

Список літератури

1. Касымов И. К., Салимов А. Ю. Некоторые теоретические основы пропитки бетона в расплавах термопластика / И. К. Касымов, А. Ю. Салимов // Науч. тр. / Среднеазиат. политехн. ин-т, 1973, вып. 109. - С. 108-114.
2. Салимов А. Ю. Технология пропитки плит покрытия / А. Ю. Салимов // Науч. тр. / Ташкент, политехн. ин-т, 1973, вып. 109. - С. 114-120.
3. Фоломин А. И., Кричевская Е. И. Рекомендации по применению в конструкциях совмещенных крыш безрулонных кровель, полимерных материалов и панелей из водонепроницаемых бетонов / А. И. Фоломин, Е. И. Кричевская // М.: Стройиздат, 1970. - 37 с.
4. Зуфаров К. З. Применение безрулонной кровли на основе полимерной пленки в жилых домах Ташкента / К. З. Зуфаров // - Строительство и архитектура Узбекистана, 1972, No2. - С. 13-15.
5. Краснов В. В., Диамант М. И. Сборная крыша с безрулонными кровельными плитами / В. В. Краснов, М. И. Диамант // Жилищное строительство, 1978. № 9. - С. 13-16.
6. Фазылов У. Ф. Состояние и перспективы развития крыш с безрулонной кровлей в жилищном строительстве IV климатического района / У. Ф. Фазылов // Опыт проектирования, изготовления и применения безрулонных крыш в гражданском строительстве. Ташкент: 1980. - С. 1-3.
7. Спивак Н. Я. Совершенствование конструкций крупнопанельных жилых домов / Н. Я. Спивак // М.: Знание, 1973. - 64 с.
8. Шишкин А. А., Шишкина А. А., Щерба В.В. Особенности использования отходов горнообогатительных комбинатов в производстве строительных материалов / А. А. Шишкин, А. А. Шишкина, В. В. Щерба В.В. // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. - 2013. - № 1(99). - С. 8 - 12.
9. Резниченко П. Т. Охрана окружающей среды и использование отходов промышленности [Текст] / П. Т. Резниченко, А. П. Чехов. - Днепропетровск: Промінь, 1973. - 94 с.
10. Шишкин А. А. Бетоны на основе шламов обогащения железных руд и щелочного компонента [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / Шишкин Александр Алексеевич. - Кривой Рог, 1989. - 177 с.
11. Валовой О. І., Астахов В. І., Афанасьев В. В., Валовой М. О., Єременко О. Ю. Використання відходів гірничорудної промисловості у промисловому, цивільному та транспортному будівництві / О. І. Валовой, В. І. Астахов, В. В. Афанасьєв, М. О. Валовой, О. Ю. Єременко // Гірничий вісник. - 2020. - вип. 107. - С. 142-147.
12. Малахов И. Н. Качество жизни: опыт экологического прочтения / И. Н. Малахов // Кривой Рог: Вежа. - 1999.- 158 с.
13. Моссур П. М., Негода С. В. Техногенное минеральное сырье и его использование в Украине / П. М. Моссур, С. В. Негода // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2007. Вип. 6. - С. 299 - 307.
14. Руденко О. В. Відходи гірничо-збагачувального виробництва: особливості при визначенні їх об'єктом обліку / О. В. Руденко // ISSN 2074-5362. Європейський вектор економічного розвитку. - 2011. - № 1 (10). - С. 202 - 207.
15. Лепя В. В., Прогнімак О. Д. Проблеми утилізації доменних шлаків у контексті переходу до циркулярної економіки / В. В. Лепя, О. Д. Прогнімак // Економічний вісник Донбасу. - 2021. Вип 1 (63). - С. 129 - 145.
16. ДСТУ Б В.2.7-214:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками. - На заміну ГОСТ 10180-90; введ. 01.09.2010. - К.: ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», 2010. - 43 с.
17. ДСТУ Б В.2.7-170:2008 Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення середньої густини, вологості, водопоглинання, пористості і водонепроникності. - На заміну ГОСТ 12730.5-78; введ. 01.07.2009. - К.: ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», 2009. - 38 с.

