

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ГІРНИЧО-МЕТАЛУРГІЙНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ВІДКРИТИХ ГІРНИЧИХ РОБІТ

МЕЛЬНИК ДЕНИС ВОЛОДИМИРОВИЧ

**ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРЯМКІВ ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ
ТЕХНОЛОГІЧНОГО АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ НА
ВІДКРИТИХ ГІРНИЧИХ РОБОТАХ**

184 «Гірництво»

ОПП «Відкриті гірничі роботи»

ВИПУСКНА РОБОТА

на здобуття освітньо-кваліфікаційного рівня магістра

Керівник _____ / Луценко С.О. /

Завідувач кафедри _____ / Жуков С.О. /

Кривий Ріг

2024 р

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ.....	3
ВСТУП.....	5
Розділ 1 Аналіз умов експлуатації і методів визначення продуктивності кар'єрних автосамосвалів.....	7
1.1. Систематизація факторів, що визначають продуктивність кар'єрних автосамоскидів.....	7
1.2. Аналіз сучасного стану планування продуктивності технологічного автотранспорту на рудних кар'єрах	13
1.3. Короткий огляд інформаційних джерел щодо ефективності використання кар'єрних автосамоскидів.....	21
Розділ 2 Дослідження основних параметрів роботи кар'єрних автосамоскидів ..	28
2.1. Дослідження технологічної взаємодії автосамоскидів із вибійними екскаваторами.....	28
2.2. Дослідження впливу експлуатаційних факторів на продуктивність парку автомобільного транспорту	37
Загальні висновки та рекомендації.....	46
Бібліографія.....	49

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до магістерської роботи на тему «Дослідження напрямків підвищення продуктивності технологічного автомобільного транспорту на відкритих гірничих роботах» складається з: 57 с., 19 рис., 8 табл., 88 джерел інформації.

"Випускна робота на здобуття освітньо-кваліфікаційного рівня магістра. Кривий Ріг. Криворізький національний університет, 2024. - 57 с."

Актуальність теми. Для підвищення ефективності роботи гірничодобувної промисловості необхідно постійно підвищувати продуктивність праці на основі технічного прогресу та інтенсифікації виробничих процесів.

На гірничорудних підприємствах переважно використовується відкритий спосіб розробки родовищ. Сутність його полягає насамперед у переміщенні розкривних порід і корисних копалин до пунктів їх складування або прийому, яке зазвичай проводиться у чотири послідовні стадії. Основною та найбільш трудомісткою є стадія власне транспортування. «Питома вага витрат на транспортування гірничої маси у кар'єрі складає від 50 до 61% в загальних витратах на видобування корисних копалин. На залізорудних кар'єрах, поряд із залізничним, широке застосування має автомобільний транспорт як самостійний або в комбінації з іншими видами транспорту. У зв'язку з цим підвищення ефективності відкритої розробки залізорудних родовищ значною мірою пов'язане із підвищенням продуктивності та економічності автомобільного транспорту» [1]. На кар'єрах здійснюється інтенсивне технічне переозброєння кар'єрного автотранспорту автосамоскидами вантажопідйомністю 180 і 220 т. Повна реалізація потенційної продуктивності цих машин можлива при встановленні та забезпеченні умов ефективної експлуатації та одночасному вдосконаленні організації, планування та нормування автотранспортних робіт.

Таким чином дослідження питань підвищення продуктивності

технологічного автомобільного транспорту на відкритих гірничих роботах є актуальним науковим завданням.

Методи дослідження. Аналіз та узагальнення науково-технічної літератури та практичних даних, експериментальні дослідження роботи автосамоскидів на різних технологічних схемах та імовірно-статистичні методи обробки результатів, статистичний аналіз та теорія надійності при вивченні внутрішньозмінної надійності автосамоскидів.

Мета й завдання роботи. Основною метою магістерської роботи є дослідження напрямків підвищення продуктивності технологічного автомобільного транспорту на відкритих гірничих роботах.

Для досягнення поставленої мети в роботі сформовані **основні задачі дослідження:**

1. Виконати аналіз сучасних досліджень щодо досвід планування продуктивності технологічних самоскидів в умовах залізородних кар'єрів.

2. Дослідити закономірності впливу гірничо-технічних умов експлуатації на тривалість елементів транспортного циклу та продуктивність автосамоскидів.

3. Сформулювати основні напрямки подальших досліджень.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: АВТОСАМОСКИДИ, КАР'ЄР, ПРОДУКТИВНІСТЬ ТРАНСПОРТУ.

ВСТУП.

Для підвищення ефективності роботи гірничодобувної промисловості необхідно постійно підвищувати продуктивність праці на основі технічного прогресу та інтенсифікації виробничих процесів.

На гірничорудних підприємствах переважно використовується відкритий спосіб розробки родовищ. Сутність його "полягає насамперед у переміщенні розкривних порід і корисної копалини до пунктів їх складування або прийому, яке зазвичай виробляється в чотири послідовні стадії" [1]. Основною та найбільш трудомісткою є стадія власне транспортування. «Питома вага витрат на транспортування гірничої маси у кар'єрі складає від 50 до 61% в загальних витратах на видобування корисних копалин. На залізорудних кар'єрах, поряд із залізничним, широке застосування має автомобільний транспорт як самостійний або в комбінації з іншими видами транспорту. У зв'язку з цим підвищення ефективності відкритої розробки залізорудних родовищ значною мірою пов'язане із підвищенням продуктивності та економічності автомобільного транспорту» [1]. Для вирішення цього завдання здійснюється інтенсивне технічне переозброєння кар'єрного автотранспорту автосамоскидами вантажопідйомністю 160 і 180 т. Повна реалізація потенційної продуктивності цих машин можлива при встановленні та забезпеченні умов ефективної експлуатації та одночасному вдосконаленні організації, планування та нормування автотранспортних робіт.

Аналіз практики експлуатації, планування та нормування роботи дизель-електричних автосамоскидів вантажопідйомністю 75 т і вище показує, що, незважаючи на двох-чотирикратне збільшення вантажопідйомності, в порівнянні з дизельними автосамоскидами, продуктивність їх зростає на 27-120%. Варіювання продуктивності автосамоскидів на різних кар'єрах таке, що різниця між максимальними та мінімальними значеннями становить 90-110%. Розбіжність запланованої та фактичної продуктивності становить 20-

50%, досягаючи в окремих випадках 65%. Чинна методика планування продуктивності містить вихідні дані, що обмежують застосування її автосамоскидами вантажопідйомністю 40-75т.

Таким чином дослідження питань підвищення продуктивності технологічного автомобільного транспорту на відкритих гірничих роботах є актуальним науковим завданням.

Мета й завдання роботи. Основною метою магістерської роботи є дослідження напрямків підвищення продуктивності технологічного автомобільного транспорту на відкритих гірничих роботах.

Для досягнення поставленої мети в роботі сформовані **основні задачі дослідження:**

1. Виконати аналіз сучасних досліджень щодо досвід планування продуктивності технологічних самоскидів в умовах залізрудних кар'єрів.

2. Дослідити закономірності впливу гірничо-технічних умов експлуатації на тривалість елементів транспортного циклу та продуктивність автосамоскидів.

3. Сформулювати основні напрямки подальших досліджень.

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ І МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ КАР'ЄРНИХ АВТОСАМОСВАЛІВ

1.1. Систематизація факторів, що визначають продуктивність кар'єрних автосамоскидів

Вплив сукупності умов роботи автотранспорту найбільш повно відображається в річній продуктивності автосамоскидів, формула для розрахунку якої має вигляд [2]

$$Q_2 = \frac{V\beta}{l + V\beta \cdot t_{n.p}} g_a \kappa_2 T_{cm} \kappa_v n_c N_{p.d.} \kappa_{v.v} \quad (1.1)$$

де Q_2 - річна продуктивність автосамоскида, т/рік;

V - середньотехнічна швидкість руху, км/год;

β - коефіцієнт використання пробігу;

l - відстань транспортування, км;

$t_{n.p}$ - час простою автосамоскида під навантаженням та розвантаженням за один транспортний цикл, год;

g_a - вантажопідйомність автосамоскида, т;

κ_2 - коефіцієнт використання вантажопідйомності;

T_{cm} - тривалість робочої зміни, год;

κ_v - коефіцієнт використання часу зміни;

n_c - кількість змін роботи автосамоскиду на добу;

$N_{p.d.}$ - кількість робочих днів у році.

У разі відкритої розробки родовищ існує безліч додаткових специфічних чинників, які враховуються цієї формулою. До них відносяться: висота підйому гірничої маси, середньозважений ухил траси, дорожні умови (параметри та конструкція доріг, складність траси в плані та профілі), організація транспортних робіт у кар'єрі, кліматичні умови, кускуватість навантажуваної гірничої маси та ряд інших взаємообумовлених і

взаємопов'язаних характеристик, які безпосередньо чи опосередковано впливають на продуктивність кар'єрних автосамоскидів.

Вплив кожного з факторів або деякої їх групи розглядався багатьма дослідниками та враховувався за допомогою статистичних моделей, якісних чи кількісних оцінок [3-9]. Для виявлення сукупності факторів, що формують продуктивність автосамоскидів та визначення основних з них здійснено аналіз наукових робіт, що розглядають ефективність та продуктивність кар'єрного автотранспорту. Отриманий при цьому ряд факторів можна умовно розділити на чотири класифікаційні групи: конструктивні, технологічні, організаційні та природні фактори (табл. 1.1).

Група конструктивних факторів характеризує конструктивні параметри та технічний стан автосамоскидів. Група технологічних чинників - дорожньо-транспортні умови, технологічні операції транспортного циклу та параметри транспортних схем переміщення гірничої маси. Організаційні фактори характеризують екстенсивне та інтенсивне використання автосамоскидів та загальну організацію автотранспортних робіт. Природні фактори відображають фізико-механічні властивості гірських порід та кліматичні умови роботи автосамоскидів.

Наведені фактори по-різному і різною мірою впливають на продуктивність автосамоскидів. Так, при різних відстанях транспортування збільшення вантажопідйомності автосамоскиду на 1 т в інтервалі 27-180 т забезпечує підвищення продуктивності на 12-20 т за зміну, а збільшення питомої потужності двигуна на 1 кВт/т в інтервалі 4,5-6,5 кВт/т - на 6,8-8,0 т за зміну [8]. Зміна відстані транспортування на 1 км в інтервалі 1-4 км веде до зміни продуктивності автосамоскида, при вантажопідйомності його 40-136 т на 200-375 т за зміну.

Таблиця 1.1

Фактори, определяющие производительность карьерных автосамосвалов

Група факторів	Фактори	Умовні позначення
1	2	3
Конструктивні	1. Вантажопідйомність автосамоскида 2. Геометрична місткість кузова автосамоскида 3. Питома потужність автосамоскида 4. Динамічність автосамоскида 5. Термін служби автосамоскида 6. Надійність автосамоскида 7. Коефіцієнт тари 8. Тип трансмісії	Q_a $\varepsilon_{r.a}$ N'_e D T R K_T TR
Технологічні	1. Відстань транспортування 2. Середньозважений ухил автодороги 3. Висота підйому 4. Середньотехнічна швидкість руху автосамоскида 5. Тривалість руху автосамоскида 6. Транспортно-експлуатаційні якості дорожніх покриттів 7. Складність траси та профілю автодороги 8. Кількість автосамоскидів, що обслуговують екскаватор 9. Інтенсивність руху 10. Ширина автодороги 11. Час навантаження автосамоскида 12. Співвідношення місткостей кузова автосамоскида і ковша екскаватора 13. Тривалість циклу екскавації 14. Час розвантаження автосамоскида 15. Коефіцієнт використання вантажопідйомності автосамоскида 16. Коефіцієнт розпушення гірничої маси 17. Коефіцієнт розвитку траси 18. Коефіцієнт використання пробігу 19. Схема під'їзду та установки автосамоскида під навантаження та розвантаження	L I H V $t_{дв}$ n_a I_d B_d t_n n t_c t_p $K_{в.г}$ K_p $K_{тр}$ β

Організаційні	<ol style="list-style-type: none"> 1. Тривалість робочої зміни; 2. Кількість робочих днів на рік; 3. Коефіцієнт використання часу зміни; 4. Організація технічного обслуговування та ремонту автосамоскидів; 5. Кількість змін роботи автосамоскидів на добу; 6. Коефіцієнт використання календарної пори року; 7. Наявність технічних засобів контролю та обліку роботи автосамоскидів. 	$T_{см}$ $N_{р.д}$ K_B OP n_c K_{BB} CK
Природні	<ol style="list-style-type: none"> 1. Кліматичні умови; 2. Середня щільність гірських порід; 3. Фортеця гірських порід; 4. Вологість гірських порід; 5. Кут природного укосу гірничої маси під час транспортування. 	KY γ_n f W φ

Попереднє уявлення про значимість аналізованих факторів у формуванні продуктивності автосамоскидів було отримано за допомогою експертної оцінки. Обробка результатів анкетного опитування фахівців-експертів методом рангової кореляції [10] дозволяє з ймовірністю 95% стверджувати, що в думках експертів щодо ступеня впливу наведених факторів на продуктивність автосамоскидів існує узгодженість, яка оцінюється відповідними коефіцієнтами конкордації (табл. 1.2). Це дозволило розмістити фактори, що розглядаються в кожній групі, за ступенем їх впливу в порядку, наведеному в табл. 1.1.

