

			км/год		нм ³ /га (кг/га)	пальне, кг/га
Дизельне пальне (ДП)	Безвідвальна обробка ґрунту	К-701 (ДП)+ПЧ-4	7,59	2,68	-	17,12
	Дискування ґрунту	К-701 (ДП)+БДСТ-7,2	9,2	5,84	-	7,57
	Обробка ґрунту комбінованим агрегатом під посів	К-701 (ДП)+АПК-6	9,9	6,59	-	5,29
Газодизель (ГД)	Безвідвальна обробка ґрунту	К-701 (ГД)+ПЧ-4	7,73	2,72	4,7 (3,31)	3,88
	Дискування ґрунту	К-701 (ГД)+БДСТ-7,2	9,84	6,21	4,54 (3,20)	2,25
	Обробка ґрунту комбінованим агрегатом під посів	К-701 (ГД)+АПК-6	10,1	6,7	4,01 (2,82)	1,1

Крім цього ефективність буде досягнуто через певний проміжок часу (термін окупності), який в середньому, при річному напрацюванні 1400 мото-год складає від близько 2 років. Також не слід забувати, що окрім скорочення витрати дизельного пального, газодизельний процес дозволяє досягти поліпшення екологічного стану агроєкосистеми, підвищення родючості ґрунтів, їх окультуреність, зниження забрудненості атмосферного повітря і землі, приріст біологічного та екологічного потенціалу сільськогосподарських культур.

Висновки та подальші напрямки досліджень. Під час аналізу результатів випробувань трактора К-701 з газодизельною системою живлення було встановлено, що він в агрегаті з ґрунтообробними машинами надійно і якісно виконує технологічний процес.

Застосування газодизельного процесу роботи двигуна трактора економічно доцільно - за рахунок зниження витрат дизельного пального та екологічного ефекту.

Подальші дослідження передбачають можливість встановлення мікропроцесорної системи управління на газодизельний трактор К-701.

Список літератури

1. **Золотницький В.А.** Автомобильные газовые топливные системы / **В.А. Золотницький.** – М.: АСТ, 2007. – 128 с.
2. Про переваги газодизельного трактора. Газодизель: то же топливо, но дешевле [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL : <http://www.zerno-ua.com/?p=10832>. – Назва з екрана.
3. Газодизель: економія на економічному [Електронний ресурс]. – Режим доступу : URL : <http://autoexpert.com.ua/stati/tehnologii-i-remont/4032-gazodizel-yekonomiya-na-syekonomlennom.html>. – Назва з екрана.
4. Протокол испытаний № 03-52-05 (1010011) Газобаллонный трактор К-701 от 07 декабря 2005 / ФГУ «Владимирская государственная зональная машиностроительная станция». Москва, 2005. - 7 с.
Рукопис подано до редакції 21.02.13

УДК 622.271: 622.684

В.О. СІСТУК, асистент, ДВНЗ «Криворізький національний університет»

РЕЗУЛЬТАТИ ЛАБОРАТОРНИХ ТА ПРОМИСЛОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ КОНЦЕПЦІЇ ЗАСТОСУВАННЯ СИЛОВОГО ДОВОРОТУ НА ВЕЛИКОВАНТАЖНИХ КАР'ЄРНИХ САМОСКИДАХ

Представлені результати досліджень маневреності колісної машини при здійсненні силового довороту, а саме, повороту за рахунок примусового управління кутовими швидкостями ведучих коліс та максимального повороту передніх коліс. Математична модель силового довороту, заснована на використанні залежностей відношення кутових швидкостей та радіусів повороту, які необхідно забезпечити у відповідності до коефіцієнту зчеплення шини з опорною поверхнею, була перевірена шляхом лабораторного та промислового експерименту. Результати емпіричних досліджень мають достатню збіжність з розрахованими показниками, що дозволяє рекомендувати використання силового довороту на кар'єрних самоскидах з метою зменшення радіусу повороту при установці під навантаження. Ефективність, яка може бути отримана при впровадженні силового довороту, полягає у зменшенні тривалості установки машин під навантаження, що призводить до економії витрат пального, та зменшенні об'ємів розкривних робіт.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними задачами. З метою зменшення радіусу повороту великовантажного кар'єрного самоскиду при установці під навантаження у стиснених умовах вибоїв нами запропоновано використання системи примусового управління поворотом, направленої на створення додаткового поворотного моменту за рахунок регулювання відношення кутових швидкостей задніх ведучих коліс, що призводить до виконання маневру із силовим доворотом [16,17]. Концептуальні засади використання силового довороту на кар'єрних самоскидах, засновані на відповідних математичних залежностях, нами були розроблені [16,17], але їх перевірка у лабораторних та промислових умовах не проводилась.