УДК 622.271

П.В. БЛЕНКО, гірн. інженер, Перший заст. гендиректора,
АТ «НДПІ по збагаченню й агломерації руд чорних металів «Механобрчормет»
Г.І. ЄРЕМЕНКО, канд. техн. наук, доц.,
С.О. ЖУКОВ, В.В. ПЕРЕГУДОВ, доктори техн. наук, професори,
Криворізький національний університет

ПЕРСПЕКТИВИ ТА ЧИННИКИ ЗАСТОСУВАННЯ БЕЗПЛОТНОГО РОБОТИЗОВАНОГО АВТОТРАНСПОРТУ В КАР'ЄРАХ УКРАЇНИ

Основна мета дослідження полягає в аналітичному огляді сучасного стану кар'єрного автотранспорту й ІТ-орієнтованих тенденцій щодо його подальшого розвитку в умовах глибоких залізрудних кар'єрів значної потужності з виділенням перспективних моделей, потенційно придатних до умов Кривбасу.

Методами дослідження є актуальний та компаративний аналіз основних статистичних показників щодо гірничотранспортних систем найбільш масштабних відкритих гірничих розробок рудних родовищ з наступним прогнозуванням перспективності технічного переозброєння крупних залізрудних кар'єрів України в напрямку роботизованого рухомого складу.

© Біленко П.В., Г.І. Єременко, Жуков С.О., Перегудов В.В., 2023

Наукова новизна дослідження полягає в установленні сучасних тенденцій та закономірностей в еволюції кар'єрного автотранспорту зі зростанням глибини гірничих робіт.

Практична значимість: можливість прогнозування ефективності й обґрунтування параметричного діапазону технічного переозброєння вантажопотоків рудних кар'єрів при проєктуванні розвитку їх глибоких горизонтів.

Результати. На підставі виконаного авторами аналізу стану транспортно-технологічних комплексів рудних кар'єрів аргументовано стверджується, що впровадження роботизованого автотранспорту у виробничі процеси залізничних кар'єрів України є найбільш перспективним і реальним напрямком у технічному й економічному вирішенні питань удосконалення переміщення гірничої маси. Застосування роботизованих кар'єрних автосамоскидів забезпечує найбільш гнучку оптимізацію будь-якої внутрішньокар'єрної системи екскавації та транспортування гірських порід, проте, гірничодобувна галузь продовжує працювати з використанням звичайних автосамоскидів. В даний час неоднозначною альтернативою роботизованому автотранспорту стає навіть використання 300-тонних і більш потужних самоскидів у зв'язку з великими експлуатаційними витратами. Життєздатність застосування роботизованого автотранспорту полягає у ступені його економічності й безпеки. Це – ті переваги, які 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 роботизованим автотранспортом 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, роботизований автосамоскид, кар'єрний транспорт.

doi: 10.31721/2306-5451-2023-1-56-126-133

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. На даний момент в усьому світі домінує транспортування гірничої маси в кар'єрах автомобільним транспортом. Глибини ж відпрацювання рудних покладів вже перевищують 400 м, що робить таку доставку в цілому більш небезпечною, витратною та малоефективною. Якщо ж тенденція відпрацювання кар'єрів рухатиметься й надалі у бік поглиблення останніх, то застосування принципово нових кар'єрних автосамоскидних систем стане чи не єдиним рішенням з можливих реально щодо підвищення продуктивності транспортування гірничої маси.