Аналіз впливу на продуктивність автосамоскидів основних визначальних факторів показує, що більшість їх беруть участь у формуванні годинної та змінної продуктивності (рис. 1.1). Фактори, що визначають річну продуктивність, носять в основному організаційний характер. Вони є похідними від багатьох інших показників і тому важко керованими. Деякі мають лише якісні характеристики, кількісні характеристики інших змінюються у обмежених інтервалах.

Таблиця 1.2

Показники рангової кореляції експертної оцінки факторів, що визначають продуктивність автосамоскидів

Найменування показника	Конструктивні фактори	Технологічні фактори	Організаційні фактори	Природні фактори
Кількість факторів	8	19	7	5
Число опитаних експертів	15	15	15	15
Коефіцієнт конкордації	0,48	0,37	0,51	0,54
Розрахункове значення (χ^2) критерію значущості коефіцієнта конкордації	50,4	88,35	53,54	32,4
Табличне значення (χ^2) критерію значимості коефіцієнта конкордації	14,1	28,8	12,6	9,5

Одні фактори безпосередньо визначають продуктивність автосамоскидів, дія інших проявляється через перші. Так, вантажопідйомність, місткість кузова, надійність автосамоскида, час руху, навантаження та розвантаження безпосередньо формують годинну та змінну продуктивність. Вплив типу трансмісії, питомої потужності автомобіля, середньозваженого ухилу автодороги відбивається через швидкість та час руху; вплив співвідношення місткостей кузова автосамоскида та ковша екскаватора, тривалості циклу екскавації – через час навантаження. Крім того, є певні взаємозв'язки і між факторами: вантажопідйомність автосамоскида визначає тип трансмісії та місткість кузова, місткість кузова та середня щільність гірських порід – величину коефіцієнта використання вантажопідйомності тощо.

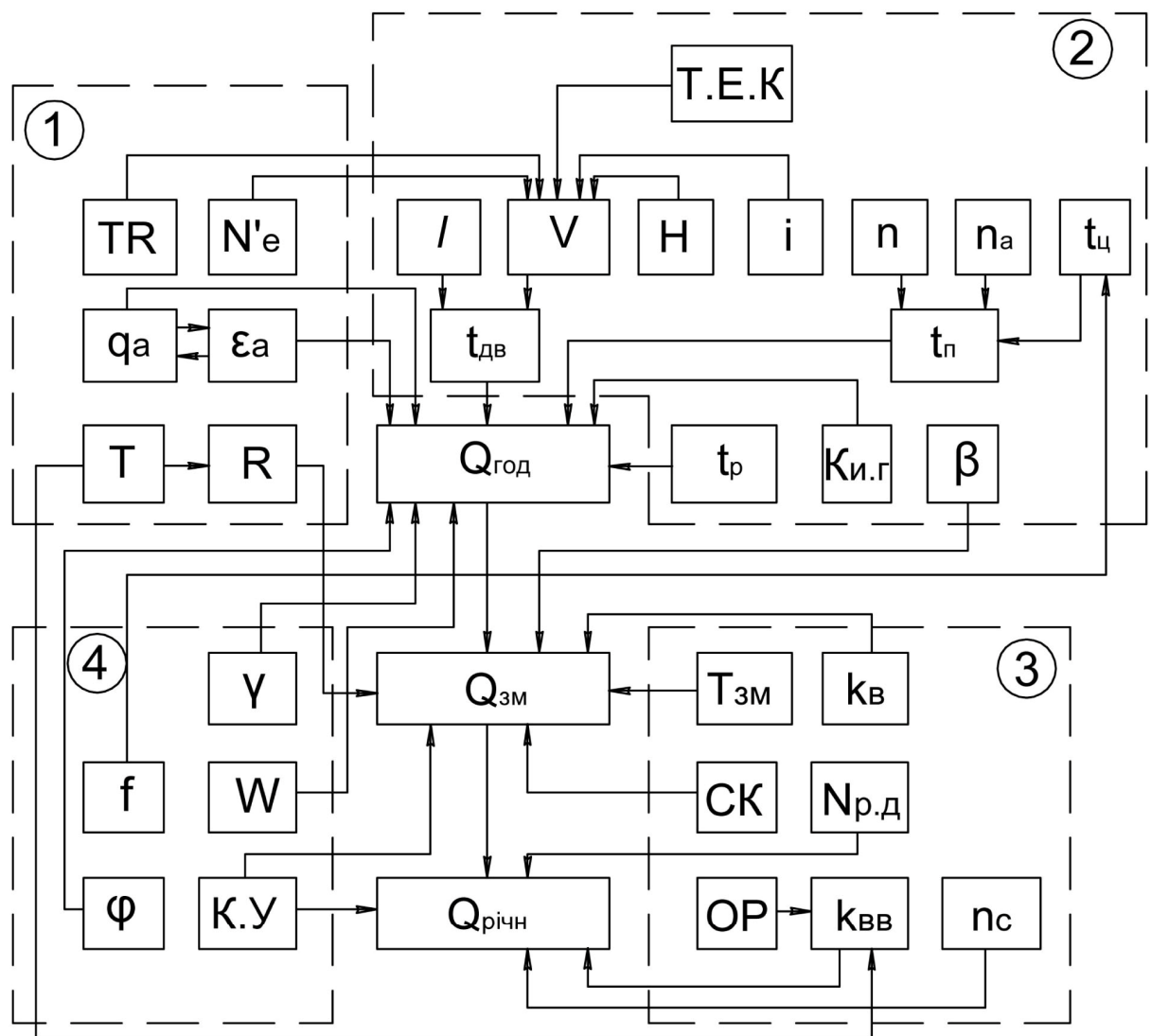


Рис. 1.1. Схема впливу на продуктивність автосамоскидів основних факторів:

- 1 - конструктивні; 2 – технологічні;
- 3 - організовані; 4 – природні фактори

Таким чином, продуктивність кар'єрних автосамоскидів визначається безліччю факторів, що включає конструктивні характеристики автомобілів, технологічні, організаційні та природні умови їхньої роботи. Основними, безпосередньо формуючими продуктивність, є такі фактори: вантажопідйомність, коефіцієнт використання вантажопідйомності, надійність автосамоскида, тривалість руху, навантажувально-розвантажувальних та маневрових операцій, тривалість та коефіцієнт

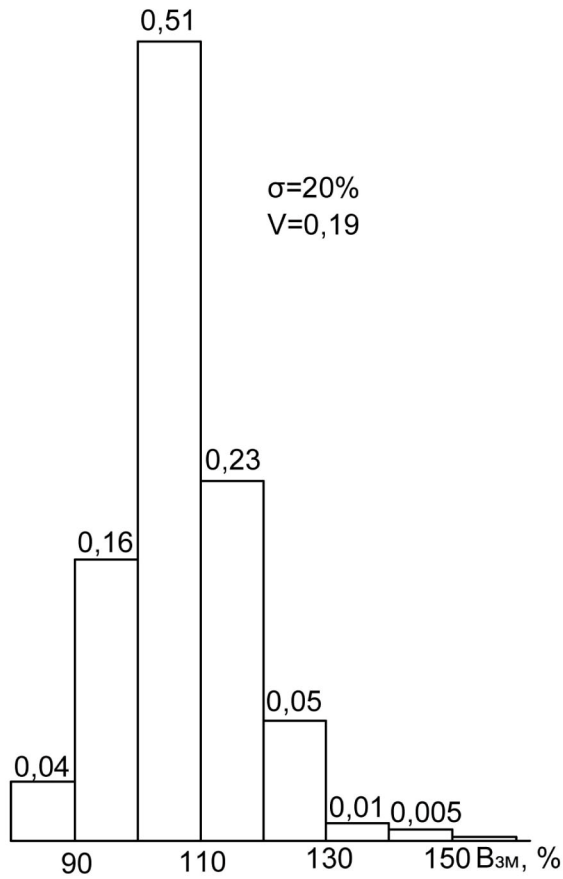
використання робочого часу, погодно-кліматичні умови. Дія інших факторів проявляється опосередковано через вище вказані.

Більшість факторів впливають на годинну та змінну продуктивність автосамоскидів. Чинники, що визначають річну продуктивність, характеризують переважно рівень організації автотранспортного господарства. Виходячи з цього, надалі доцільно обмежитися дослідженням годинної та змінної продуктивності.

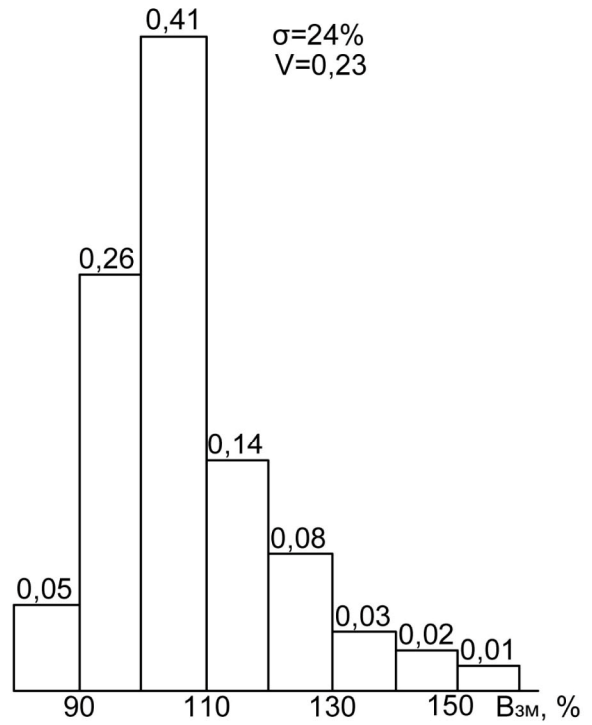
1.2. Аналіз сучасного стану планування продуктивності технологічного автотранспорту на рудних кар'єрах

Автомобільний транспорт - одна з основних ланок технологічного процесу видобутку корисних копалин відкритим способом. У зв'язку з цим функціонування кар'єрного автотранспорту значною мірою визначає ефективність як суміжних з ним ланок, так і всього процесу відкритого видобутку в цілому. Планування є вихідним пунктом у створенні автотранспортних робіт. Від якості планування, від того, наскільки повно і адекватно враховується при цьому реальна гірничо-технічна обстановка, залежить технологічна та економічна ефективність кар'єрного автотранспорту.

Проведений на низці кар'єрів України порівняльний аналіз планованої та фактичної продуктивності автосамоскидів дає підстави стверджувати про низьку точність діючої методики планування. Фактичне виконання планової продуктивності змінюється в межах від 70 до 180%. Питома вага випадків невиконання планової продуктивності становить від 20 до 30%, випадків виконання в інтервалі 100-120% - від 45 до 70%, в інтервалі 120-150% - від 8 до 34% та виконання понад 150% - від 1 до 4 % (рис. 1.2). Розбіжність планованої і фактичної продуктивності автосамоскидів і значна дисперсія величини розбіжності пояснюються тим, що кількість факторів, що враховуються чинною методикою, і ступінь їх обліку недостатньо повно



Інгулецький кар'єр



Полтавський кар'єр

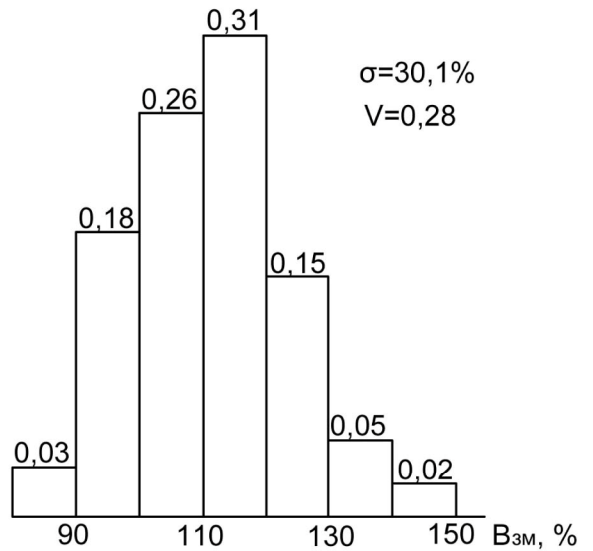
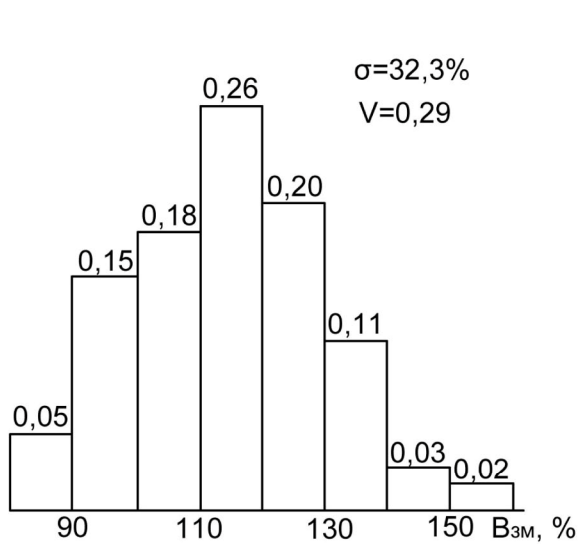


Рис. 1.2. Варіація рівня виконання планової продуктивності (B_{cm}) автосамоскидами залізрудних кар'єрів

відображають умови роботи в кар'єрі. Традиційною методикою не враховується знос автосамоскидів, висота підйому гірничої маси, складність траси, рівень диспетчеризації транспортного процесу, транспортно-експлуатаційні якості автошляхів та ряд інших факторів, що визначають інтенсивність використання великовантажних автосамоскидів у кар'єрах. Прийняті в методиці коригуючі коефіцієнти та показники мають укрупнений і наближений характер. Так, прийнята тривалість очікування автосамоскидом навантаження 0,4 хв у розрахунку на один рейс значно менше фактичних значень цього параметра. Пропоновані для визначення цього параметра формули теорії масового обслуговування [11, 12] дають результати, які істотно відрізняються від реальних (табл. 1.3). Поправочні коефіцієнти на відхилення гірничотехнічних умов навантаження від нормативних не враховують зміни питомої ваги операції навантаження в транспортному циклі залежно від відстані транспортування та співвідношення місткості кузова автосамоскида та ковша екскаватора.