Аналіз досліджень та публікацій. Силовий доворот є різновидом динамічного способу повороту, що використовується на гусеничних та колісних машинах [4,7,8,20]. Обмеженість застосування силового довороту на колісних машинах обумовлена складністю його технічної реалізації, а саме, безступінчастого регулювання кутових швидкостей ведучих коліс [1, 3]. В той же час, сучасні електромеханічні трансмісії, що встановлюються на кар'єрні самоскиди виробництва «БелАЗ-ХОЛДІНГ», мають мікропроцесорне керування [10,12,14], яке, при наявності математичної моделі силового довороту, дозволяє створити відповідний алгоритм управління обертанням ведучими колесами [17]. Окрім розробки математичної моделі, обґрунтування маневрових можливостей кар'єрного самоскиду при силовому довороті також потребує аналізу радіусів повороту, отриманих в реальних умовах.

Постановка задачі. Метою дослідження є аналіз достовірності моделі повороту кар'єрних самоскидів при примусовому управлінні кутовими швидкостями ведучих коліс, шляхом лабораторного експерименту та промислових випробувань.

Для вирішення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

здійснити перевірку достовірності аналітичної залежності мінімального радіусу повороту колісної машини від коефіцієнту зчеплення опорної поверхні при силовому довороті [16] на основі лабораторного експерименту;

встановити мінімальний радіус повороту кар'єрних самоскидів із системою примусового управління поворотом, направленої на виконання маневру із силовим доворотом;

визначити ефективність застосування системи примусового управління поворотом на кар'єрних самоскидах з електромеханічною трансмісією.

Викладення матеріалу та результати. Проведення лабораторного експерименту включало підготовку опорної поверхні, розробку лабораторної установки [19], визначення коефіцієнтів опору коченню і зчеплення при буксируванні лабораторної установки, а також радіусу повороту.

Лабораторна установка представляє собою візок, основні робочі параметри якого (колісна база, колія передніх і задніх коліс, діаметр і ширина пневматичного колеса) були спроектовані згідно із коефіцієнтом геометричної подібності рівним 12,0 [19]. На задніх ведучих колесах встановлені електродвигуни із черв'ячними редукторами, здатні створити достатню силу тяги.

Роздільне управління лівим і правим електродвигунами постійного струму здійснюється через блок із мікроконтролером Arduino Uno із використанням принципу управління широтно-імпульсною модуляцією.

Виходячи з прийнятого коефіцієнту геометричної подібності, покриття випробувальної площадки було підібране таким чином, щоб зберігалась відповідність його фракцій до середнього розміру (діаметру) часток кар'єрного ґрунту робочих площадок, що покривають широкий спектр гірничотехнічних умов розробки, а для нежорстких дорожніх одягів допоміжних трас також була врахована їх абразивність за рахунок використання наждачного паперу, приклеєного до плити, яка представляє собою площадку для повороту (табл. 1).

Таблиця 1

Гранулометричний склад гірничих порід в різних робочих зонах Криворізьких кар'єрів, розмір зерен випробувальних площадок та тип їх покриття

Робоча зона	Гранулометричний склад порід, мм	Фракція, мм	Розмір зерен випробувальної площадки, мм	Тип покриття
Пункти навантаження	Скальні породи та руди	25-75	2,0-6,1	Дрібний гравій, сухий та зволожений
Допоміжні траси	Скальні породи та руди	5-25	0,4-2,0	Абразивний папір
Основні траси	Негрохочені скальні породи та руди	20 - 80	1,6 – 6,6	Дрібний гравій, сухий та зволожений

Регулювання відношення обертання ведучих коліс лабораторного візка проводилось у відповідності до отриманих значень коефіцієнтів зчеплення покриття випробувальних площадок (табл. 2).

На основі максимального відхилення між розрахунковим та фактичним радіусом повороту моделі, що становить 16,0 % (див. табл. 2), та величини достовірності апроксимації емпіричної залежності радіусу повороту візка від коефіцієнту зчеплення, що дорівнює $R^2=0,904$, (рис. 1) можна дістати висновок про достовірність результатів аналітичних досліджень радіусів пово-

роту при застосуванні силового довороту.

