням навколишнього середовища.

Як відомо, надійність – це ймовірність безвідмовної роботи $P(t)$ або частка устаткування, що відпрацювало час (t) без відмов. Відмови бувають експлуатаційні (відмови внаслідок помилок в експлуатації) та конструкційні (відмови устаткування при умові його штатного використання), відповідно до яких розрізняють надійність експлуатаційну і конструкційну. Надійність обумовлюється, насамперед безвідмовністю, довговічністю та ремонтпридатністю устаткування (системи, деталі) і є однією з визначальних показників його якості та експлуатаційних переваг, що особливо важливо для складних умов роботи гірничодобувних підприємств. Проблема експлуатаційної надійності гірничо-транспортного устаткування досить докладно розглянута у відомих роботах, зокрема, Шендерова А.І., Ємельянова

О.А., Одіна І.М., Голінкевіча Т.А., Сироткіна З.Л., Пронікова А.С., Катанова А.Б., Діллан Б., Хенлі Е.Дж. [1-7]. Однак, у теперішній час внаслідок зміни умов виробничо-господарської діяльності гірничорудних підприємств (при глибині кар'єрів понад 400 метрів) та з урахуванням їх обмежених фінансових можливостей оновлення гірничої техніки на фоні значних коефіцієнтів спрацювання (до 80%) підвищення надійності застосування устаткування стає об'єктивною пріоритетною необхідністю.

Мета роботи полягає у проведенні оцінки та дослідженні надійності роботи сучасного гірничотранспортного устаткування при застосуванні окремих технологічних схем формування рудопотоків на глибоких залізорудних кар'єрах.

Результати досліджень. Необхідно зазначити, що надійність окремих деталей і в цілому устаткування залежить від великої кількості факторів: характеру та величини навантаження, матеріалів та конструкцій деталей, виду їх термічної обробки, ретельності змащування поверхонь, що піддаються тертю, температури металу деталей, а також від удосконалення управління гірничотранспортним устаткуванням (зокрема, шляхом впровадження сучасних автоматизованих систем управління технологічними процесами). Вплив значної частини цих факторів має випадковий характер, тому викликані ними відмови також є випадковими за своєю природою (приховані дефекти в металі, випадкові перевантаження тощо). При комплексному впливі багатьох факторів на стабільну роботу гірничотранспортного устаткування за певними технологічними схемами видобутку руди досить складно, а інколи і неможливо встановити окремий вплив кожного з них. Тому основні закони надійності устаткування як науки встановлюють на законах теорії ймовірностей і математичної статистики. Останні дозволяють виявити ймовірність появи подій в умовах реального виробництва (відмова, безвідмовна робота, частота відмов тощо), аналіз і врахування яких безумовно приносить користь для подальшої роботи науковців і конструкторів при проектуванні та випробуванні інноваційних моделей та новітнього гірничого устаткування. Вплив параметрів технологічних схем роботи устаткування на надійність функціонування рудопотоків можна оцінити за чотирма групами показників (табл.1) [8].

Використання технологічного устаткування вітчизняних та іноземних фірм, у тому числі Atlas-Corco, Terex, Hitachi, Komatsu, на окремих етапах видобутку руди в залізорудних кар'єрах можна представити наступними комплексами: буровибухові роботи – буровий станок СБШ-250 МНА-32 або СБШ-320, бульдозер, зарядна машина; екскавация гірничої маси – екскаватор (ЕКГ-8И (10); 12,5; ЕГО-8, ЕГУ або аналогічні типи іноземного виробництва), навантажувач; транспортування залізорудної сировини – автосамоскид, залізничний транспорт (тепловоз, електровоз, думпкари); використання циклічно-поточної технології (ЦПТ) – дробарка, конвеєр, екскаватор.

З урахуванням вищезазначеного, можна систематизувати показники, що визначають надійність застосування гірничотранспортного устаткування на глибоких залізорудних кар'єрах: експлуатаційна продуктивність; середня

частота відмов на одну годину роботи устаткування; напрацювання на відмову; інтенсивність відмов; інтенсивність ліквідації відмов; коефіцієнт готовності; коефіцієнт вимушеного (аварійного) простою; коефіцієнт технічного використання; коефіцієнт профілактики; коефіцієнт відмов елементів; коефіцієнт витрат елементів; коефіцієнт вартості експлуатації; сума прямих збитків, які обумовлені відмовою (вартість відновлення елементів та інше); непрямі збитки, які обумовлені простоєм екскаватора (вартість простою колісного транспорту, який технологічно пов'язаний з екскаватором тощо).