На сучасних залізрудних кар'єрах збільшення відстані транспортування зазвичай пов'язане зі збільшенням висоти підйому та середньозваженого ухилу траси. Але прийняті нормативні швидкості руху автосамоскидів не диференційовані за висотою підйому та середньозваженим ухилом. Тому запланована продуктивність автосамоскидів при роботі їх на коротких трасах досягається легше, ніж при роботі на трасах зі значною відстанню транспортування (рис. 1.3).

Аналіз виконання планової змінної продуктивності протягом року показує, що діючі поправочні коефіцієнти на сезонні умови не відбивають їх фактичного впливу на ефективність автотransпортних робіт (рис. 1.4). Тому фактична середньозмінна продуктивність автосамоскидів у окремі періоди року перевищує планову на 20-24% (табл. 1.4)

Фактичні та розраховані за формулами теорії масового обслуговування
простої автосамоскидів

Відстань транспортування, км	Число обслуговуваних автосамоскидів	Тривалість обслуговування автосамоскиду, хв	Число рейсів за зміну	Простої автосамоскидів в очікуванні навантаження, хв				Помилка розрахунків, %
				розрахункові		фактичні		
				за рейс	за зміну	за рейс	за зміну	
0,4	2	1,77	50	0,3	16	0,9	46	-188
0,4	4	1,07	58	1,1	63	1,7	97	-59
0,9	7	1,30	38	1,2	44	1,6	61	-39
1,5	6	1,32	34	0,9	30	3,1	102	-240
1,6	8	1,42	23	1,1	26	2,0	46	-77
1,7	7	1,48	27	1,2	32	0,8	22	+45
1,8	7	1,17	23	0,6	14	2,0	46	-220
1,8	4	1,23	21	0,3	6	0,7	115	-150
2,6	6	1,80	18	0,9	17	2,2	41	-140

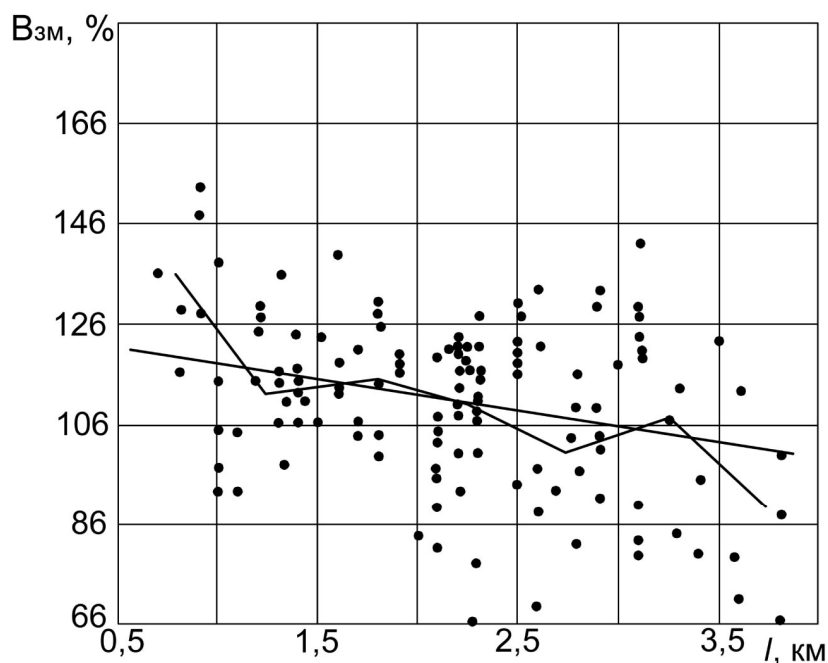
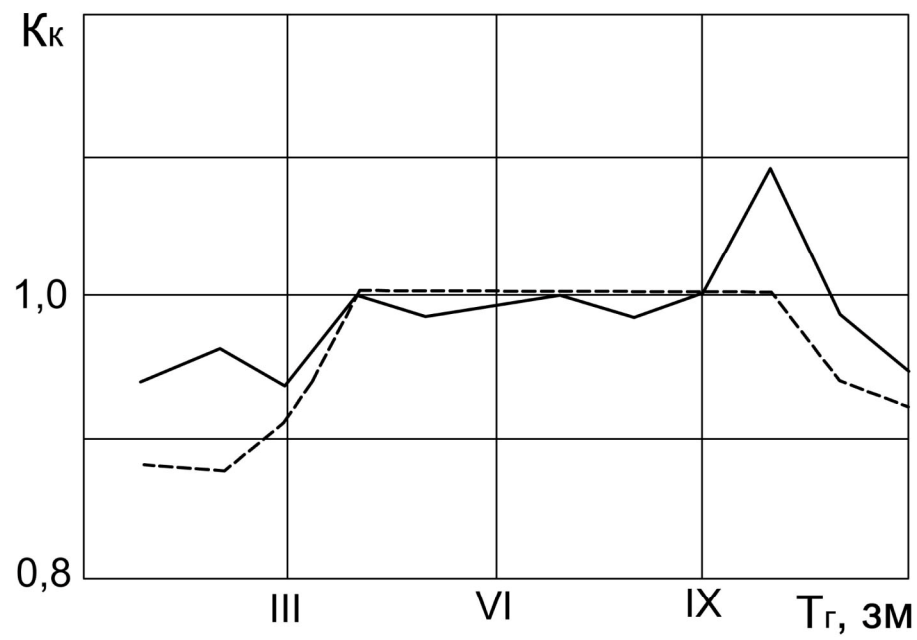


Рис. 1.3. Зміна рівня виконання норм виробітку автосамоскидів (B_{cm}) від відстані транспортування l (за даними кар'єру Полтавського ГЗК)

а)



б)

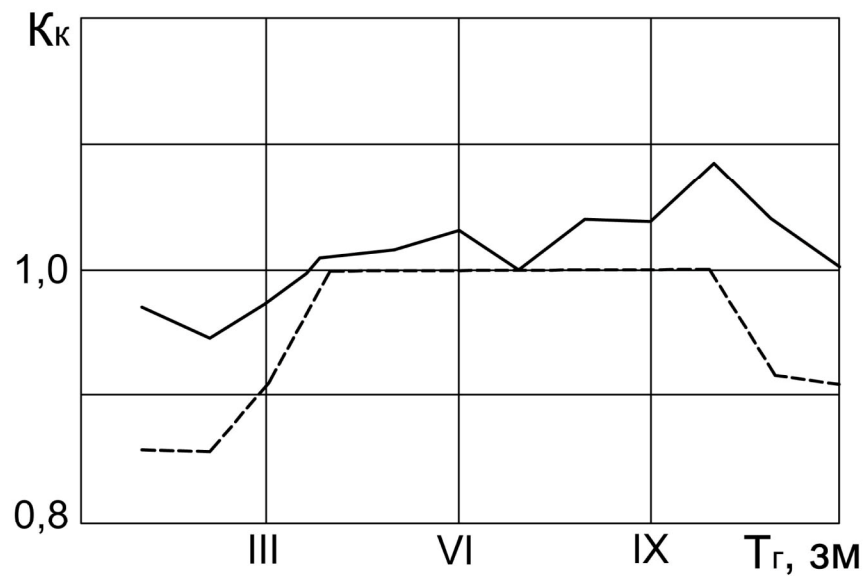


Рис. 1.4. Зміна впливу сезонно-кліматичних умов (K_k) на продуктивність автосамоскидів: а - на ПівнГЗК; б - на карері Полтавського ГЗК; ----- за фактичними даними; --- передбачене чинною методикою

Виконання планової продуктивності технологічними автосамоскидами
залізорудних кар'єрів, %

Найменування кар'єру	Місяці											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Глеюватський №1	124	120	118	111	112	113	110	115	115	118	125	123
Першотравневий	112	116	108	106	104	105	106	102	104	114	109	106
Інгулецький	120	123	120	118	116	114	118	121	116	114	112	124
Полтавський	114	113	108	102	100	110	104	105	100	110	106	110

Істотною, але тією, що не враховується в діючій методиці властивістю кар'єрного автосамоскида як технологічної одиниці є взаємозв'язок з екскаватором, з перевантажувальним пунктом і з іншими автосамоскидами, що працюють в кар'єрі. «Для повного і всебічного вивчення цієї властивості та характеру впливу на продуктивність автосамоскида визначальних факторів необхідно представити автомобіль як елемент динамічної ймовірнісної системи "екскаваторно-автомобільний комплекс", що включає в себе екскаватор, автотранспортні одиниці і пункт розвантаження (рис. 1.5). Метою функціонування даної системи є переміщення гірничої маси із вибою в пункт розвантаження (на відвал, внутрішньокар'єрний екскаваторний склад, дробарку збагачувальної фабрики або перевантажувального пункту)» [13, 14]. Вхідними впливами для неї є організаційні та природні фактори, дорожні умови, характеристики трас руху та вибоїв у пунктах навантаження. Одним з основних вихідних параметрів є продуктивність, тобто обсяг гірничої маси, що подається до пункту розвантаження за одиницю часу. Формування даного параметра здійснюється в результаті взаємодії основних елементів системи, між якими існують прямі та зворотні функціональні зв'язки.

Вони характеризуються такими показниками: просторовими - радіус розвантаження екскаватора, розміри маневрових майданчиків у пунктах

навантаження та розвантаження, мінімальна безпечна відстань між автомобілями, що рухаються; тимчасовими - тривалістю операцій транспортного циклу і простоїв екскаваторів в очікуванні транспорту автосамоскидів у черзі на навантаження та розвантаження.

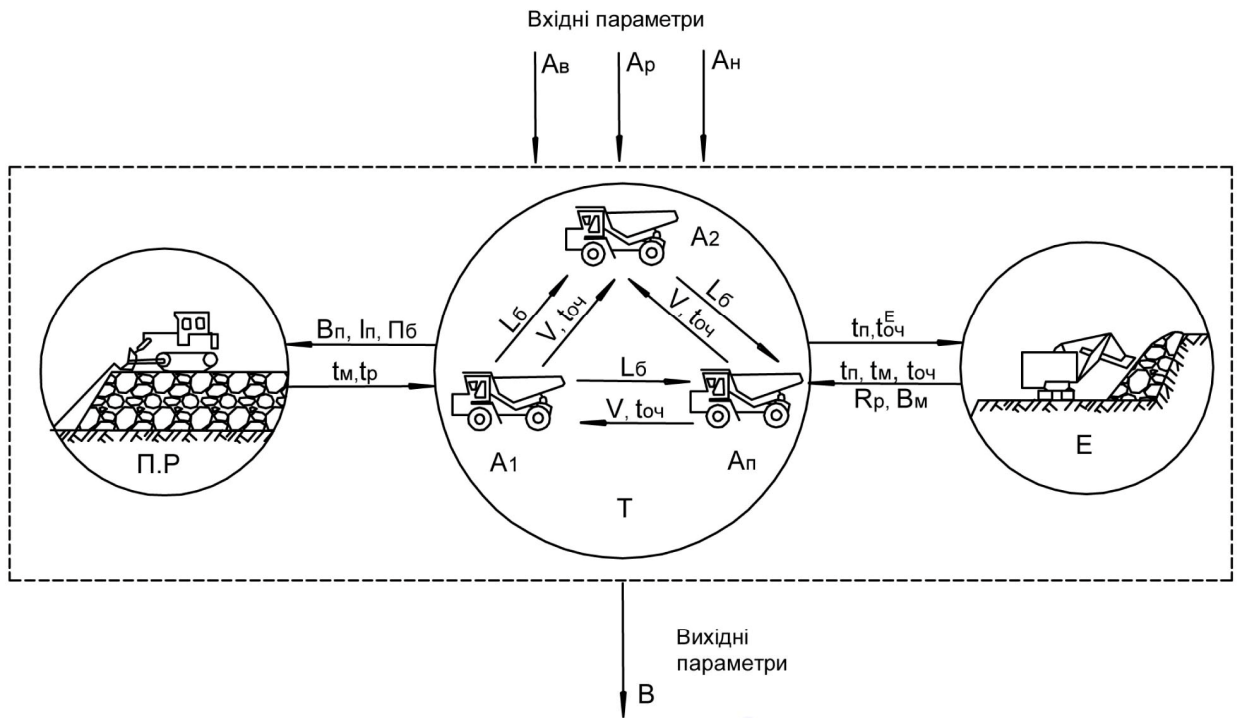


Рис. 1.5. Структурна схема системи "екскаваторно-автомобільний комплекс":

A_e - вихідні фактори; A_p - регулюючі впливи; A_n - неконтрольовані впливи;
 l_6 - безпечна відстань між автосамоскидами; $t_{оч}$ - тривалість очікування навантаження; $t_{оч}^n$ - тривалість очікування прибуття чергового автосамоскида; R_p - радіус розвантаження ковша екскаватора; B_m - ширина маневрового майданчика; P_6 - продуктивність бульдозера; V - швидкість руху автосамоскида; T - транспортна ланка; E - ланка екскаваторного навантаження; $П.Р.$ - ланка розвантаження

Чинними методиками не враховується і кількість працюючих в екскаваторно-автомобільному комплексі автосамоскидів. Цей показник визначає продуктивність комплексу в цілому і продуктивність кожного автомобіля окремо. «Зменшення числа автосамоскидів обумовлює зниження

продуктивності комплексу та підвищення продуктивності окремого автосамоскида, а збільшення числа автомобілів призводить до зворотного ефекту» [11, 13, 14]. «При цьому існує оптимальний рівень забезпеченості екскаватора автотранспортом. Він повинен передбачатися і підтримуватися на стадії тижнево-добового та змінного планування шляхом взаємопов'язання роботи екскаваторного та транспортного цехів» [11, 13, 14]. На практиці забезпеченість заявок на автотранспорт змінюється в широких межах від 0,6 до 1,4, що також обумовлює відхилення фактичної продуктивності автосамоскидів від запланованої.