Аналіз досліджень і публікацій. Постійне ускладнення умов праці в кар'єрах та зростання тиску економічних чинників змушує гірників шукати альтернативи традиційному автомобільному транспорту, серед яких на особливу увагу заслуговують системи безпілотного роботизованого автотранспорту [1-3]. При цьому головна увага приділяється не тільки конструктивному удосконаленню даних засобів, але й реорганізації функціонування приймаючої їх кар'єр-системи з метою максимально ефективного їх упровадження й застосування в умовах глибоких рудників [4-10].

Постановка завдання. Серед сучасних тенденцій в розвитку технологічного кар'єрного автотранспорту все помітніше виділяється тенденція до поглиблення рівня автоматизації рухомого складу й управління його роботою в напрямку повної роботизації, що актуалізує проблему своєчасної та системної підготовки вітчизняних відкритих розробок адекватно до відміченого тренду.

Викладення матеріалу та результати. Сучасна розробка родовищ суттєво ускладнює участь людини в технологічних процесах видобутку корисних копалин, створює проблеми пошуку все більш висококваліфікованого персоналу. Тому найважливішим напрямом інноваційного розвитку гірничодобувної промисловості є розробка технологій безлюдної виїмки та транспортування руди із застосуванням сучасних програмно-апаратних комплексів, інтегрованих у загальну систему управління гірничодобувним підприємством. За цих умов особливої значущості набуває створення системи автоматизованого та роботизованого видобутку корисних копалин в кар'єрах. При цьому управління здійснюється як мінімум дистанційно, а у загальному випадку – повністю автоматично. Застосування даної технології гарантує підвищення продуктивності та безпеки відкритих гірничих робіт за рахунок видалення людини з небезпечної зони, їх ефективності за рахунок усунення простоїв, пов'язаних із людськими факторами й управління технікою в оптимальних режимах.

Автономні безпілотні роботизовані автосамоскиди (АБРА) – порівняно новий вид техніки, який передбачає роботизоване керування транспортом при виконанні широкого спектру виробничих заходів та робіт. Безпілотні роботизовані транспортні засоби здатні вирішувати різні завдання в процесі доставки гірничої маси без участі людини або керуватися дистанційно з кабіни, яка знаходиться в іншому місці. Вони рухаються заданою траєкторією і в процесі програмування враховуються різні варіанти маневрів: під'їзд до місця роботи та від'їзд, вантажні та розвантажувальні заходи, рух по певній ділянці та багато іншого.

Безпілотне роботизоване управління стає можливим завдяки застосуванню супутникової навігації, а також заміні механічних електричних зв'язків. У таких машинах з'явилися інтелектуальні системи керування та контролю у загальному інформаційному просторі. В АБРА замість кабіни водія встановлено інтелектуальний модуль. Завдяки такій комп'ютеризації можна використовувати транспорт у цілодобово і тим самим підвищити його ефективність.

У розвитку роботизації – найбільші резерви підвищення ефективності та безпеки гірничого виробництва. Впровадження систем безпілотного роботизованого управління транспортуванням гірничої маси кардинально змінює систему організації виробництва і праці та стимулює появу нових сучасних технологій [1]. За цих умов бортове обладнання автосамоскидів має бути модернізованим. Необхідно передбачити кілька незалежних бортових комп'ютерів (контролерів) з відповідними групами сенсорів, які відповідають за вирішення окремих завдань автоматичного керування, таких, як: інтелектуальна система розпізнавання перешкод; бортовий комплекс для дистанційного керування технікою; центральний керуючий бортовий комп'ютер для керування технікою й узгодження взаємодії всіх бортових програмних підсистем.

Навігаційне обладнання модернізується відповідно до наступних вимог:

на кар'єрну техніку необхідно встановити обладнання високоточної системи навігації;

для більш надійного визначення координат, навіть за короткочасної відсутності даних від диференціальної станції або відсутності видимості супутників, необхідно встановити системи інерційної навігації, що базуються на гіроскопах.

Спільне використання супутникової та інерційної систем навігації дозволить забезпечити високу точність і надійність визначення розташування й орієнтації техніки у просторі.