При порівнянні напрацювань різних оперативних відмов необхідно врахувати, що найбільший час простоїв пов'язаний, як правило, з відсутністю залізничного транспорту, перевантаженням гірничої маси та зачисткою горизонту. Крім того, за тривалістю відновлення найбільш тривалою є проходження траси під залізничні колії, а також розробка вибою і зачистка горизонту при використанні автомобільного транспорту.

Однією із вагомих складових ефективного використання гірничотранспортного устаткування за певною технологічною схемою видобутку руди є визначення доцільності застосування потужних автосамоскидів на нижніх горизонтах (особливо при значній інтенсивності пониження гірничих робіт), які характеризуються наступними показниками: їх технічною готовністю, використанням парка, вантажопідйомністю та пробігом з урахуванням спрацювання машин.

Таблиця 1

Гірничотехнічні умови, що чинять визначальний вплив на надійність гірничотранспортного устаткування та ефективність видобутку руди відкритим способом на глибоких залізородних кар'єрах

Показник, що обумовлює ефективність видобутку руди відкритим способом	Характеристика
Режим роботи	Регульовані
Коефіцієнт розкриву	
Довжина експлуатаційного блоку	
Кількість вибоїв	
Висота уступу	
Ширина робочої площадки та заходки	
Кусковатість (у тому числі кількість негабариту)	
Гірничегеологічні та текстурно-структурні характеристики родовища, вміст корисного компонента (КК) – заліза магнітного у руді	Нерегульовані
Вміст шкідливих домішок у руді (сірки, фосфору тощо)	
Кут падіння покладу	
Глибина залягання корисної копалини	
Міцність відповідно руди та покладу	
Обводненість	
Щільність	
Пористість	
Шаруватість та вкрапленість рудних зерен	

Продовження табл. 1

Показник, що обумовлює ефективність видобутку руди відкритим способом	Характеристика
Простої, що обумовлені технологічними, технічними (механічними та електричними) і організаційними причинами	Ймовірнісні
Поопераційні та непередбачувальні аварії	
Навантаження на окремі вибої в залежності від зміни природних умов і відповідних технічних рішень	Вихідні
Об'ємно-якісні характеристики рудопотоків, забезпечення обсягів видобутку руди та її гранулометричного складу з запланованим (оптимальним) вмістом корисного компонента і допустимим вмістом шкідливих домішок у ній з подальшою переробкою залізородної сировини на дробильно-збагачувальній фабриці	
Експлуатаційна продуктивність гірничотранспортного устаткування	

При вирішенні проблеми надійності кар'єрних автосамоскидів виокремлюють дві основні задачі в сфері виробництва і експлуатації. Перша задача полягає у встановленні найменш надійних деталей, вузлів і агрегатів автосамоскида та розробці заходів з поліпшення якості конструкції (напрацювання до першого відмовлення). Друга задача направлена на удосконалення технічної експлуатації самоскидів з метою забезпечення високої надійності автотранспортних засобів в процесі їх тривалої експлуатації при оптимальних матеріальних і трудових витратах. Ці задачі тісно пов'язані між собою, доповнюють одна одну і слугують єдиній меті – підвищенню експлуатаційною надійності сучасних автосамоскидів, яка також суттєво впливає на ефективність використання ЦПТ на кар'єрах залізородних родовищ. ЦПТ застосовується для дроблення та переміщення залізородної сировини конвеєрними підйомниками на поверхневий перевантажувальний комплекс (зазвичай перевантажувальна площадка розташовується на борту кар'єра) з отриманням певного розміру куска руди, запланованими коефіцієнтами використання устаткування в часі та питомими енерговитратами.