Таблиця 2

Відношення кутових швидкостей ведучих коліс залежно від коефіцієнту зчеплення випробувальної площадки

Тип опорної поверхні	Коефіцієнт зчеплення	Відношення кутових швидкостей ведучих коліс	Параметр функції рівня напруги на колесі, що відстає	Радіус повороту, м		Відхилення, %
				розрах.	факт	
Наждачний папір P22	0,56	3,15	81	0,70	0,80	14,2
Наждачний папір P36	0,51	2,78	92	0,72	0,81	12,5
Наждачний папір P46	0,47	2,53	100	0,75	0,87	16,0
Наждачний папір P150	0,36	2,00	127	0,94	1,05	11,7
Гравій сухий	0,28	1,70	150	1,12	1,08	3,50
Гравій зволожений	0,41	2,22	115	0,81	0,88	8,70

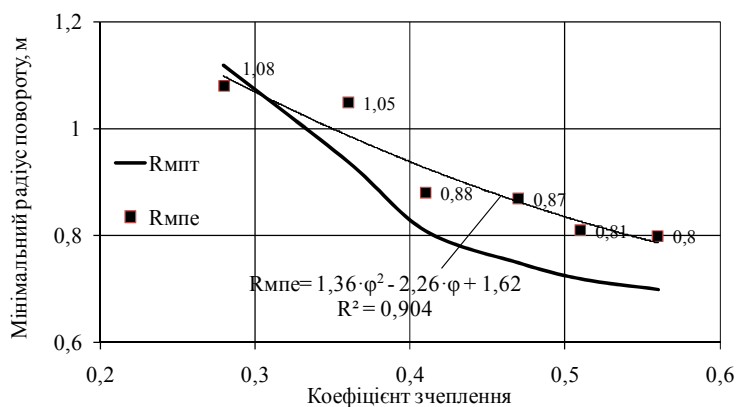


Рис. 1. Емпірична та розрахункова залежність мінімального радіуса повороту моделі $R_{мпе}$ та $R_{мтп}$ відповідно до коефіцієнтів зчеплення опорної поверхні

З метою перевірки результатів аналітичних досліджень реальним процесам також були проведені промислові випробування, які направлено на визначення радіусів повороту кар'єрного самоскиду із трансмісією змінного струму зі встановленою системою примусового управління поворотом, що складається з апаратної частини та

алгоритму за відповідною схемою управління тяговим електроприводом [19].

Випробування проводились в умовах Глеюватського кар'єру ПАТ «ЦГЗК» при використанні двох кар'єрних самоскидів БелАЗ-7513 із електромеханічною трансмісією, один з яких був обладнаний спеціалістами ВАТ «Кривбас-БелАЗ-Сервіс» СП системою примусового управління поворотом.

Самоскид з порожньою платформою рухався із мінімально можливою швидкістю при максимальному повороті рульового колеса.

Радіус повороту самоскиду визначався як сума величини радіусу кривої траєкторії рідинного маркера та половини колії передніх коліс.

В отриманому сегменті траєкторії вимірювались хорда та висота кола, а радіус кривої розраховувався за відомою формулою

$$R = CD/2 + AB^2/8 \cdot CD$$

де CD - висота, м; AB - хорда, м.

Встановлено, що на кар'єрному ґрунті, який складається із гематитових кварцитів, мінімальний радіус повороту кар'єрного самоскиду становив 11,28 м, що менше мінімального радіусу при кінематичному повороті (за рахунок передніх керованих коліс) на 2,12 м (15,8%), на бетонній поверхні промислового майданчика - 9,31 м, що менше на 3,83 м (29,1%).

Відхилення між показниками результатів аналітичних та промислових досліджень становить 7,9% (табл. 3).

Таблиця 3

Порівняння мінімального радіусу повороту самоскиду за результатами трьох видів досліджень

Тип дослідження	Коефіцієнт зчеплення з опорною поверхнею	Мінімальний радіус повороту, м		Різниця між радіусами, %	Відхилення між розрахунком та фактом, %
		кінематичний поворот	силовий доворот		

Аналітичні	$\varphi=0,45$	13,00	8,22	37,0	0,0
	$\varphi=0,36$	13,00	9,70	25,3	0,0
Лабораторні	$\varphi=0,28$	1,12	1,00	10,8	10,7
	$\varphi=0,41$	0,84	0,68	19,0	16,0
Промислові	$\varphi=0,48$	13,12	9,30	29,1	12,6
	$\varphi=0,32$	13,40	11,28	15,8	7,9

Ефективність роботи кар'єрних самоскидів при застосуванні силового довороту може бути отримана за рахунок зменшення часу маневрування кар'єрних самоскидів при установці під навантаження.