В сучасних системах управління гірничо-транспортними комплексами використовуються системи бездротової передачі даних, а також комбінації систем: УКХ-зв'язок, транкінгові системи, ширококутові системи передачі даних, стільникові системи зв'язку й ін. Для побудови безпілотних роботизованих систем вантажоперевезень (БРСВ) необхідними є ширококутові системи і технології бездротової передачі даних: WiFi, WiMax, MESH-системи й інша техніка.

Для досягнення максимальної продуктивності системи необхідно, щоб кар'єрна техніка не припиняла свою роботу навіть за короткочасної відсутності зв'язку або затримки в обробці даних на сервері, для чого необхідно забезпечити максимальну автономність бортового програмного забезпечення (БПЗ), яке, окрім функцій управління робочими органами кар'єрної техніки, контролю відстаней до перешкод, їх розпізнавання, визначення місцезнаходження та орієнтації, має здійснювати безпечний рух заздалегідь заданим маршрутом, а також – забезпечити можливість роз'їзду з іншими учасниками руху без участі центрального сервера системи. За сервером диспетчерського центру необхідно залишити функції контролю за безпекою руху, прогнозування небезпечних ситуацій та оповіщення оператора при виникненні позаштатних ситуацій, коли потрібним є безпосереднє віддалене керування автосамоскидами й іншою технікою, вирішення оптимізаційних завдань та ведення цифрової моделі кар'єру, а також загальну функцію автоматичної диспетчеризації та оптимізації роботи [2].

Для оцінки ефективності даних заходів доречним є аналіз результатів експериментальної часткової роботизації руху загальних транспортних мереж [11], з якого слідує, що фактично можна ефективно вирішити проблему перевантаженості автошляхів, пропускну здатність яких за цих умов можна підвищити до 273%, адже на шосе, наповненому звичайними автомобілями з водіями, пропускну здатність однієї смуги руху становить приблизно 2,200 авто/год., і лише 5% доступного дорожнього простору зайняті автомобілями. Це тому, що водіям потрібні смуги руху, як мінімум, у 2 рази ширші автомобіля, і дистанція між автомобілями – 40-50 м.

Дослідники з університету Колумбії [11] спрогнозували перспективність автономних та напівавтономних автомобілів, обладнаних датчиками або міжавтомобільними комунікаційними системами: якщо всі транспортні засоби на дорозі будуть обладнані адаптивним круїз-контролем, то пропускну здатність шосе можна збільшити в 1,4 рази; а якщо – й адаптивними датчиками круїз-контролю та засобами обміну інформацією (про параметри руху) між автомобілями, пропускну спроможність шосе може бути збільшена у 3,7 разів. І збільшення пропускну спроможності досягається без будь-якої модернізації інфраструктури.

На рис. 1 показано, як дистанція між автомобілями залежить від швидкості руху для автомобілів з ручним керуванням (графік 1), для автомобілів, обладнаних адаптивним круїз-контролем (графік 2), та для роботизованих автомобілів, обладнаних засобами обміну інформацією (графік

3). З рис. 1 видно, що за швидкості 120 км/год, роботизовані автомобілі дозволяють скоротити дистанцію з 37 до 6 метрів.

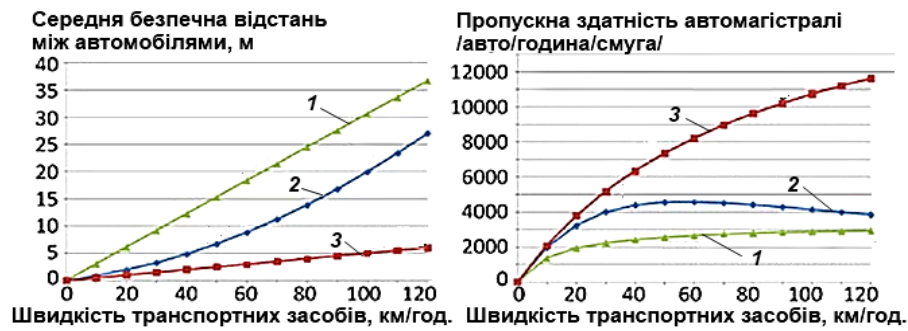


Рис. 1. Залежність дистанції між автомобілями від швидкості руху для автомобілів з ручним керуванням (1), обладнаних адаптивним круїз-контролем (2), та для роботизованих автомобілів, обладнаних засобами обміну інформацією (3)