Для підвищення надійності та строків використання деталей і вузлів гірничотранспортного устаткування необхідно проводити організаційно-технічні заходи конструктивного, технологічного та експлуатаційного характеру. До методів ефективного підвищення його надійності як систем тривалого строку служби, що підлягають відновленню, з послідовним поєднанням елементів відносяться: підвищення можливого навантаження шляхом виконання графіку планово-попереджувальних робіт, а також стійкості до спрацювання і термінів служби деталей та інших елементів устаткування (стріл, рукоятей тощо); скорочення (по можливості) кількості деталей, вузлів та допоміжного обладнання, яке входить до основних приладів устаткування; своєчасна заміна деталей з метою передбачення відмов, які пов'язані зі спрацюванням; підвищення ремонтної технологічності устаткування та застосування сучасних методів надійного відновлення деталей з використанням

новітніх матеріалів, стійких до тертя та динамічних навантажень на конструкцію в важких умовах експлуатації.

З урахуванням вищенаведеного, всі технологічні потоки в залізорудних кар'єрах (у тому числі при формуванні рудопотоків у випадку розробки групи кар'єрів) можна розділити на наступні складові:

Одиничний рудопотік:

- екскаватор (ковш) – доставка руди автосамоскидами (кузов) або залізничним транспортом (думпкар) на внутрішню перевантажувальну площадку (ВПП) – доставка руди автосамоскидами з застосуванням ЦПТ – доставка руди конвеєрним транспортом на поверхневу перевантажувальну площадку на борту кар'єру – доставка руди залізничним транспортом на дробарко-збагачувальну фабрику (ДЗФ).

Відокремлений рудопотік:

- екскаваторні вибої – доставка руди автосамоскидами (кузов) або залізничним транспортом (думпкар) на ВПП;

- екскаваторні вибої – доставка руди автосамоскидами до ЦПТ з подальшим її усередненням – доставка руди конвеєрним транспортом на поверхневу перевантажувальну площадку на борту кар'єра – доставка руди залізничним транспортом на ДЗФ;

- екскаваторні вибої – доставка залізничним транспортом некондиційних (окислених) руд у відвали при селективному відпрацюванні експлуатаційного блоку;

- екскаваторні вибої – доставка руди автосамоскидами(кузов) або залізничним транспортом (думпкар) на ВПП – доставка руди з ВПП залізничним транспортом на ДЗФ (без подальших перевантажень у разі запланованих та аварійних зупинок ЦПТ).

Кар'єрний рудопотік:

- екскаваторні вибої – доставка руди залізничним транспортом на ДЗФ (без перевантажень у разі запланованих та аварійних зупинок ЦПТ);

- екскаваторні вибої – доставка руди автосамоскидами до ЦПТ з подальшим її усередненням – доставка руди конвеєрним транспортом на поверхневу перевантажувальну площадку на борту кар'єру – доставка руди залізничним транспортом на ДЗФ;

- екскаваторні вибої – доставка руди автосамоскидами на ВПП - доставка руди залізничним транспортом на ДЗФ (без перевантажень у разі запланованих та аварійних зупинок ЦПТ).

- резервні вибої – доставка руди автосамоскидами до ЦПТ з подальшим її усередненням – доставка руди конвеєрним транспортом на поверхневу перевантажувальну площадку на борту кар'єру – доставка руди залізничним транспортом на ДЗФ;

- екскаваторні вибої – доставка залізничним транспортом некондиційних (окислених) руд у відвали при селективному відпрацюванні експлуатаційного блоку.

Сумарний (загальний) рудопотік:

– екскаваторні вибої – доставка руди автосамоскидами на ВПП (на тимчасово неробочих бортах кар'єру)- доставка руди залізничним транспортом на ДЗФ (без перевантажень у разі запланованих та аварійних зупинок ЦПТ);

– екскаваторні вибої – доставка руди автосамоскидами до ЦПТ з подальшим її усередненням – доставка руди конвеєрним транспортом на поверхневу перевантажувальну площадку на борту кар'єру – доставка руди залізничним транспортом на ДЗФ;

– резервні вибої з високим вмістом корисного компонента в залізорудній сировині для зменшення коливань якісних характеристик в шихті-доставка руди автосамоскидами до ЦПТ з подальшим її усередненням – доставка руди конвеєрним транспортом на поверхневу перевантажувальну площадку на борту кар'єру – доставка руди залізничним транспортом на ДЗФ;

– резервні вибої з високим вмістом корисних копалин – доставка руди автосамоскидами на ВПП (в якості складу для усереднення вмісту корисного компоненту) – доставка руди залізничним транспортом на ДЗФ (без перевантажень у разі запланованих та аварійних зупинок ЦПТ);

– екскаваторні вибої – доставка залізничним транспортом некондиційних (окислених) руд у відвали при селективному відпрацюванні експлуатаційного блоку;

– формування окремого рудопотоку на підшихтувальному (усереднювальному) складі корисної копалини на борту кар'єру для отримання стабільного вмісту корисного компонента (заліза магнітного) у вихідній мінеральній сировині, яка направляєється на подальшу переробку на дробарно-збагачувальну фабрику з забезпеченням мінімізації шкідливих домішок (сірки та фосфору).