Необхідно враховувати вплив на продуктивність автосамоскидів і форми організації взаємодії їх з екскаваторами. В даний час взаємодія автосамоскидів з екскаваторами здійснюється по закритому, відкритому та змішаному циклах. Закритий цикл передбачає жорстке закріплення автосамоскидів за екскаваторами. При відкритому циклі автосамоскид отримує адресу навантаження на кожен рейс. При змішаному циклі на початку зміни проводиться закріплення за кожним вибійним екскаватором певної кількості автосамоскидів, а протягом зміни, у разі тривалих зупинок екскаваторів або погіршення вибоїв, проводиться перерозподіл транспортних одиниць.

Таким чином, діючі методики планування продуктивності кар'єрних автосамоскидів мають ряд недоліків, що обумовлюють значну похибку в плануванні та нормуванні автотранспортних робіт. «Високий ступінь розходження планованої та фактичної продуктивності кар'єрних автосамоскидів, що становить 8-15% для місячного та 20-24% для змінного вироблення, не відповідає сучасним вимогам до точності планування та управління гірничотранспортними роботами в кар'єрі та викликає зниження ритмічності транспортного та пов'язаних з ним технологічних процесів» [17].

1.3. Короткий огляд інформаційних джерел щодо ефективності використання кар'єрних автосамоскидів

Основні наукові принципи експлуатації кар'єрних автосамоскидів закладені у роботах академіків Мельникова Н.В., Ржевського В.В., Співаковського А.О., Шешко Є.Ф., Васильєва М.В., Новожилова М.Г., Хохрякова В.С., Потапова М.Г., Томакова П.І., Вініцького К.Є., Сімкіна Б.А., Фіделєва А.С., Михайлова В.А., Шиліна А.М., Трубецького К.М., Яковлєва В.Л., Кулєшова А.А., Смірнова В.П., Дороненко Є.П., Сорокіна Л.А., Котяшева А.А., Маслова В.П.

У працях Мельникова Н.В. [15, 16], Ржевського В.В. [1, 17], Співаковського А.О. [18], Васильєва М.В. [2, 13, 19], Хохрякова В.С. [10, 20], Потапова М.Г. [21] дано основи визначення та планування продуктивності кар'єрних автосамоскидів, які закладені в діючу методику планування та нормування автотранспортних робіт. У зазначених роботах транспортування гірничої маси розглядається як детермінований процес, наводяться значення та методика розрахунку тривалості елементів транспортного циклу автосамоскидів вантажопідйомністю від 5 до 40 т для умов роботи в кар'єрах, враховується інтенсивне та екстенсивне використання автосамоскидів.

У реальних умовах експлуатації параметри транспортного процесу формуються під впливом факторів, багато з яких мають імовірнісний характер. Тому в низці досліджень останніх років, що стосуються ефективності експлуатації кар'єрних автосамоскидів, наводяться статистичні залежності зміни продуктивності від тих чи інших гірничотехнічних умов [4, 12, 22-24, 25-34]. Більшість авторів наводять статистичні залежності продуктивності чи тривалості елементів транспортного циклу від одного чи двох факторів. У роботах [4, 24, 27, 28, 30] описується вплив дальності транспортування на середньотехнічну швидкість автосамоскида регресійними рівняннями другого порядку, а на тривалість транспортного циклу - лінійними регресійними рівняннями. Однак дані залежності складені без урахування фізичної суті впливу дальності транспортування на середньотехнічну швидкість руху автосамоскида, тому вони мають невисоку

надійність і можуть бути застосовані тільки до умов, в яких отримані вихідні дані. Найбільш вдалою в цьому плані є наведена в [22] гіперболічна залежність швидкості від дальності транспортування. Але, як і в вищевказаних роботах, автор пропонує використовувати її для визначення швидкості як у навантажувальному, так і в порожняковому напрямку без урахування особливостей режимів руху автосамоскида в кожному з цих напрямків.

Однією з особливостей експлуатації автотранспорту у кар'єрі є значна варіація дорожніх умов. Тому ряд авторів [35-39] вважають транспортно-експлуатаційні якості автошляхів одним з основних факторів продуктивності автосамоскидів. Проте ними не досліджено кількісні критерії якості доріг та закономірності впливу дорожніх умов на продуктивність автосамоскидів.

Просторове розміщення робочих місць гірничотранспортного обладнання в кар'єрі зумовлює різноманітність характеристик трас руху автосамоскидів: висоти підйому та середньозваженого ухилу. Дослідження цих характеристик як факторів продуктивності автосамоскидів проведено в роботах [7, 9, 28, 31, 32, 40, 39, 41, 42, 43]. В роботі [28] встановлено, що зміна продуктивності від середньозваженого ухилу описується лінійним рівнянням, і розроблені коефіцієнти зміни швидкості автомобілів від величини ухилу траси і глибини кар'єру. У роботі [9] наведена регресійна криволінійна залежність середньотехнічної швидкості автосамоскидів, а в [7] лінійна залежність продуктивності, автосамоскидів від середньозваженого ухилу дороги. В роботах [31, 43] встановлені двофакторні закономірності спільного впливу на продуктивність автотранспорту висоти підйому та відстані транспортування. При цьому враховується в основному зміна швидкості руху автомобіля, але залишається поза увагою зміна його внутрішньозмінної надійності та ймовірнісних характеристик навантажувально-транспортного процесу.

У міру збільшення часу експлуатації швидкість руху, використання в часі, отже, і продуктивність автосамоскидів знижуються. Ґрунтовні дослідження у цьому напрямі проводилися в Інституті гірничої справи [44-48]. Ними встановлено вплив терміну служби на технічну надійність

автосамоскида, використання його у часі і швидкість руху. Розроблено статистичні залежності зміни продуктивності автосамоскидів від терміну служби та пробігу з початку експлуатації. У роботі [26] стосовно умов вугільних розрізів розроблені індекси до норм виробітку, що враховують знос і старіння автосамоскидів. Однак у зазначених роботах недостатньо розглянуто залежність зносу автосамоскидів від гірничотехнічних умов експлуатації. Тому наведені в них закономірності та коефіцієнти не завжди точно відображають вплив старіння автомобілів на продуктивність автосамоскида.

Формування та зміна основних параметрів роботи кар'єрних автосамоскидів відбувається в результаті сукупного впливу та зміни безлічі факторів. Тому найбільш тотожно закономірності зміни продуктивності та інших параметрів роботи автосамоскидів можуть бути описані методом багатofакторного кореляційно-регресійного аналізу. Цей метод використовувався для опису закономірностей руху автомобільних самоскидів [26], [5] - для опису швидкостей руху та витрати дизельного палива, [25, 49] - для опису швидкостей руху, тривалості транспортного циклу і продуктивності автосамоскидів. Також розроблено методику планування експериментів для вивчення експлуатаційних параметрів кар'єрних автосамоскидів [50]. Практичне використання її дозволяє отримувати більш достовірні регресійні моделі у всій області зміни факторів, що визначають описуваний параметр. Наведені у вищезгаданих роботах моделі досить повно відображають зміну параметрів роботи автомобілів від визначальних факторів з урахуванням їхньої взаємодії. Проте форми моделей мало точно передають фізичну суть впливу окремих чинників, що обмежує область їх застосування і знижує точність. Значною мірою позбавлені цього недоліку багатofакторні залежності, які наведені в роботах [25, 49]. Але є недоцільним описувати многофакторними регресійними рівняннями транспортний цикл загалом чи безпосередньо продуктивність автосамоскидів, т.к. ці параметри складаються з елементів, на які діють не однорідні фактори. Так, транспортний цикл включає не тільки час руху, що визначається діючими в моделі факторами: відстанню транспортування,

середньозваженим ухилом траси, часткою тимчасових автошляхів, але і час розвантаження, навантаження і очікування в черзі, які залежать від інших аргументів, які не увійшли в модель. У цьому плані представляють певну цінність роботи [5, 20, 51] і, особливо, [25, 40, 49, 50, 52], де на підставі експериментальних досліджень, виконаних за допомогою спеціальної вимірювальної апаратури, наведено дані про тривалість окремих операцій транспортного циклу автосамоскидів вантажопідйомністю 27-75 т у різних гірничотехнічних умовах. У [40] наведено методика розрахунку тривалості транспортного циклу, засновану на використанні диференціального рівняння руху автомобіля. Методика дозволяє досить точно розраховувати середню тривалість руху автосамоскида трасою. Вона докладно враховує конструктивні характеристики автомобілів, опір руху на ділянках траси, мікропрофіль та форму траси в плані. Але реалізація її становить певні труднощі через великий обсяг вихідної інформації. Методика не враховує технічний стан автомобіля та ймовірнісний характер процесу руху.

Ймовірнісний характер мають і транспортно-експлуатаційні якості дороги, технічні властивості автомобіля та поведінка водія при керуванні автосамоскидом [53].

Необхідність обліку ймовірнісного характеру процесів в даний час загальноприйнята в технічній і в тому числі в гірничотехнічній літературі [5, 18, 52, 54-56], наприклад, автори роботи [56] вважають, що "без урахування ймовірних характеристик процесу неможливо правильно передбачити очікуваний обсяг виконаних робіт і оцінити економічну ефективність системи". Ігнорування цього факту та розрахунок вихідних параметрів процесу за середніми значеннями визначальних факторів у більшості випадків спотворює справжній результат. В роботі [57] автор зазначає, що "наявність випадкових відхилень в характеристиках елементів складної системи, інтенсивності навантаження та інших проявів зовнішнього середовища призводить не тільки до випадкових відхилень від "середньої" поведінки системи, яка мала б місце, якщо випадкові фактори були відсутні, але в загальному випадку і до зміни самого цього середнього. Звідси випливає, що оцінка "середньої" поведінки системи, виходячи тільки з

середніх значень випадкових факторів (без урахування їх розсіювання та взаємних впливів), може призвести до грубих помилок. Пропоновані в джерелах методи обліку імовірнісного характеру процесу транспортування гірничої маси в кар'єрі можна розділити на два напрями: використання теорії масового обслуговування [11, 12, 18, 58, 59] та статистичне моделювання [30, 51, 52, 60]. Підставою застосування апарату теорії масового обслуговування для опису автотранспортного процесу є припущення про можливість описати потік вимог, що надходять до екскаватора, на обслуговування автосамоскидів і тривалість обслуговування відповідно функцією розподілу Пуассона і показовим розподілом. Однак більш докладний аналіз та результати емпіричних спостережень [5, 61, 62] показують хибність цих припущень. Відомий ж у теорії масового обслуговування математичний апарат для умов, коли потік вимог і потік, що виходить, відмінні від найпростішого, дуже громіздкий і в ряді випадків не забезпечує рішення. Порівняно більш адекватну та точну характеристику функціонування автотранспортного процесу з урахуванням надійності елементів системи "екскаваторно-автомобільний комплекс" може дати метод статистичного моделювання. Але використовувані при цьому методи гіпотези про імовірнісний розподіл тривалості операцій транспортного циклу [40, 51, 63, 64] потребують уточнення. Необхідно встановити закономірності зміни параметрів розподілу залежно від умов роботи.

Одним із суттєвих за тривалістю елементів транспортного циклу є перебування у пункті навантаження. Тому взаємодія автосамоскида з екскаватором – важливий момент продуктивної роботи автомобіля. «До характеристик взаємодії відносяться час навантаження та простої екскаваторів та автосамоскидів в очікуванні. Час навантаження залежить від співвідношення місткостей кузова автосамоскида і ковша екскаватора і якості підготовки вибою до екскавації» [21, 52, 65]. «Перший чинник широко розглядався на роботах» [5, 11, 21, 52, 65, 66], де на підставі техніко-економічних розрахунків визначено оптимальні співвідношення місткостей кузова автосамоскида і ковша екскаватора в залежності від відстані транспортування. Вплив якості підготовки вибою на тривалість

навантаження та продуктивність автосамоскида в цілому розглядалося в роботах [29, 32, 67-69]. Розглядаючи загальну закономірність зміни продуктивності автосамоскида від шматкової гірничої маси, автори не досліджували залежність ступеня впливу цього фактора від дальності транспортування, середньозваженого ухилу траси, вантажопідйомності автосамоскида та ін. Тривалість простоїв автосамоскидів в очікуванні навантаження багатьма авторами пропонується розраховувати за формулами теорії масового обслуговування [11, 12, 18, 58]. Однак ці формули не дають у наявному вигляді уявлення про вплив на цей показник умов експлуатації. У роботах [11, 70] встановлені регресійні залежності тривалості очікування навантаження від дальності транспортування. Але «логічний аналіз процесу взаємодії автотранспортної та екскаваторної ланки дозволяє зробити припущення, що дальність транспортування не єдиний фактор, що визначає час простоїв автосамоскидів в очікуванні навантаження» [70].