На рис. 2 показано, як пропускна здатність однієї смуги шосе залежить від швидкості руху для вищевказаних типів автомобілів. З рис. 2 видно, що за швидкості 120 км/год, роботизовані автомобілі дозволяють збільшити пропускну спроможність однієї смуги шосе від 2000 до 12000 автомобілів на годину.

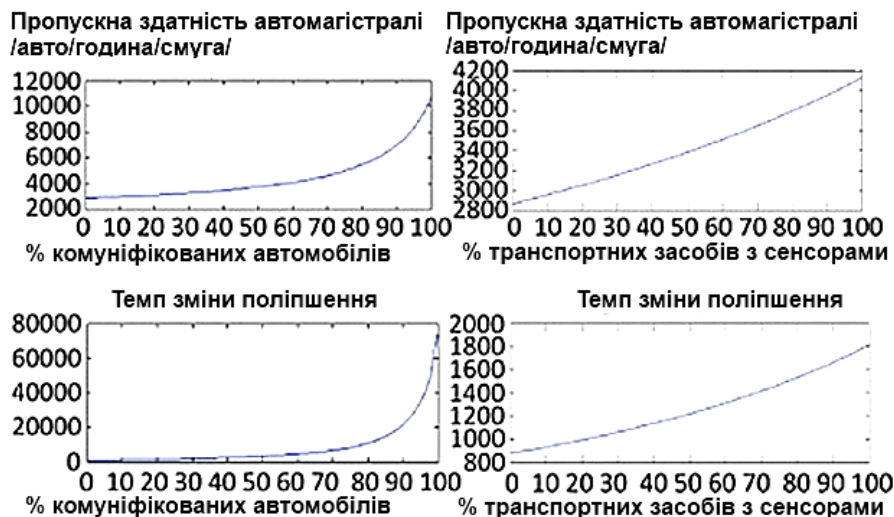


Рис. 2. Залежність пропускної здатності однієї смуги шосе від швидкості руху різних типів автомобілів

Коли робот-автомобіль «знає», що роблять інші, його комп'ютер може розрахувати найкращий план дій та безпечний режим руху, опрацювавши обсяг даних приблизно за час, потрібний водієві для того, щоб перемістити ногу з педалі газу на гальмівну.

Для послідовного відпрацювання технологій застосування БРСВ необхідно виділити етапи: розробка безпілотної роботизованої системи вантажоперевезень за фіксованим маршрутом між стаціонарними пунктами навантаження-розвантаження;

створення БРСВ між екскаваторами та пунктами розвантаження без оснащення дистанційним керуванням екскаваторів й іншої техніки;

створення БРСВ самоскидами з використанням дистанційно-керованої техніки (екскаваторів, бульдозерів, навантажувачів й ін.).

Створення БРСВ є ключовим етапом при застосуванні АБРА. Для її розробки необхідні технічні та технологічні рішення щодо дистанційного й автономного управління кар'єрним самоскидом і організації його руху по заданому маршруту.

До узагальненої структури системи дистанційного керування кар'єрним автосамоскидом мають бути включені бортовий програмно-апаратний комплекс та спеціально обладнане робоче місце оператора. Бортовий контролер забезпечує управління:

пневмостартерним запуском двигуна;

кермовим механізмом;
гальмівною системою;
оборотами дизельного двигуна;
режимами роботи тягового електроприводу;
перекидальним механізмом;

системою освітлення, світлової та звукової сигналізації за командами оператора, що передаються каналом бездротової передачі даних від контролера робочого місця оператора.