Для кожного окремого виду гірничого устаткування, що включено до рудопотоку, були прийняті певні умовні позначення:

- екскаваторні вибої – ЕВ;
- екскаватор – Е1 (ЕКГ), Е2 (ЕГО);
- доставка руди – ДР;
- автосамоскид – А;
- навантажувач – Н;
- тепловоз – Т;
- думпкар – Д;
- внутрішньокар'єрна перевантажувальна площадка – ВПП;
- поверхнева перевантажувальна площадка – ППП;
- дробарка – Др;
- конвеєр – К;
- поверхневий склад – ПС;
- станок буровий – СБ;
- бульдозер – Б;
- грохот – Г;

- заряджувальна машина – ЗМ;
- дробарно-збагачувальна фабрика – ДЗФ;
- відвал некондиційних руд (в тому числі окислених) – В.

За допомогою умовних позначень можна представити схематичне зображення усіх вищеперахованих видів рудопотоків (рис. 1).

Розглянемо надійність функціонування технологічної схеми рудопотока з погляду теорії ймовірності. Як відомо, кожна подія, що відбувається в сучасному світі, є результатом дії великого числа інших подій, що впливають на можливість виникнення даної події. Тільки досвід або спостереження за подією можуть привести до певних висновків, і лише при достатньо великій кількості спостережень за цією подією можна встановити, чи є взагалі дана подія випадковою. Представимо рудопоток як модель, де залежність елементів у системі виникає через те, що на надійність цих елементів впливають мінливі зовнішні умови.

Одиничний

$B \rightarrow CB \rightarrow B \rightarrow ZM \rightarrow E1 \rightarrow A \rightarrow Dr \rightarrow K \rightarrow PPP \rightarrow E1 \rightarrow D \rightarrow DZF$
 $B \rightarrow CB \rightarrow B \rightarrow ZM \rightarrow E1 \rightarrow A \rightarrow VPP \rightarrow E1 \rightarrow D \rightarrow DZF$

Відокремлений

$B \rightarrow CB \rightarrow B \rightarrow ZM \rightarrow E1 \rightarrow A \rightarrow Dr \rightarrow K \rightarrow PPP \rightarrow E1 \rightarrow D \rightarrow DZF$
 $B \rightarrow CB \rightarrow B \rightarrow ZM \rightarrow E1 \rightarrow A \rightarrow VPP \rightarrow E1 \rightarrow D \rightarrow DZF$
 $D \rightarrow V$
 $D \rightarrow B$

Кар'єрний

$B \rightarrow CB \rightarrow B \rightarrow ZM \rightarrow E1 \rightarrow A \rightarrow Dr \rightarrow K \rightarrow PPP \rightarrow E1 \rightarrow D \rightarrow DZF$
 $B \rightarrow CB \rightarrow B \rightarrow ZM \rightarrow E2 \rightarrow A \rightarrow VPP \rightarrow E1 \rightarrow D \rightarrow DZF$
 $B \rightarrow CB \rightarrow B \rightarrow ZM \rightarrow E1 \rightarrow D \rightarrow DZF$
 $B \rightarrow CB \rightarrow B \rightarrow ZM \rightarrow E1 \rightarrow A \rightarrow VPP \rightarrow E1 \rightarrow D \rightarrow DZF$