Статистичний аналіз даних змінних рапортів кар'єрних самоскидів БелАЗ-7513 та БелАЗ - 75145, які працюють на двох родовищах Криворізького регіону, дозволив встановити, що найбільша частина вибірки часу маневрування при установці під навантаження знаходиться в інтервалі від 2,00 до 4,00 хв. [18].

Прогнозоване скорочення часу маневрування при застосуванні системи примусового управління поворотом становить від 1,5 до 2,5 хв. (до 50 %), що призводить до підвищення технічної продуктивності самоскиду на 11,2 %.

Зниження часу на виконання маневру призводить до зниження витрат пального на 2,3 %.

Розрахункова річна економія витрат пального при оптової вартості 8,0 грн./л на 10 машин у парку при середньому коефіцієнті використання машин у часі 0,700 становить 490,0 тис.грн.

Застосування системи примусового управління поворотом на кар'єрних самоскидах також дозволяє зменшити об'єми розкривних робіт на 7,1 % за рахунок зменшення ширини маневрової площадки з 24,2 до 21,8 м.

Отримана у відсотковому виразі величина продуктивності кар'єрних самоскидів із системою примусового управління поворотом дозволяє рекомендувати її застосування в якості додаткового способу повороту при роботі кар'єрних самоскидів у стиснених умовах глибоких кар'єрів.

Висновки. У результаті проведених досліджень дістали наступних висновків.

Математична модель силового довороту дає похибку між величиною розрахункового мінімального радіусу повороту та отриманого на основі лабораторного дослідження у межах 3,5-16 %, що свідчить про достовірність аналітичної залежності радіусу повороту від коефіцієнту зчеплення шини з опорною поверхнею.

Можливість способу управління поворотом при примусовому управлінні кутовими швидкостями ведучих коліс підтверджено промисловими дослідженнями, на основі яких встановлено, що розбіжність між мінімальним радіусом повороту кар'єрного самоскиду за результатами аналітичних та промислових досліджень складає 7,9 %.

3. Використання силового довороту при виконанні маневру дозволяє підвищити ефективність роботи кар'єрних самоскидів за рахунок зменшення часу маневрування кар'єрного самоскиду при установці під навантаження до 50 %, що призводить до підвищення технічної продуктивності самоскиду на 11,2 %, а також дозволяє знизити паливо-енергетичні витрати на 2,3 %.

Список літератури

1. Горелов В. А. Прогнозирование характеристик криволинейного движения автомобиля с колёсной формулой бхб при различных законах управления поворотом колёс задней оси / В. А. Горелов, Г. О. Котиев // Известия вузов. Машиностроение. –2008. — № 1. — С. 44-55.
2. Горшков Э. В. Исследование коэффициента сцепления колеса автомобиля с покрытием карьерных автодорог / Э. В. Горшков, П. И. Тарасов // Горное оборудование и электромеханика. 2006. -№ 1. - С. 42–47.
3. Гречко Л. П. Теоретическое и экспериментальное исследование систем повышения маневренности колесных тракторов / Л. П. Гречко, А. А. Бобошко, М. А. Подригало // Материалы IV-й международной научно-технической конференции «Автомобильный транспорт: Проблемы и перспективы». – Севастополь, 2000. – С. 45-47.
4. Гуськов В. В. Теория поворота гусеничных машин / В. В. Гуськов, А. Ф. Опейко. - М.: Машиностроение, 1984.-166с.
5. Добрых Л. И. Расчет времени погрузки и разгрузки карьерных автосамосвалов с учетом их маневренности / Л. И. Добрых // Горный журнал. - 1986. - № 11. - С. 16-18.
6. Ефремов И. С. Теория и расчет тягового привода электроавтомобилей / Ефремов И. С. // М.: Высшая школа, 1984. – 383 с.
7. Забавников Н. А. Основы теории транспортных гусеничных машин / Забавников Н. А. – М.: Машиностроение, 1975. – 448с.