Для збереження ручного режиму управління автосамоскидом входи/виходи контролера підключаються паралельно відповідним електричним ланцюгам задіяних органів управління, виконавчих механізмів та пристроїв автосамоскида.

Основною відмінністю АБРА від автосамоскида з дистанційним керуванням є можливість його роботи в автоматичному режимі під керуванням бортового комп'ютера з використанням даних системи високоточної супутникової навігації (можлива інтеграція з інерційною навігаційною системою для забезпечення надійності навігаційних вимірювань), системи запобігання далекоміра та радарів. Оператор, що знаходиться у віддаленому робочому місці (диспетчерському центрі), може забезпечувати контроль роботи автосамоскида і, за необхідності, завдання маршруту руху та вимкнення автономного режиму.

Роботизація впливає на конструкцію самоскидів, що дозволяє зробити їх легшими й ефективнішими (при усуненні кабіни – підвищити вантажопідйомність за рахунок збільшення об'єму кузова). Роботизована ділянка організується за схемою: «виділений маршрут руху автосамоскидів – АБРА – бункер чи екскаватор – пункт розвантаження (склад або відвал) – грейдери дорожніх робіт, бульдозери на складі чи відвалі».

Для керування технологічними операціями роботизованої системи вантажоперевезень розгортається центр управління у складі: «робоче місце водія (дистанційний пульт управління) – робоче місце диспетчера – сервер – обладнання системи передачі даних – базова станція диференціальної поправки». Серверне програмне забезпечення має забезпечувати організацію циклу руху АБРА на лінії, що включає наступні стадії:

готовність АБРА до автономного руху з місця техобслуговування чи заправки;
розрахунок оптимального маршруту під завантаження; маршруту з атрибутами;
контроль й управління рухом; прибуття до екскаватора; сигнал закінчення вантаження;
розрахунок оптимального місця розвантаження;
підготовка маршруту з атрибутами;
контроль й управління рухом; розрахунок нового маршруту або – на ТО, заправку.

При постановці автономного самоскида під завантаження повинні бути забезпечені: відсутність непорозумінь за рахунок виділення зон завантаження та його очікування; точне позиціонування автосамоскидів під завантаження.

Пункт розвантаження самоскидів повинен бути поділений на дві зони: зона розвантаження; зона роботи бульдозера.

З метою безпеки повинна бути виділена зона очікування розвантаження АБРА та передбачені можливості роз'їздів зустрічних АБРА на маршруті, руху попутних АБРА, а також спільної роботи (руху) АБРА і кар'єрної техніки, керованої операторами безпосередньо з кабіни. Для забезпечення функціонування БРСВ потрібним є створення відповідної інфраструктури.

При використанні БРСВ такі параметри геотехнології, як кут ухилу дороги, кут укосу борта кар'єру, швидкість руху АБРА на лінії можуть бути збільшені, а ширина технологічних доріг – зменшена, порівняно з традиційною технологією. Економоефект за цих умов може бути значним, тому потрібними стають детальні дослідження й обґрунтування норм проектування гірничих робіт у разі застосування безпілотної роботизованої кар'єрної техніки.

Найбільш яскравим прикладом цієї нової технології в дії є залізрудний кар'єр «Rio Tinto Pilbara», де можна знайти 80 безпілотних вантажівок «Komatsu» (рис. 3). Використовуючи GPS, радар та лазерні датчики, вантажівки можуть об'їжджати рудник, обминаючи перешкоди та доставляючи на переробку руду. У 2017 р. «Rio Tinto Pilbara» оголосила, що її вантажівки перевезли 1 млрд т гірничої маси, при цьому питомі витрати на руднику скоротилися на 15%.