Сумарний

Кар'єр 1

$B \rightarrow CB \rightarrow B \rightarrow ZM \rightarrow E1 \rightarrow A \rightarrow Dr \rightarrow K \rightarrow PPP \rightarrow E1 \rightarrow D \rightarrow DZF$
 $B \rightarrow CB \rightarrow B \rightarrow ZM \rightarrow E2 \rightarrow A \rightarrow VPP \rightarrow E1 \rightarrow D \rightarrow DZF$
 $B \rightarrow CB \rightarrow B \rightarrow ZM \rightarrow E1 \rightarrow D \rightarrow DZF$
 $B \rightarrow CB \rightarrow B \rightarrow ZM \rightarrow E1 \rightarrow A \rightarrow VPP \rightarrow E1 \rightarrow D \rightarrow DZF$

Кар'єр 2

$B \rightarrow CB \rightarrow B \rightarrow ZM \rightarrow E1 \rightarrow A \rightarrow Dr \rightarrow K \rightarrow PPP \rightarrow E1 \rightarrow D \rightarrow DZF$
 $B \rightarrow CB \rightarrow B \rightarrow ZM \rightarrow E2 \rightarrow A \rightarrow VPP \rightarrow E1 \rightarrow D \rightarrow DZF$
 $B \rightarrow CB \rightarrow B \rightarrow ZM \rightarrow E1 \rightarrow D \rightarrow DZF$
 $B \rightarrow CB \rightarrow B \rightarrow ZM \rightarrow E1 \rightarrow A \rightarrow VPP \rightarrow E1 \rightarrow D \rightarrow DZF$

Рис. 1. Схематичне зображення формування окремих видів рудопотоків, що використовуються на глибоких заліззорудних кар'єрах Кривбасу

Нехай зовнішні умови, у яких перебуває система, задаються числовою або векторною величиною α , що змінюється із часом, і нехай небезпека відмови кожного k -го елемента залежить тільки від величини $\alpha_k = \lambda_k \alpha$. Тоді й небезпека відмови системи залежить тільки від α

$$\lambda \alpha = \sum_{k=1}^n \lambda_k \alpha \quad (1)$$

Імовірність безвідмовної роботи системи виразиться як

$$P(\xi) = e^{-\int_0^t \lambda_k(\xi) d\tau} \quad (2)$$

Якщо зовнішні умови змінюються випадково, то функція надійності дорівнює

$$P(\xi) = M e^{-\int_0^t \lambda_k(\xi) d\tau}, \quad (3)$$

де усереднення проводиться по всіх реалізаціях $\alpha(\xi)$. Якщо припустити, що процес зміни зовнішніх умов стаціонарний, а час t більший в порівнянні із часом кореляції процесу, то

$$\int_0^t \lambda_k(\xi) d\tau \approx t M \lambda_k(\xi), \quad (4)$$

і тоді $P(\xi) \approx e^{-t M \lambda_k(\xi)}$, тобто у цьому випадку можна брати середні небезпеки відмови $\lambda_k = M \lambda_k(\xi)$ й вважати елементи незалежними. Під час відновлення одного елемента всі інші елементи продовжують працювати. Відмови й відновлення елемента не впливають на надійність інших елементів. Час відновлення елемента не залежить від того, відбуваються в цей час відмови інших елементів чи ні. Іншими словами, кожний елемент відмовляє й відновлюється незалежно від інших. З урахуванням вищенаведених формул за допомогою електронно-обчислюваних методів можна змоделювати виробничі ситуації на основі більше 1000 показників використання гірничотранспортного устаткування (за період часу понад 15000 годин з 2009 по 2014 роки) на залізорудних кар'єрах Кривбасу. Зокрема, на підставі обробки отриманих показників з використанням універсального інтегрованого пакета STATISTICA 7, призначеного для статистичного аналізу процесів, прогнозування та вирішення технічних завдань у промисловості з подальшою візуалізацією даних, була отримана залежність впливу надійності окремих складових кар'єрного рудопотока (з урахуванням визначення ймовірності відмови елементів рудопотока) на загальну технологічну надійність його функціонування (рис. 2).

При розгляді залежностей рис. 2 можна зробити висновок про найвагомійший вплив на формування і використання рудопотоку стабільної роботи екскаватора у рудному вибою, що знаходиться у самому початку технологічного ланцюга. Тому, для надійного функціонування кар'єрного рудопотоку необхідно здійснювати постійний контроль за станом та показниками використання, перш за все, екскаваторної техніки, особливо з понад нормативними термінами її експлуатації.