Істотним чинником продуктивності кар'єрних автосамоскидів є їх технічний стан і надійність. Цьому питанню присвячені роботи [44, 45, 47, 71, 72, 73-76] та низка інших. В них переважно розглядаються автосамоскиди БелАЗ-540, БелАЗ-548 і частково БелАЗ-549. У [44, 45, 47, 75] розглядається технічний стан автомобілів залежно від терміну служби, в [76] - в залежності від кліматичних умов. Автори робіт [5, 71-74, 76] дають якісну і кількісну характеристику надійності, наводять найслабші вузли, показники їх надійності та надійності автомашини в цілому. Однак мало досліджено питання про надійність кар'єрних автосамоскидів протягом зміни і практично не вивчено залежність надійності від гірничо-технічних умов експлуатації.

Тісний взаємозв'язок автотранспорту з суміжними ланками технологічного процесу видобутку корисних копалин обумовлює необхідність комплексного, системного підходу до аналізу та оптимізації продуктивності автосамоскидів. Загальні методи системного аналізу представлені у працях багатьох вчених [57, 77]. У сфері відкритої розробки родовищ принципи системного підходу закладено у працях [20, 65, 78, 79]. Застосування системного аналізу до досліджень у галузі відкритих розробок отримало подальший розвиток у роботах Потапова М.Г., Віницького К.Є.,

Яковлева В.Л., Астаф'єва Ю.П., Кулешова А.А., Гонзарова О.М., Риженкова Н.А. [5, 21, 43, 80-83] та у роботах, пов'язаних з моделюванням виробничих процесів відкритих розробок [11, 12, 30, 59, 60]. Основне застосування у гірничій справі метод системного аналізу знайшов при вирішенні великих завдань, таких як обґрунтування та вибір транспортних схем [43, 81], вибір параметрів систем розробки, схем розкриття кар'єрів, обґрунтування раціональних параметрів гірничотransпортних комплексів [5]. Для вирішення більш вузких завдань, пов'язаних з ефективністю використання кар'єрних автосамоскидів, цей метод до теперішнього часу не застосовувався.

Отже, огляд технічної літератури показує, що продуктивність кар'єрних автосамоскидів і чинники, що її визначають розглядалися багатьма авторами у різних аспектах. Проте є ціла низка не вивчених моментів. До них належать: «дослідження комплексного впливу гірничотехнічних факторів на тривалість елементів транспортного циклу, вивчення ймовірного характеру навантажувально-транспортного процесу та особливостей взаємодії автосамоскидів з екскаватором у пункті навантаження» [43], «аналіз надійності роботи автосамоскидів протягом зміни та виявлення закономірностей її зміни в різних умовах експлуатації, встановлення параметрів роботи дизель-електричних автомобілів» [81].

РОЗДІЛ 2 ДОСЛІДЖЕННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ РОБОТИ КАР'ЄРНИХ АВТОСАМОСКИДІВ

2.1. Дослідження технологічної взаємодії автосамоскидів із вибійними екскаваторами

Аналіз хронометражних спостережень показав, що тривалість перебування автосамоскидів у пункті навантаження залежно від гірничотехнічних умов експлуатації становить до 2,5-3,2 години на зміну (рис. 2.1)

або до 40-45% транспортного циклу. «Тому ефективність взаємодії автосамоскидів та вибійного екскаватора значною мірою визначає продуктивність кар'єрного автотранспорту» [21].

«Об'єктивною оцінкою ефективності взаємодії є тривалість навантаження та простоїв автосамоскидів в очікуванні навантаження та екскаваторів в очікуванні прибуття автосамоскида. Значення цих характеристик визначаються потужністю навантажувального обладнання (рис. 2.2), фізико-механічними властивостями порід, формою організації роботи автотранспорту в кар'єрі (відкритий або закритий цикл), способом керування навантажувально-транспортним процесом (автоматизоване, не автоматизоване)» [62].

У процесі хронометражних спостережень тривалість навантаження змінювалася у широких межах залежно від поєднання вищевказаних чинників (табл. 2.1, 2.2). Встановлено, що при завантаженні автосамоскидів БелАЗ-548А екскаваторами ЕКГ-6,3ус та ЕКГ-8І у вибоях заввишки нижче 7 м, у вибоях з великою кількістю негабаритної фракції та на заукісці уступів кількість циклів екскавації збільшується в 1,15-1,27 рази, а тривалість навантаження - в 1,8-2,6 рази. Навантаження автосамоскидів БелАЗ-7519 (110т) і БелАЗ-37521 (180 т) екскаваторами ЕКГ-8І здійснювалося відповідно за 9-10 і 12-14 циклів у вибоях пухких покривних порід і за 8-9 і 11-12 циклів скельних порід та руд. Тривалість навантаження при цьому склала 5-7 хв, що можна порівняти з часом руху навантаженого автосамоскида по трасі з відстанню транспортування 1,0-1,7 км і підйомом в 3-4%. Тобто використання екскаваторів ЕКГ-8І для навантаження автомобілів вантажопідйомністю 110, 180 т значно знижує їх ефективність. Для найбільш повної реалізації потенційної продуктивності автосамоскидів БелАЗ-7519 та БелАЗ-37521 доцільно впроваджувати їх у виробництво в комплексі з екскаваторами ЕКГ-12,5 та ЕКГ-20.

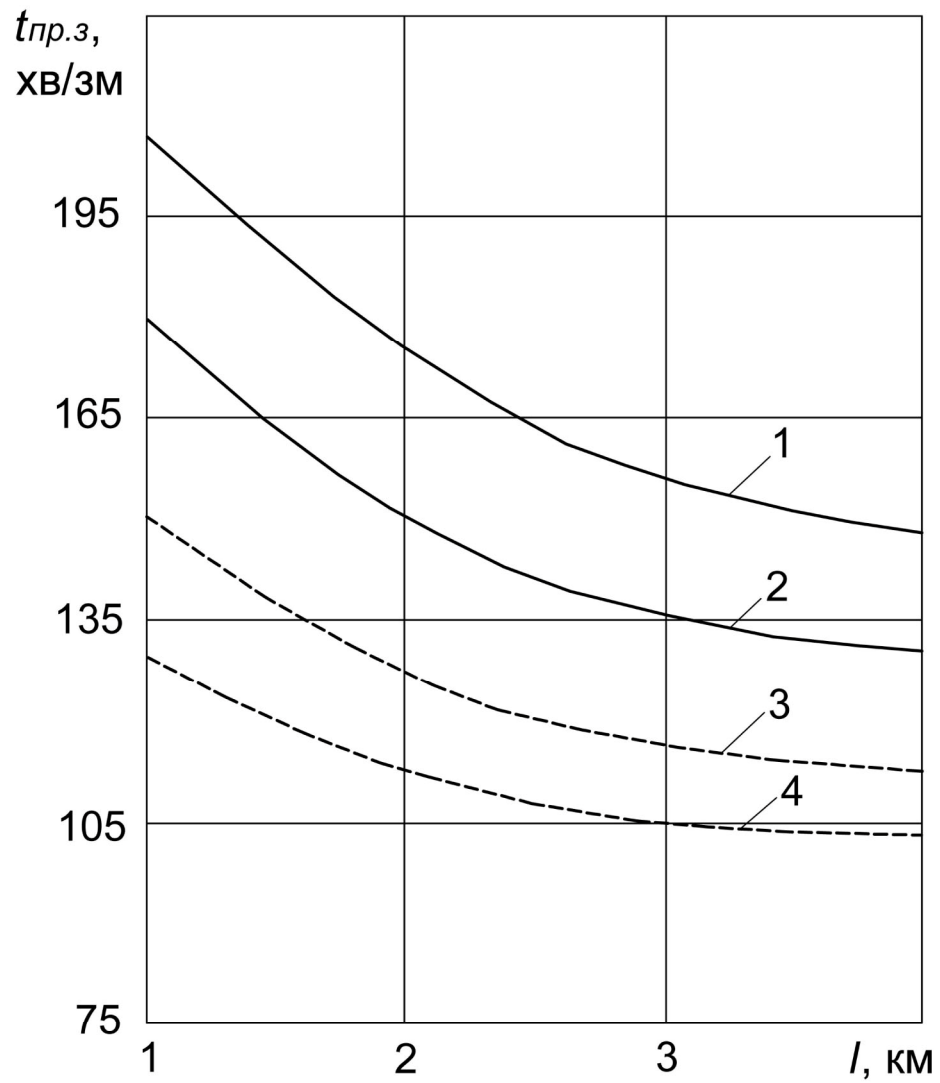


Рис. 2.1. Залежність тривалості перебування автосамоскидів у вибої ($t_{пр.з}$) від відстані транспортування (l): 1 - автосамоскиди БелАЗ-37521 у комплексі з екскаваторами ЕКГ-8І; 2 - БелАЗ-7519 з ЕКГ-8І; 3 - БелАЗ-549 з ЕКГ-8І; 4 - БелАЗ-7519 з ЕКГ-12,5 та БелАЗ-37521 з ЕКГ-20

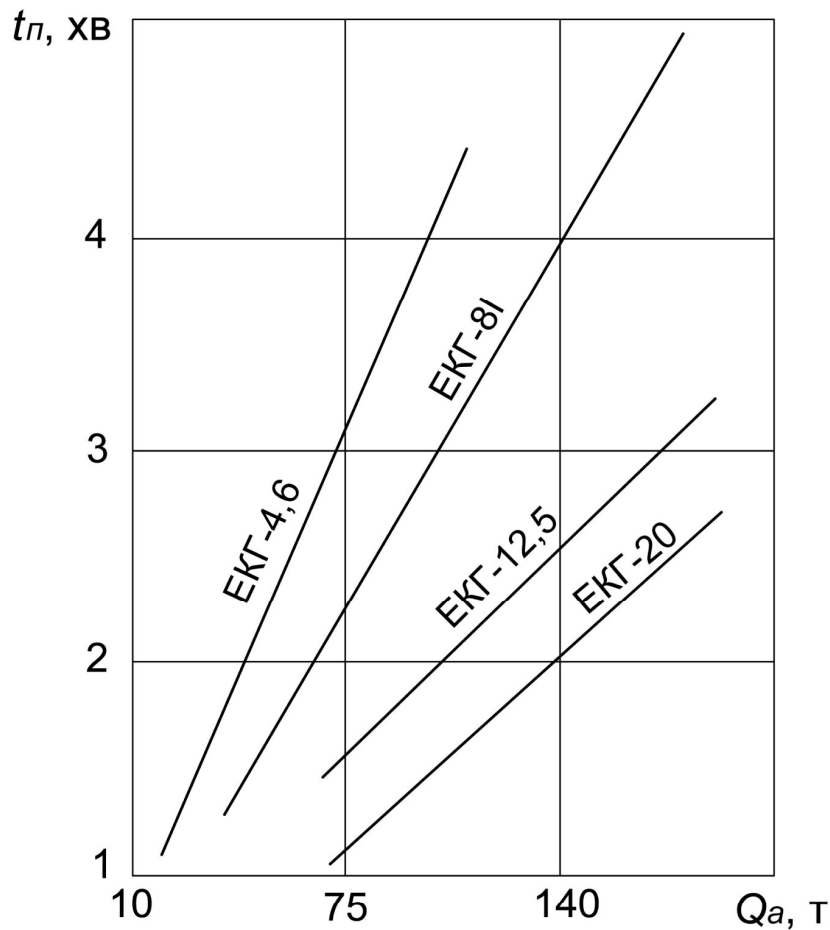


Рис. 2.2. Закономірності зміни тривалості навантаження (t_n) автосамоскида залежно від його вантажопідйомності та ємності ковша екскаватора

Таблиця 2.1

Статистичні характеристики тривалості навантаження автосамоскидів

Модель вибійного екскаватора	Вид гірничої маси, середня щільність (γ_n), т/м ³	Висота вибою, м	Число циклів навантаження	Характеристики	
				t_n , с	σ_n , с
ЕКГ-6,3ус	Скельний розкриття, $\gamma_n = 2,7$	5,0	5	267	37,2
	Скельний розкриття, $\gamma_n = 2,7$	12,5	4	95	16,2
	Руда, $\gamma_n = 3,7$	18	3	72	9,6
	Скельний розкриття, $\gamma_n = 2,7$	10,5	3	73	11,4
ЕКГ-8I	Руда, $\gamma_n = 3,7$	11,5	3	92	18,7
	Руда, $\gamma_n = 3,7$	17,0	4	131	35,7

Таблиця 2.2

Статистичні характеристики тривалості навантаження автосамоскидів
вантажопідйомністю 75-180 т екскаватором ЕКГ-8І

Модель автосамоскида	Вид гірничої маси, середня щільність (γ_n), т/м ³	Число циклів навантаження	Характеристики	
			t_n , с	σ_n , с
БелАЗ-549 (75 т)	Руда, $\gamma_n = 3,7$	4	124	18,0
	Скельний розкрит, $\gamma_n = 2,7$	6	199	19,1
БелАЗ-7519 (110т)	Руда, $\gamma_n = 3,7$	8	278	28,5
	Скельний розкрит, $\gamma_n = 2,7$	9	328	26,7
БелАЗ-37521 (180т)	Руда, $\gamma_n = 3,7$	11	375	31,4
	Скельний розкрит, $\gamma_n = 2,7$	12	394	35,1
	Пухкий розкрит, $\gamma_n = 1,8$	13	422	27,0

Результати досліджень показують, що простої автосамоскидів в очікуванні навантаження залежно від гірничотехнічних та організаційних умов становлять до 70-110 хв або до 18-23% змінного часу. Тому враховувати значення цього показника необхідно, як під час аналізу, так і при плануванні продуктивності автотранспорту. Прийнята чинними нормативами тривалість очікування навантаження 0,4 хв на один рейс має малу ймовірність, що не перевищує 0,15-0,23.