Для функціонування БРСВ та високої продуктивності кар'єрних автосамоскидів, збереження терміну служби їх основних вузлів і агрегатів, зниження витрати пального та збільшення термінів експлуатації шин має бути забезпечена відповідна якість технологічних доріг. Контроль їх

якості стає найважливішим завданням у зв'язку з відсутністю візуального контролю водієм, а також вимогам до підтримки курсової стійкості. ПЗ має здійснювати автоматичний контроль якості доріг, кількісну оцінку параметрів якості, а також відображати на цифровій карті кар'єру інформацію про місцезнаходження проблемних ділянок й оцінювати типи «поганих» доріг, для включення їх в оптимізаційні алгоритми розподілу самоскидів між пунктами завантаження та розвантаження. У загальному випадку, вихідною інформацією для розрахунку типів неякісного дорожнього покриття є дані телеметрії, що передаються від АБРА: тиск у підвісках, швидкість руху, обрана передача, свідчення інклінометрів і лідарів.

У разі, якщо до складу БРСВ включаються кілька самоскидів, пунктів навантаження та розвантаження, то постає завдання оптимізації роботи такої системи за рахунок оптимального розподілу АБРА на маршруті, відповідно до виробничого плану.

Факторами підвищення продуктивності при використанні АБРА є:

виключення нетехнологічних простоїв, пов'язаних із людським фактором;

зниження простоїв, пов'язаних із непогодою, запиленістю після БВР та загазованістю;

зниження облікової чисельності водіїв. З'являються оператори, які контролюють рух, здатні у разі нештатних ситуацій перевести самоскид у режим дистанційного керування та провести його за маршрутом. Співвідношення: 1 оператор контролює рух 4 АБРА;

зниження експлуатаційних витрат на утримання АБРА (шини, паливе, фонд оплати праці, витратні матеріали тощо), пов'язаних з некоректним керуванням, втому водіїв;

скорочення капвират на будівництво соціальної інфраструктури;

можливість гірничих робіт на ділянках, де перебування людей заборонено чи обмежено.

Цикл роботи АБРА повинен включати:

поетапне завантаження у першій та у другій точках породного бункера ЗФ;

рух до пункту розвантаження;

заїзд на майданчик очікування (за потреби), розвантаження та повернення.

Пункт розвантаження автосамоскида повинен розділятися на дві зони:

1. Зона розвантаження з визначенням системою автоматично його точок.

2. Зона роботи бульдозера.

На етапі дослідної експлуатації заїзд самоскида під завантаження та виїзд – в режимі дистанційного керування під контролем оператора бункера через пульт дистанційного керування (ПДК). На етапі промислової експлуатації – автоматично: на ділянку запускаються декілька АБРА, що працюють в режимі автономного керування. Оператор ПДК бере на себе керування автосамоскидом за командою технічного спеціаліста у разі виникнення аварійних ситуацій та неможливості продовження роботи АБРА в режимі автономного керування.

До світових лідерів у виробництві АБРА, окрім компанії «Komatsu» (Японія), слід віднести «Caterpillar» (США), «БелАЗ» (Білорусь), «Scania» та «Volvo» (Швеція), «Hitachi» (Південна Корея), а також «Liebherr» (ФРН) [4-10].



Рис. 3. Автонгомні безпілотні роботизовані автосамоскиди: а – «Komatsu», б – «Caterpillar», в – «Scania»

Провідні виробники обладнання «Komatsu», «Caterpillar» та «Hitachi» досягли помітних успіхів у розгортанні автономних систем транспортування, при цьому як основні фактори були визначені економічні переваги та безпека, а також підвищення продуктивності на деяких операціях до 30%. Наприклад, у «Caterpillar» на даний момент близько 200 АБРА «CAT 797 F», що працюють по всьому світу. Також «розумним» стає ще один АБРА – найбільший у світі самоскид «БелАЗ» 75710, власною масою 496 тон.