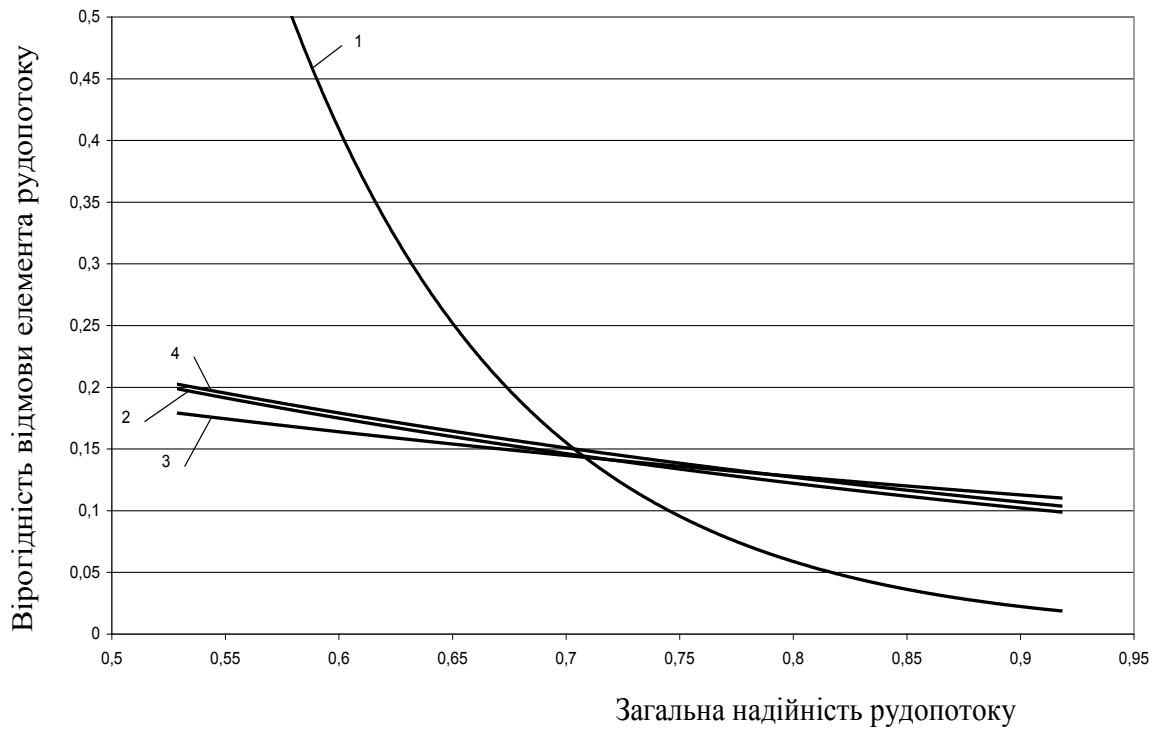


Рис. 2. Залежність впливу надійності окремих складових кар'єрного рудопотоку на загальну надійність його функціонування:

1 – екскаватор (ЕКГ - 8И) при розробці рудного вибою ($y = 137,85e^{-9,6994x}$, $R = 0,79$); 2 – автотранспорт ($y = 0,5132e^{-1,7937x}$, $R = 0,15$); 3 – дробарка ККД 1500/180 ГРЦ – для крупного дроблення руди при використанні ЦПТ ($y = 0,3462e^{-1,2464x}$, $R = 0,099$); 4 – залізничний транспорт ($y = 0,5024e^{-1,7184x}$, $R = 0,14$) [8]

Разом з тим, в результаті досліджень також встановлено, що при розробці складноструктурних родовищ необхідно встановлювати кореляційний взаємозв'язок якості дроблення масива вибухом з питомим опірм підірваної гірничої маси вийманню та продуктивністю устаткування. При цьому в якості узагальнюючого критерію оцінки доцільно прийняти енерговитрати у технологічних процесах на окремих переділах, що дозволить підвищити надійність застосування навантажувально-транспортного устаткування, яке найбільш відповідає фізико-технічним характеристикам складно-структурного родовища та гірничотехнічним умовам глибоких залізрудних кар'єрів. Крім того, аналіз результатів досліджень підтверджує стійку тенденцію залежності продуктивності екскаватора (ЕКГ – 8И) за 1 годину чистого часу роботи від середнього діаметру куска підірваної гірничої маси, зокрема, по мірі збільшення куска з 200 мм до 500 мм продуктивність екскаватора зменшується відповідно у 2,19 рази, а при діаметрі понад 600 мм його робота становиться неефективною. Крім того, вихід негабарита при діаметрі куска понад 500 мм досягає 4 %, що вимагає додаткових витрат на його подрібнення. Подібна ситуація характерна і для дробарок крупного дроблення, оскільки при