Аналіз взаємодії навантажувальної та автомобільної ланок показав, що простої автосамоскидів в очікуванні навантаження залежно від причини їх виникнення різняться на простої, зумовлені коливанням тривалості обслуговування та інтервалів прибуття автомобілів, простої під час зупинки екскаватора та простої у початковий період відновлення його роботи. При організації роботи за відкритим циклом, у разі зупинки екскаватора, відправлення автосамоскидів до нього припиняється. Тому тут простої через зупинку екскаватора не спостерігаються.

Наведені у табл. 2.3 результати цілісних спостережень взаємодії автосамоскидів БелАЗ-548А та екскаваторів ЕКГ-6,3ус, що працюють за закритим циклом, ілюструють кількісне співвідношення простоїв в очікуванні. Для автосамоскидів найбільш значними є простої у процесі

навантажувально-транспортних робіт, які обумовлені коливанням інтервалів обслуговування та прибуття автосамоскидів. Залежно від умов експлуатації, вони становлять 20-80% від загальної тривалості простоїв в очікуванні навантаження або від 0,15-0,20 до 1,8-3,1 хв на один рейс.

Таблиця 2.3

Тривалість змінних простоїв автосамоскидів та екскаваторів в очікуванні
(БелАЗ-548А - ЕКГ-6,3ус)

Відстань транспортування, км	Висота підйому гірничої маси, м	Забезпеченість автосамоскидами, %	Характеристика вибою	Простої автосамоскидів, хв			Простої екскаваторів, хв		
				Усього простоїв	В том числе		Усього простоїв	В том числе	
					через зупинку екскаватора	у процесі навантажувально-транспортних робіт		через відсутність автосамоскидів	у процесі навантажувально-транспортних робіт
0,4	15	100	46/0,29	83,0/1,66	69,5	13,5/0,27	41,0/0,2	13,0	28,0/0,14
0,9	25	100	60/0,36	55,0/1,9	33,5	21,5/0,74	71,0/0,7	21,0	50,0/0,27
1,5	64	75	59/0,32	89,0/4,24	80,0	9,0/0,43	56,0/0,43	35,0	21,0/0,12
1,7	72	88	71/0,27	51,0/1,9	31,0	20/0,73	70,0/0,43	23,0	47,0/0,29
1,8	82	64	55/0,4	70,0/3,2	58,5	11,5/0,52	106/0,65	42	64,0/0,46
2,6	97	67	95/0,53	80,04,44	49,0	31/1,71	84,0/0,91	32,0	52,0/0,63

Істотну частку (від 10 до 65%) займають простої під час зупинки екскаватора. Максимальна величина їх (до 70 хв за зміну) відповідає ситуації, коли трапляється аварійна зупинка групи екскаваторів (відключення електроенергії або ін.) або коли виникають часті зупинки екскаватора з різних причин (організаційні, короткочасні технічні несправності, зрошення вибою, зачистка під'їзду і т.д.).

Простої екскаваторів в очікуванні прибуття автосамоскидів спостерігаються як у процесі навантажувально-транспортних робіт, так і на початку зміни і після усунення тривалих відмов. Простої на початку зміни обумовлені затримкою прибуття автосамоскидів у кар'єр і змінюються від 0 до 30-40 хв. Простої в очікуванні, після усунення тривалих відмов пояснюються інертністю в управлінні навантажувально-транспортними роботами. Вони мають місце при неавтоматизованому управлінні та досягають до 25-30 хв за зміну.

Тривалість очікування автосамоскидом навантаження в процесі навантажувально-транспортних робіт ($t'_{ожс}$, хв) залежить від величини середніх квадратичних відхилень часу обслуговування ($\sigma_{об}$, хв) та інтервалів прибуття автосамоскидів ($\sigma_{приб}$, хв) та від забезпеченості екскаватора автотранспортом ($\kappa_{об}$).

Нерівномірність інтервалів надходження автосамоскидів на навантаження зумовлена коливанням тривалості транспортного циклу. Серед операцій транспортного циклу найбільшою коливністю характеризуються "навантаження" та "рух" (табл. 2.4).

Таблиця 2.4

Характеристики коливання тривалості основних операцій транспортного циклу кар'єрних автосамоскидів

Найменування характеристик коливання	Значення характеристик коливання операцій транспортного циклу					
	навантаження	маневрів у вибої	маневрів під час розвантаження	розвантаження	руху навантаженого	руху порожнього
Варіація, %	10-30	12-20	13-25	8-18	6-11	7-13
Середнє квадратичне відхилення, с	10,0- 25,0	1,8-4,0	2,1-4,5	3,0-5,0	7,0-70	3.0-36,0

Отже, основними факторами аритмічності навантажувально-транспортного процесу при організації роботи за закритим циклом є операції "навантаження" та "рух". При організації роботи за відкритим циклом нерівномірність інтервалів надходження обумовлюється коливанням часу руху в порожняковому напрямку та інтервалів відправлення автосамоскидів до екскаватора. Розрахунки показують, що організація роботи екскаваторно-автомобільних комплексів за відкритим циклом за дотримання постійного інтервалу відправлення дозволяє знизити простой автосамоскидів в очікуванні навантаження порівняно з роботою за закритим циклом на 25-32%. Стабільність інтервалів відправлення може бути забезпечена застосуванням пристроїв, що дозволяють автоматизувати управління транспортним потоком всередині кар'єру, або автоматизованої системи управління, контролю та обліку роботи кар'єрного автотранспорту. За відсутності вищевказаних умов, інтервали відправлення автосамоскидів, як свідчать спостереження, проведені на Інгулецькому кар'єрі, характеризуються значною нерівномірністю при величині середнього квадратичного відхилення 60-80 с. У цьому випадку розподіл інтервалів надходження автосамоскидів на навантаження при відкритому та закритому циклах в однакових гірничотехнічних умовах ідентичні (рис. 2.3). Тому середній час очікування навантаження при неавтоматизованому керуванні транспортним потоком при роботі як по відкритому, так і закритому циклу є величиною одного порядку.

Основними факторами, що визначають простой автосамоскидів та екскаваторів у процесі навантажувально-транспортних робіт, є: середнє квадратичне відхилення тривалості навантаження, відстань транспортування, коефіцієнт забезпеченості екскаватора автотранспортом та середньозважений ухил траси. Середнє відхилення тривалості навантаження (σ_n , хв) залежить від числа циклів екскавації.

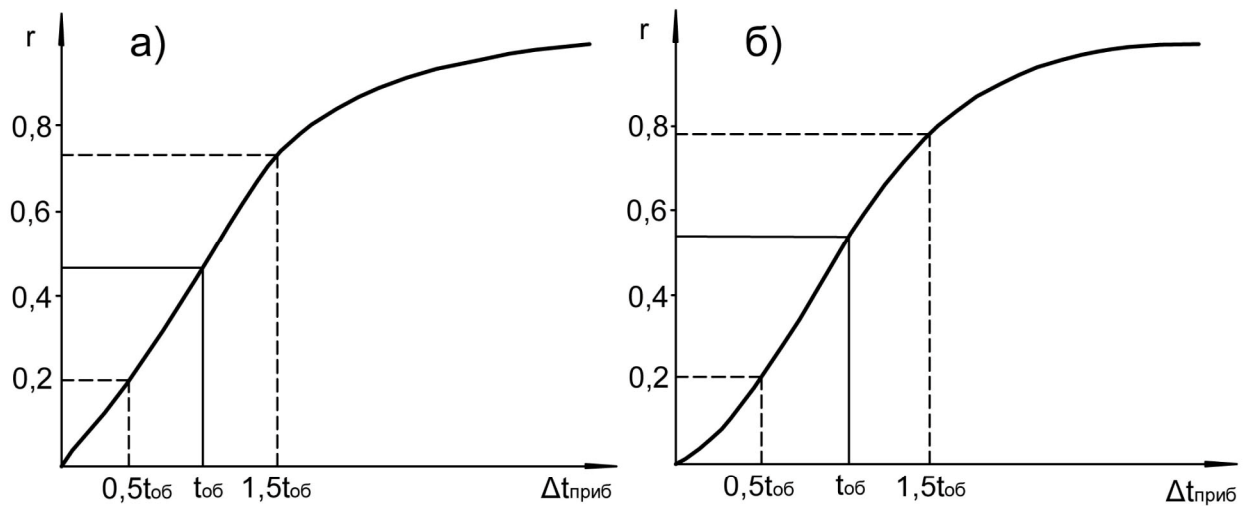


Рис. 2.3. Дослідні інтегральні криві розподілу інтервалів прибуття автосамоскидів на навантаження ($\Delta t_{\text{приб}}$) при організації робіт за відкритим циклом (а) та за закритим циклом (б)

Тривалість очікування автосамоскидами навантаження під час зупинки екскаватора визначається кількістю (N) та середньою тривалістю зупинок (t_0 , хв) протягом зміни

$$N = N_T + N_{\text{техн}}, \quad (2.1)$$

де N_T - кількість зупинок екскаватора через технічну несправність, визначається рівнем технічної надійності екскаваторного парку. Для умов Ганнівського кар'єру за даними хронометражних спостережень $N_T = 0,87$; $N_{\text{техн}}$ - кількість зупинок екскаватора, зумовлених технологією навантажувально-транспортних робіт (зачищення під'їзду бульдозером, зрошення вибою, маневри екскаватора у вибої). Для умов Ганнівського кар'єру складає 2,36.

Середня тривалість зупинок становить

$$t_0 = \frac{t_{o.m} N_m + t_{o.техн} N_{\text{техн}}}{N} \quad (2.2)$$

де $t_{o.m}$ - середня тривалість зупинок екскаватора через технічну несправність. Для умов Інгулеського кар'єру $t_{o.m} = 17,8$ хв.

Аналіз отриманих закономірностей показує, що збільшення відстані транспортування обумовлює збільшення простоїв автосамоскидів у черзі на навантаження (рис. 2.4). Зі збільшенням числа циклів екскавації простої в

очікуванні навантаження з розрахунку на один рейс зростають на 10-17%, а сумарні за зміну на 2-5%. Тривалість перебування автосамоскидів у вибої при зниженні співвідношення місткості кузова автосамоскида і ковша екскаватора з 8-11 до 4 зменшується на 38-60% при відстані транспортування (l) 1,0 км та на 30-47% при l - 4,0 км.

Зміна тривалості простоїв автосамоскидів залежно від умов взаємодії з навантажувальним обладнанням визначає і відповідну зміну їх продуктивності.

Розрахунки показують, що використання для навантаження автосамоскидів БелАЗ-37521 екскаватора ЕКГ-20 ($\varepsilon_{z.k} = 16 \text{ м}^3$) замість ЕКГ-8І дозволить за рахунок зниження часу перебування у вибої підвищити змінну продуктивність автомобілів на 200-800 тонн або на 10-22%. А впровадження при цьому автоматизованого управління екскаваторно-автомобільним комплексом – ще на 7-12% (рис. 2.5).