Слід урахувати, що АБРА пропонують гірничодобувним підприємствам ряд переваг:
вища точність роботи;
відсутність проблем із поганою видимістю;
можливість роботи 24/7 без втоми та перерв на обід;
виключення людського фактора, який нерідко стає причиною помилок та аварій;
здатність точно повторювати траєкторію руху, аж до 10 мм;
відсутність страху при виконанні робіт на гірських розв'язках за умов снігу та дощу, де будь-яка помилка може призвести до аварії;
зниження кількості нещасних випадків.

Тому не дивує той факт, що багато гірничодобувних компаній упроваджують безпілотну роботизовану техніку і намагаються замінити нею хоча б частину свого автопарку. При цьому результати помітні вже в перші місяці роботи: економія на пальному та оплаті праці, значне підвищення ефективності роботи, зниження часу окупності техніки.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Досвід використання АБРА на відкритих розробках впевнено зазначив, що застосування даної техніки дозволяє досягти значних результатів у наступних показниках:

- зростання продуктивності на 10-20%;
- зниження споживання пального на 10-15%;
- зменшення витрат на техобслуговування – близько 8%;
- менший знос гуми – від 5 до 15%;
- підвищення коефіцієнта застосування транспорту на 10-20%.

Проте ситуація – далека від ідеальної. Найбільшою проблемою є відсутність стандартів для автоматизації промислових транспортних засобів. Усі великі гірничодобувні компанії перебувають у стадії інтеграції своїх рішень щодо них. Також не можна забувати і про низку інших проблем, пов'язаних з використанням роботизованої техніки. Сюди належить віднести і необхідність навчання персоналу контролю й обслуговуванню АБРА, переобладнання робочого простору, і навіть правові питання, пов'язані з безпекою робіт. Тому при оцінці ефективності потрібно враховувати всі нюанси, а не лише економоефект від запровадження АБРА.

Однак варто взяти до уваги, що, не дивлячись на деякі труднощі, наявні на даному етапі впровадження безпілотних роботизованих автосамоскидів при веденні відкритих гірничих робіт, цей вид транспорту впевнено витісняє традиційний. І це, як ніколи раніше, є особливо актуальним для гірничодобувної промисловості та роботи кар'єрів, де мають місце ризики для людини (наприклад, розробка уранових руд), а також багато інших факторів, що заважають застосуванню класичних вантажівок. Ключовий фактор заміни полягає лише в тому, скільки часу займе у гірничодобувних компаній перехід на безпілотну роботизовану техніку.

Список літератури

1. **Йохан Ларсон.** Безпілотна експлуатація вантажно-самоскидної техніки в умовах гірничих робіт. - Еребру: Університет Еребру, Школа науки і технологій, Швеція. 2011.
2. **Жданов В., Косолапов А., Ибрагимова Ф.** Роботизация карьерных самосвалов на этапе транспортировки породы / Веб-конференция № 134. – Кузбасс: КГТУ, 2019 рік.
3. **Зню Жао.** Планування шляху кар'єрних автономних самоскидів на транспортній дільниці / Школа ресурсів та техніки безпеки. Центральний південний університет (Китай), 2020.
4. <https://technoaktiv.com.ua/ua/cp61966-komatsu.html>
5. <https://www.scania.com/group/en/home/products-and-services/trucks.html>
6. <https://www.caterpillar.com/ru/company/innovation.html>
7. https://www.tadviser.ru/index.php/Продукт:БелАЗ-7513R_%28беспилотный_самосвал%29
8. <https://www.hitachi.com/>
9. https://ru.wikipedia.org/wiki/Liebherr#/media/%D0%A4%D0%B0%D0%B9%D0%BB:Liebherr_t282_1.jpg
10. <https://www.volvocars.com/uk-ua/>
11. <http://roboting.ru/1685-kak-povysit-propusknuyu-sposobnost-shosse.html>