збільшенні середнього діаметру куска гірничої маси з 200 до 500 мм їх продуктивність знижується приблизно в 1,4 рази з одночасним збільшенням витрат на проведення додаткових ремонтних робіт, пов'язаних з необхідністю відновлення, насамперед, зношеного футирування.

Встановлено також, що за інших рівних умов між питомим опір підірваного масиву вийманню та межею міцності на стиснення існує певна залежність лінійного характеру. На основі цієї залежності можливо визначити питомий опір підірваної гірничої маси вийманню в реальному інтервалі зміни середнього розміру куска для практично всього діапазону зміни межі міцності порід на стиснення, що характерне при відкритій розробці родовищ зі складними гірничо-геологічними умовами.

Таким чином, надійність застосування гірничо-транспортного устаткування суттєво залежить від фізико-механічних властивостей гірничого масива, що розробляється, і обумовлюється насамперед, якістю дроблення порід вибухом та прийнятними властивостями гірничої маси у контексті формування оптимальних рудопотоків на глибоких кар'єрах. При цьому адаптація до фізико-механічних властивостей гірських порід повинна здійснюватись за рахунок, перш за все удосконалення методів визначення параметрів буро-вибухових робіт (наприклад, шляхом зміни сітки свердловин, введення в заряд вибухової речовини з підвищеною об'ємною концентрацією енергії), що забезпечує найбільш ефективну роботу виймально-навантажувального устаткування, автомобільного та залізничного транспорту, перевантажувальних пунктів, а також дробарок крупного дроблення сирової руди з метою інтенсифікації процесів при подальшому застосуванні циклічно-потоккової технології на глибоких залізородних кар'єрах.

Результати розрахунку надійності гірничотранспортного устаткування в конкретних умовах виробництва дозволять отримати більш реальні об'ємно-якісні характеристики кар'єрних рудопотоків на окремих залізородних родовищах корисних копалин Кривбасу та визначити необхідний обсяг видобутку руди певного гранулометричного складу з запланованим (оптимальним) вмістом корисного компоненту та допустимим вмістом шкідливих домішок для подальшої її переробки на дробарно-збагачувальних фабриках гірничо-збагачувальних комбінатів. При цьому особливу увагу слід приділити найбільш вагомій складовій ефективного функціонування рудопотоків, а саме забезпеченню стабільної роботи екскаваторно-автомобільного та екскаваторно-залізничного комплексу за рахунок впровадження перш за все оптимізації технологічних процесів видобутку залізородної сировини в кар'єрі з одночасним зменшенням поточних витрат, питомої енергоємності та невиробничих втрат, дотримання оптимальних термінів використання гірничого устаткування, вчасного проведення планово-попереджувальних та капітальних ремонтів в контексті цілеспрямованої боротьби з відмовами і простоями гірничотранспортного обладнання та оперативного розслідування первинних причин виникнення кожного з них.

Висновки

В контексті вищезазначеного, подальша зміна показників якості руди в надрах може бути отримана на основі аналітичного моделювання, як за результатами детальної розвідки на стадії проектування, так і на основі прогнозування на стадії експлуатації родовищ з урахуванням поточного опробування шламу вибухових свердловин. При цьому закономірність показників якості руди в надрах обумовлена довгоперіодними коливаннями показників якості руди, що видобуваються. Амплітуди й період таких коливань можна передбачати за амплітудою та періодом закономірної зміни показників якості руди за напрямком, паралельному просуванню видобувних вибоїв, фронту і пониження гірничих робіт на основі існуючих закономірностей формування кар'єрного поля з урахуванням забезпечення оптимальних показників надійності застосування гірничотранспортного устаткування. Крім того, вибір параметрів робочої зони глибокого кар'єру з урахуванням забезпечення стабілізації показників якості руди, що видобувається, повинен здійснюватися за визначальними критеріями, а саме: мінімумом дисперсій довгоперіодних коливань показників якості руди; максимумом витягу готового металу, а також за різницею між цінністю, що витягається (кінцевої продукції) та витратами на її отримання з урахуванням фактору часу.