8. **Казаченко Г. В.** Исследование поворота колесных машин с бортовой схемой управления: автореф. дис. на соиск. научн. степ. канд. техн. наук / **Г. В. Казаченко.** - Минск: БПУ, 1982. - 21 с.
9. **Каплина Т. Ю.** Эксплуатационная эффективность карьерного автотранспорта // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2007. - С. 340-345.
10. **Клебанов А. Ф.** Система управления тяговым электроприводом карьерных автосамосвалов (СУТЭП): текущее состояние и перспективы развития [Электронный ресурс] / **А. Ф. Клебанов, И. В. Кузнецов** // Горное оборудование и электромеханика, 2006. - №9. Режим доступа: <http://www.vistgroup.ru/pressroom/7/27/>
11. **Кондаков С. В.** Повышение подвижности быстроходной гусеничной машины путем автоматизации системы управления криволинейным движением: автореф. дис. на соиск. научн. степ. доктора техн. наук : спец. 05.05.03 "Колесные и гусеничные машины" / **С. В. Кондаков** - М., 2009. - 32 с.
12. **Кудин С.Н., Бигель Н.В., Пехтерев А.А.** // Автомобильная промышленность. - 2005. - № 10. - Режим доступа к журналу: <http://www.avtomash.ru/guravto/2005/20051012.htm>.
13. **Ларин В.В.** Теория движения полноприводных колесных машин: учебник / **Ларин В.В.** - М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2010. - 391.
14. **Макаров Л.Н.** Комплект тягового электрооборудования электрической трансмиссии переменного тока самосвала грузоподъемностью 240 тонн / **Макаров Л.Н., Сафроненков Ю.А., Флоренцев С.Н.** // Горный информационно-аналитический бюллетень. Отдельный выпуск 8: Горные машины, 2008. - С. 87-105.
15. Маневренность и тормозные свойства колесных машин / **М. А. Подригало, В. П. Волков, В. И. Кирчатый, А.А. Бобошко** / под ред. **М. А. Подригало.** - Харьков: Изд-во ХНАДУ, 2003. - 403с.
16. **Монастырский Ю.А.** Врахування специфіки гірничотехнічних умов роботи автосамоскидів як шлях до підвищення продуктивності кар'єрної техніки / **Ю. А. Монастырский, А.В. Веснин, В. А. Систук** // Теорія та практика раціонального проектування, виготовлення та експлуатації машинобудівних конструкцій: Тези доповідей. - Львів: КІНПАТРИ ЛТД. - 2012. - С. 82-84.
17. **Монастырский Ю. А.** Закономерности движения колесной машины на повороте при принудительном регулировании вращения ведущих колес / **Ю.А. Монастырский, В.А. Систук** // Вісник національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Автомобіле- і тракторобудування. - №29. - Харків: НТУ «ХПІ». - 2013. - С. 65-71.
18. **Монастырский Ю.А.** Определение причин потерь рабочего времени экскаваторно-автомобильных комплексов на Петровском карьере ОАО «ЦГОКа» / **Ю. А. Монастырский, В. А. Систук** // Разработка рудных месторождений. - Вып.94. - Кривой Рог. - 2011. - С.293-297.
19. **Монастырский Ю.А.** Снижение времени маневрирования и погрузки при транспортировании рудной массы большегрузными карьерными автосамосвалами / **Ю. А. Монастырский, А.В. Веснин, В. А. Систук** // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Дала: Науковий журнал. - Ч. 1. - №9(180). - Луганськ. - 2012. - С. 17-23.
20. **Носов Н. А.** Расчет и конструирование гусеничных машин / **Носов Н. А.** - Л.: Машиностроение, 1972. - 560с.

Рукопис подано до редакції 21.02.13

УДК 622.271.067.2.5-83

В.Г. БЛИЗНЮКОВ, д-р техн. наук, проф.,
С.А. ЛУЦЕНКО, **Ю.М. НАВИТНИЙ**, канд. техн. наук, доц.,
О.Ю. БЛИЗНЮКОВА, ассистент, **А.В. САВИЦКИЙ**, аспирант,
 ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КРИТЕРИЙ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ РЕЖИМА ГОРНЫХ РАБОТ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ КАРЬЕРА ПО РУДЕ

Дано описание разработанных методик выбора направления развития горных работ, определения производительности карьеров по руде и технологического критерия комплексной экономической оценки режима горных работ. Освещены причины отставания вскрышных работ на железорудных карьерах.

Особенностью проектирования горных предприятий является отсутствие типовых проектов из-за оригинальности природных условий залегания, качества полезного ископаемого и огромных объемов выемки горной массы. Для дальнейшего эффективного развития действующих горнодобывающих предприятий необходима оценка возможностей их сырьевой базы. В связи с этим, совершенствование методов планирования горных работ и проектирования карьеров, является одним из основных направлений исследований в области разработки железорудных месторождений открытым способом.

Решением этой проблемы занимались известные всему миру ученые: доктора наук А.И. Арсентьев [1], М.Г. Новожилов [2], В.В. Ржевский [3] и в настоящее время в Украине занимают их ученики и последователи доктора наук В.Г. Близнюков, И.Л. Гуменик, А.Ю. Дрижен-