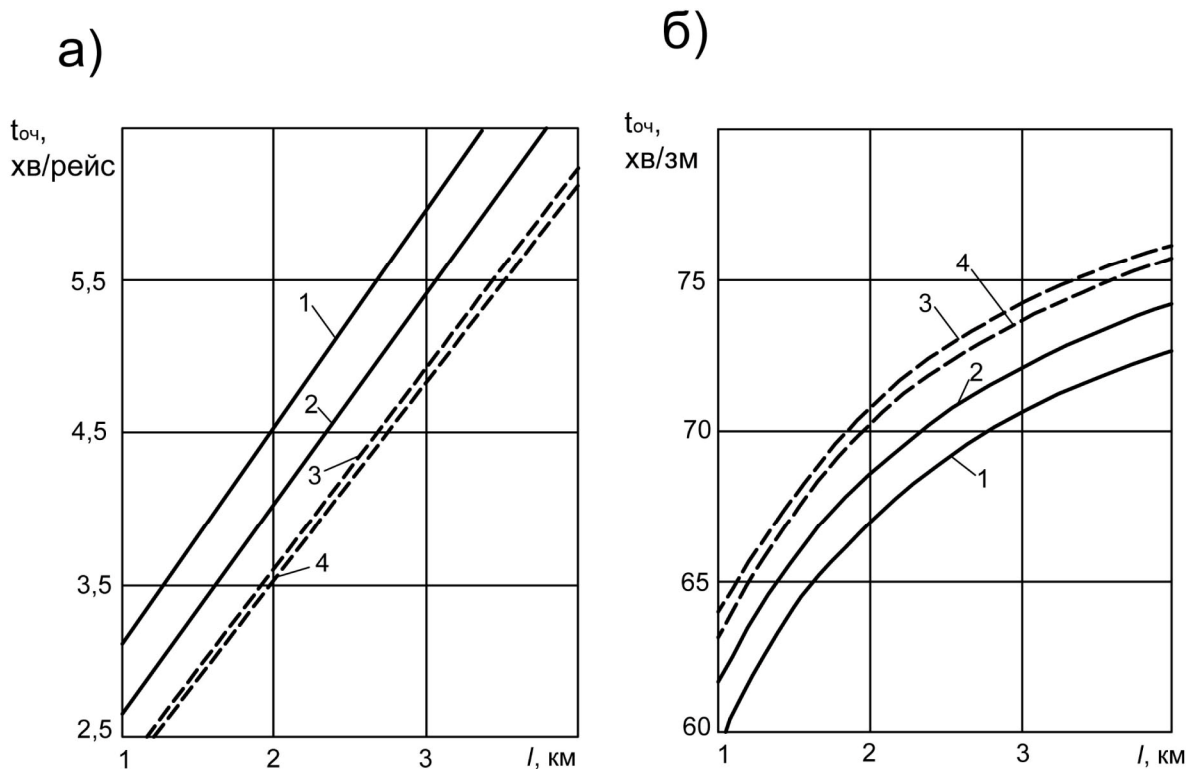


Рис. 2.4. Тривалість простоїв в очікуванні навантаження на 1 рейс (а) і на 1 зміну (б) при різній дальності транспортування (l):

- 1 - для автосамоскидів БелАЗ-37521 у комплексі з екскаватором ЕКГ-8І;
- 2 - БелАЗ-7519 з ЕКГ-8І; 3 - БелАЗ-549 з ЕКГ-8І; 4 - БелАЗ-7519 з ЕКГ-12,5

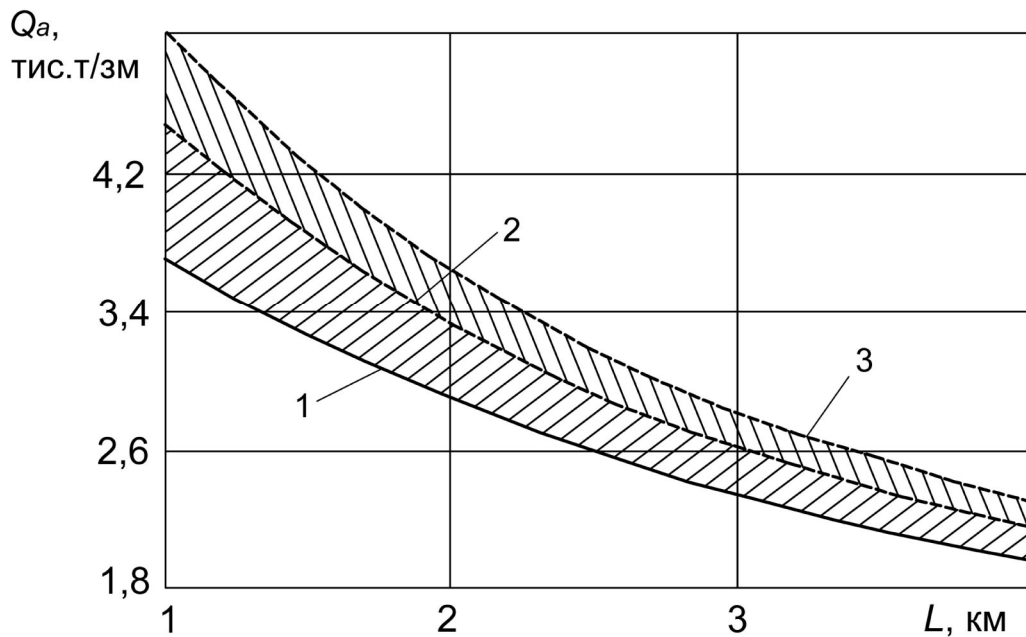


Рис. 2.5. Закономірності зміни продуктивності автосамоскидів БелАЗ-7521:

- 1 - ЕКГ-8І (8 м³), закритий цикл;
- 2 - ЕКГ-20 (16 м³), закритий цикл;
- 3 - ЕКГ-20 (16 м³), відкритий цикл.

При зниженні коефіцієнта забезпеченості автотранспортом від 1,0 до 0,6 простої в очікуванні навантаження залежно від відстані транспортування зменшуються на 18-30%, а продуктивність автосамоскидів збільшується на 6-9% (рис. 2.6).

2.2. Дослідження впливу експлуатаційних факторів на продуктивність парку автомобільного транспорту кар'єрів

Результати обробки статистичних даних різних кар'єрів [84] дозволили виділити основні фактори, що впливають на роботу автотранспорту:

- відстань транспортування гірничої маси;
- вантажопідйомність самоскида;
- швидкість руху;
- час виконання навантажувально-розвантажувальних операцій.

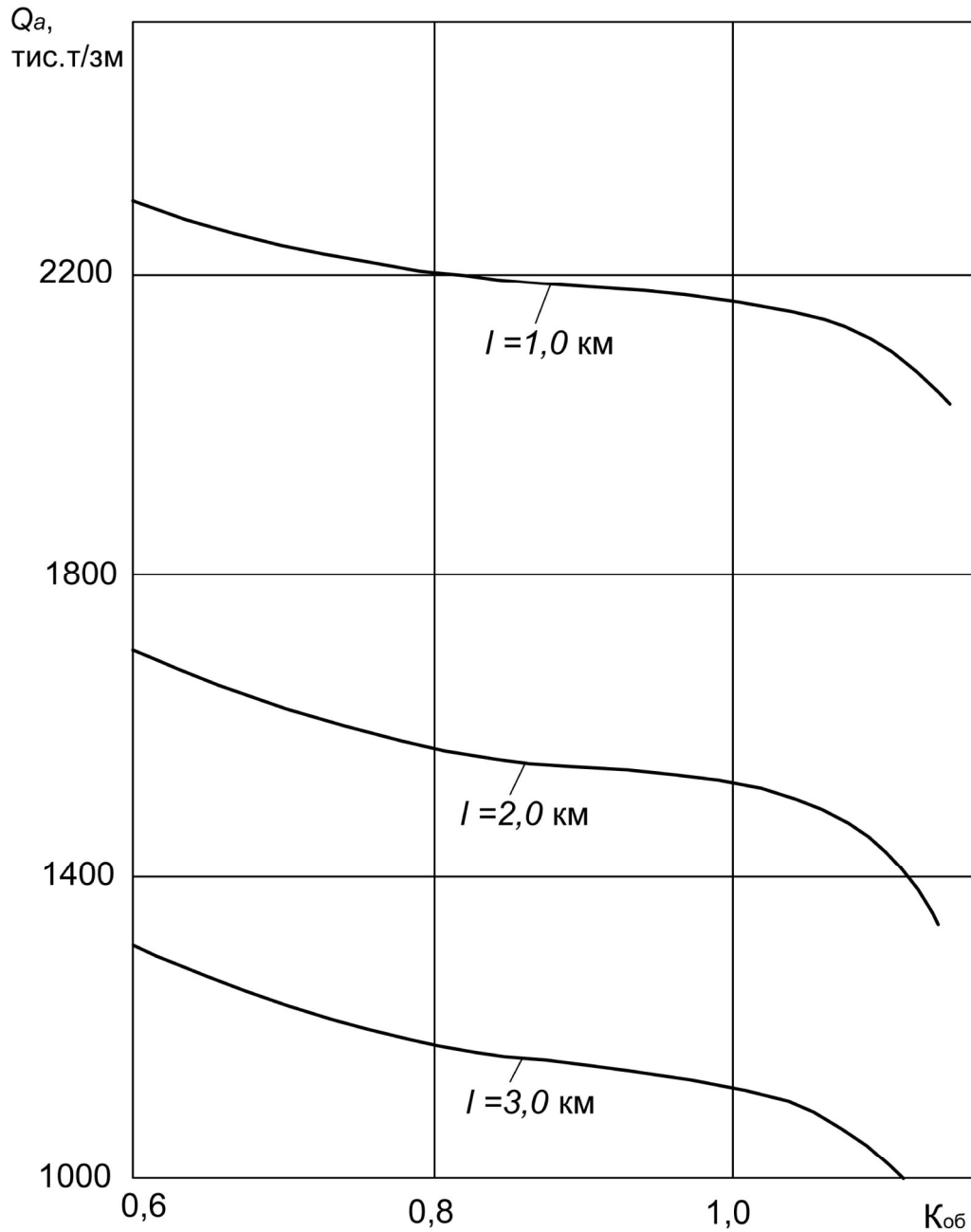


Рис. 2.6. Зміна продуктивності автосамоскидів БелАЗ-549 (Q_a) залежно від забезпеченості екскаватора автотранспортом ($K_{об}$): l - відстань транспортування

Для дослідження залежності продуктивності від перерахованих вище факторів використовувалися методи кореляційного та регресійного аналізів [85].

«В результаті досліджень встановлено залежності продуктивності автосамоскидів від відстані транспортування, швидкості руху та часу, що витрачається на виконання операцій завантаження-розвантаження автосамоскида, під'їзду під навантаження, розвантаження, очікування навантаження (час на операції)» [85] .

Використання методу найменших квадратів дозволило визначити параметри регресійних моделей та розробити однофакторні залежності продуктивності від відстані транспортування, швидкості руху самоскида та часу, що витрачається на навантажувально-розвантажувальні операції, а також двофакторні залежності спільного впливу цих факторів на продуктивність самоскида.

Однофакторні залежності впливу відстані транспортування на продуктивність автосамоскидів

В результаті обробки статистичних даних, отриманих безпосередньо з місць експлуатації автомобільного кар'єрного транспорту, були побудовані графічні залежності зміни продуктивності за зміну від відстані транспортування гірничої маси для різних типів автосамоскидів. Графічні зображення залежностей представлені на рис. 2.7.

Аналіз графічних залежностей показав лінійність кореляційного зв'язку продуктивності самоскида та відстані транспортування.

За методом найменших квадратів [86] було визначено параметри регресійних моделей. Регресійні моделі залежності продуктивності самоскидів від відстані транспортування представлені формулами 2.3 – 2.6:

$$Q^{БелАЗ-7514} = -883,78L + 5760,821 \quad (2.3)$$

$$Q^{БелАЗ-7513} = -1198,9L + 7456,78 \quad (2.4)$$

$$Q^{CAT-777} = -767,223L + 5230,259 \quad (2.5)$$

$$Q^{HD-785} = -767,223L + 5230,259 \quad (2.6)$$

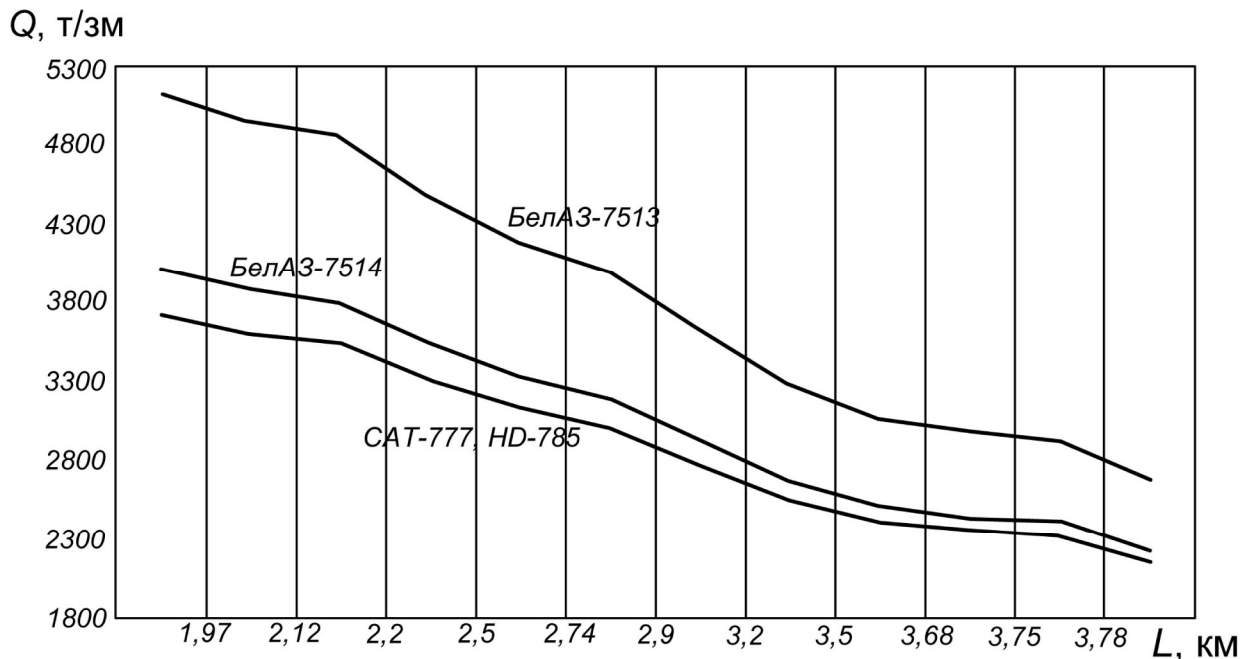


Рис. 2.7. Графік залежності продуктивності автосамоскидів від відстані транспортування

де Q – продуктивність самоскида, т/зміну; L – відстань транспортування, км.

Як видно з рівнянь 2.3–2.6, зі збільшенням відстані транспортування зменшується продуктивність самоскида. Отримані регресійні моделі дозволяють визначити продуктивність певної марки самоскида за будь-якого значення відстані перевезення гірничої маси.