Таким чином, складнощі, що виникають в нових реаліях господарювання за необхідності невідкладного впровадження нових енергозберігаючих технологій та техніки ведення видобувних робіт в умовах невизначеності цінних характеристик на вітчизняну залізцевмістку продукцію, розробки значної частки багатокomпонентних складноструктурних родовищ корисних копалин з нерівномірним розміщенням показників якості руди в надрах та більш жорстких вимог до кондицій на товарну руду, обумовлюють потребу в застосуванні надійного гірничотранспортного устаткування на глибоких кар'єрах як одного із вагомих чинників формування технологічної складової забезпечення конкурентоспроможності гірничорудних підприємств України.

Список використаних джерел

1. Шендеров, А.И. Надёжность и производительность горнотранспортного оборудования [Текст] / А.И. Шендеров, О.А. Емельянов, И.М. Один. – М.: Недра, 1976. – 247 с.
2. Катанов, Б.А. О надежности карьерных экскаваторов [Текст] /Б.А. Катанов // Горный информационно-аналитический бюллетень: МГГУ, 2005.- №3.- С. 88-91.
3. Голикевич, Т.А. Прикладная теория надёжности [Текст]: Учебник для вузов по спец. "Автоматизированные системы управления", 2-е изд., перераб. и доп. / Т.А. Голикевич - М.: Высш. шк., 1985. -168 с.
4. Сироткин, З.Л. Надёжность карьерных автосамосвалов [Текст] / З.Л. Сироткин, В.М. Альтшулер, А.Н. Казарез.- М.: Центр. научн.-исслед. институт

информации и технико-экономических исследований цветной металлургии, 1974.-73 с.

5. Проников, А.С. Надёжность машин [Текст] / А.С. Проников - М.: Машиностроение, 1978. - 592 с.

6. Диллон, Б. Инженерные методы обеспечения надежности систем [Текст] / Б. Диллон, Ч. Сингх: пер. с англ. – М.: Мир, 1984. – 318 с.

7. Хенли, Э.Дж. Надежность технических систем и оценка риска [Текст] / Э.Дж. Хенли, Х. Кумамото: пер. с англ. – М.: Машиностроение, 1984. – 528 с.

8. Исследование надёжности функционирования карьерных рудопотоков [Текст] / Н.И. Дядечкин, А.А. Темченко, Г.В. Константинов, Г.В. Шиповский //Горный журнал -2013. - № 12. - С. 82-83.

Стаття надійшла до редакції 23.02.2016 р.

УДК 681.2.62

Н.В. Зуєвська, д. т. н., проф., **К.О. Булітко**, аспірант, **О.З. Пасько**, магістр (НТУУ «КПІ»)

МОДЕЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ ҐРУНТІВ ПРИ ЗАСТОСУВАННІ ГОРИЗОНТАЛЬНО НАПРАВЛЕНОГО БУРІННЯ

N.V. Zuievskia, K.O. Bulitko, O.Z. Pasko (National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»)

SIMULATION OF TEMPERATURE REGIME OF SOILS IN HORIZONTAL DIRECTIONAL DRILLING

Розглядається процес спорудження міських комунікаційних систем за допомогою горизонтально направленої буріння. Використовується програмне забезпечення SolidWorks для аналізу розповсюдження теплоти в ґрунтовому масиві від підземних комунікацій, яка була споруджена із застосуванням ГНБ. Визначаються розміри зон із підвищеною температурою.

Ключові слова: горизонтально направлене буріння; ґрунт; температура; теплопровідність; моделювання.

Рассматривается процесс сооружения городских коммуникационных систем с помощью горизонтально направленного бурения. Используется программное обеспечение SolidWorks для анализа распространения теплоты в грунтовой массе от подземных коммуникаций, которая была сооружена с применением ГНБ. Определяются размеры зон с повышенной температурой.

Ключевые слова: горизонтально направленное бурение; почва; температура; теплопроводность; моделирование.

The process of construction of urban communications systems using horizontal directional drilling. SolidWorks software is used to analyze the distribution of heat in the soil mass of