Однофакторні залежності впливу швидкості руху на продуктивність автосамоскидів

Графічні зображення залежності зміни продуктивності від швидкості руху представлені на рис. 2.8.

Аналіз графічних залежностей показав лінійність кореляційної залежності продуктивності самоскида від швидкості руху.

За методом найменших квадратів було визначено параметри регресійних моделей. Регресійні моделі залежності продуктивності самоскидів від швидкості руху представлені формулами 2.7 – 2.10:

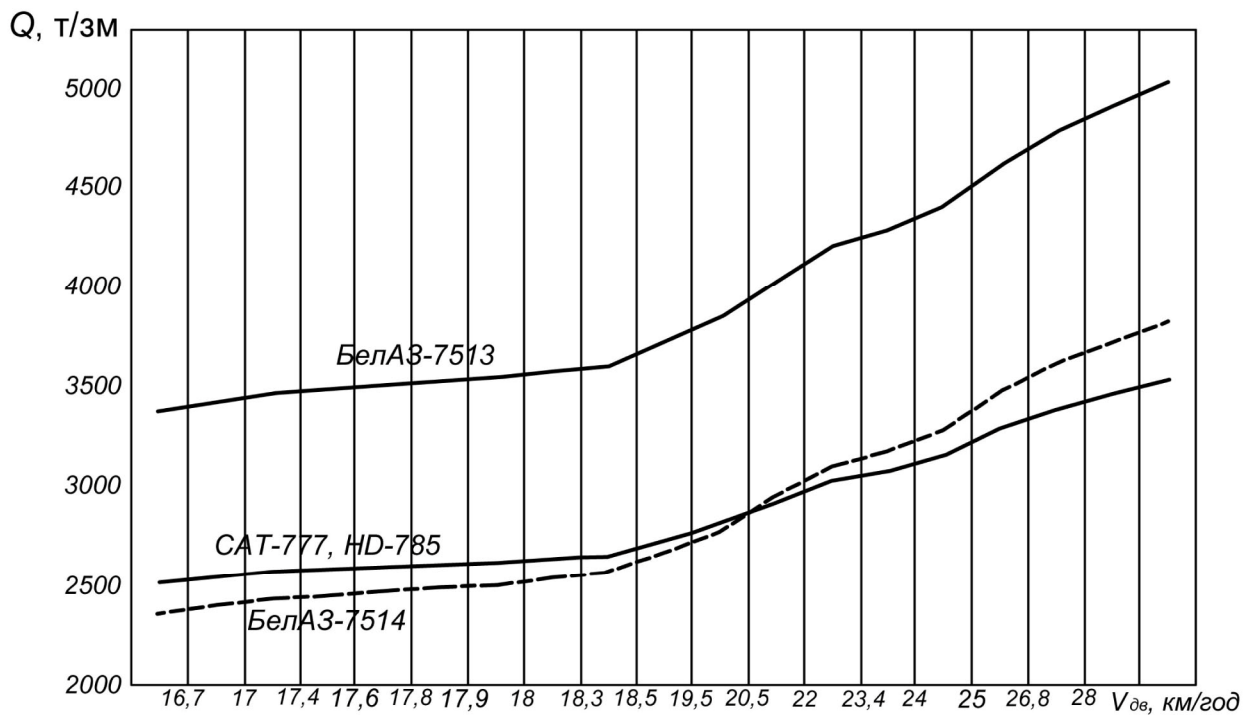


Рис. 2.8. Графік залежності продуктивності автосамоскидів від швидкості руху

$$Q^{\text{БелАЗ-7514}} = -110,84v + 507,85 \quad (2.7)$$

$$Q^{\text{БелАЗ-7513}} = -124,48v + 1301,64 \quad (2.8)$$

$$Q^{\text{САТ-777}} = -77,66v + 1217,978 \quad (2.9)$$

$$Q^{\text{HD-785}} = -77,66v + 1217,978 \quad (2.10)$$

де v – швидкість руху самоскида, км/год.

Отримані регресійні моделі дозволяють оцінити вплив швидкості на продуктивність самоскидів - зі збільшенням швидкості руху продуктивність також збільшується. Використовуючи ці залежності, можна визначити продуктивність за різних швидкостей самоскидів.

Однофакторні залежності впливу часу навантажувально-розвантажувальних операцій на продуктивність автосамоскидів.

Графічний вид залежностей зміни змінної продуктивності від часу навантажувально-розвантажувальних операцій для різних типів самоскидів представлений на рис. 2.9.

Аналіз графічних залежностей показав лінійність кореляційної залежності продуктивності самоскида від часу навантажувально-розвантажувальних операцій.

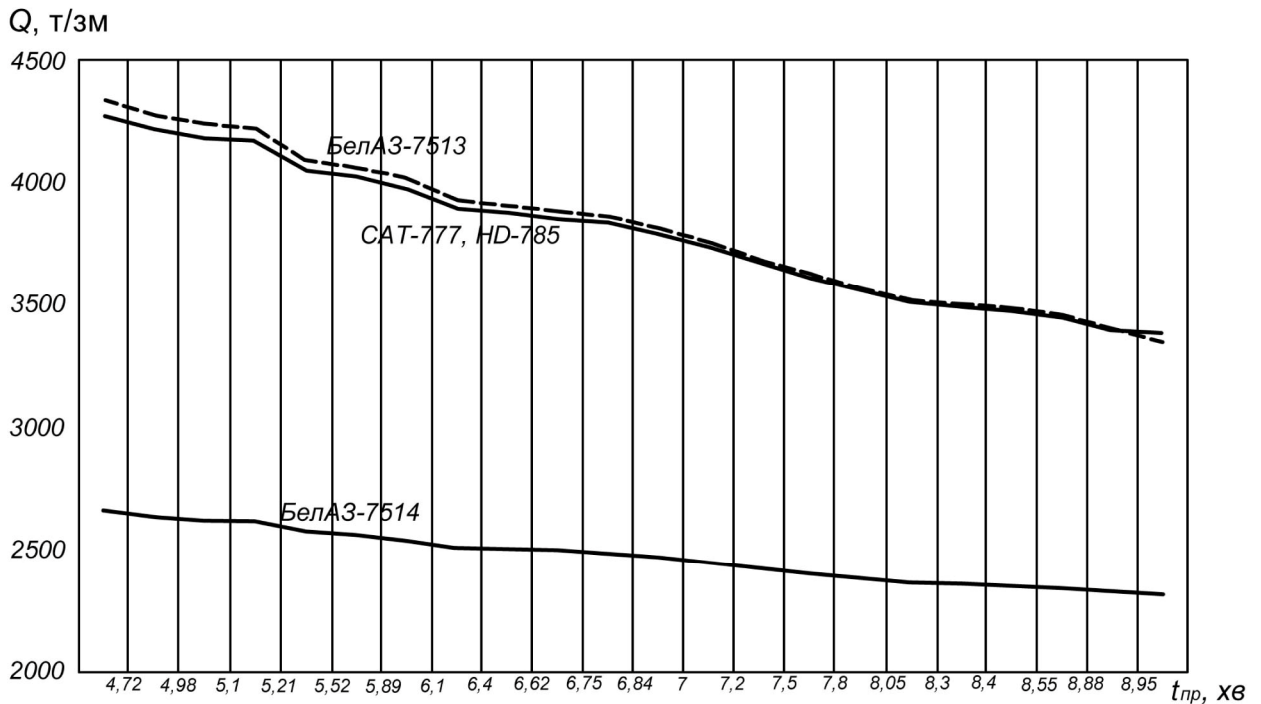


Рис. 2.9. Графік залежності продуктивності автосамоскидів від часу навантажувально-розвантажувальних операцій

Використання методу найменших квадратів дозволило визначити параметри регресійних моделей. Регресійні моделі залежності продуктивності самоскидів від часу навантажувально-розвантажувальних операцій представлені формулами 2.11 – 2.14:

$$Q_{\text{БелАЗ-7514}} = -81,96t_{\text{опер}} + 3048,485 \quad (2.11)$$

$$Q_{\text{БелАЗ-7513}} = -233t_{\text{опер}} + 5436,8 \quad (2.12)$$

$$Q_{\text{CAT-777}} = -213,56t_{\text{опер}} + 5289,82 \quad (2.13)$$

$$Q_{\text{HD-785}} = -213,56t_{\text{опер}} + 5289,82 \quad (2.14)$$

де $t_{\text{опер}}$ – час, що витрачається на виконання операцій завантаження-розвантаження самоскида, під'їзду під навантаження, розвантаження, очікування навантаження, хв.

Аналіз отриманих регресійних моделей показав, що зі збільшенням часу, затрачуваного на виконання операцій завантаження-розвантаження самоскида, під'їзду під навантаження, розвантаження, очікування навантаження, продуктивність падає. Зміна часу на навантажувально-розвантажувальні операції дозволяє визначити продуктивність самоскида за певного значення даного фактора [87].

Двофакторні залежності спільного впливу відстані транспортування гірничої маси та швидкості руху автосамоскида на продуктивність

Графічний вид залежностей спільного впливу відстані транспортування гірничої маси та швидкості руху автосамоскида на продуктивність представлений на рис. 2.10 – 2.12.

Методом найменших квадратів було визначено параметри регресійних моделей. Після підстановки чисельних значень двофакторні моделі набувають вигляду, вираженого рівняннями 2.15–2.18.

$$Q_{\text{БелАЗ-7514}} = 2705,789 - 715L + 138v \quad (2.15)$$

$$Q_{\text{БелАЗ-7513}} = 9828,6 - 1056L + 77v \quad (2.16)$$

$$Q_{\text{CAT-777}} = 2783,8 - 664,4L + 73v \quad (2.17)$$

$$Q_{\text{HD-785}} = 2783,8 - 664,4L + 73v \quad (2.18)$$

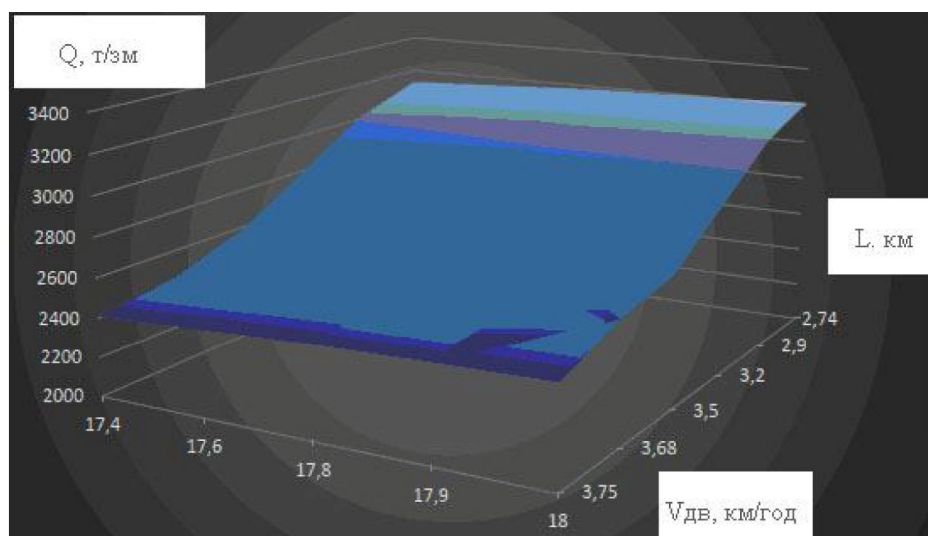


Рис. 2.10. Графічний вид залежності продуктивності самоскида БелАЗ-75145 від відстані транспортування та швидкості руху

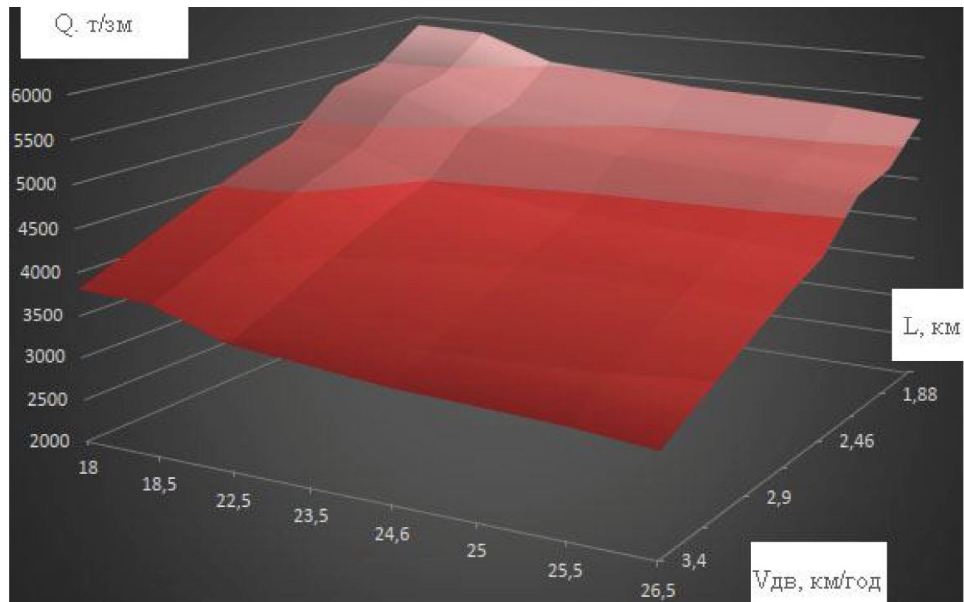


Рисунок 2.11. Графічний вид залежності продуктивності самоскида БелАЗ-75131 від відстані транспортування та швидкості руху

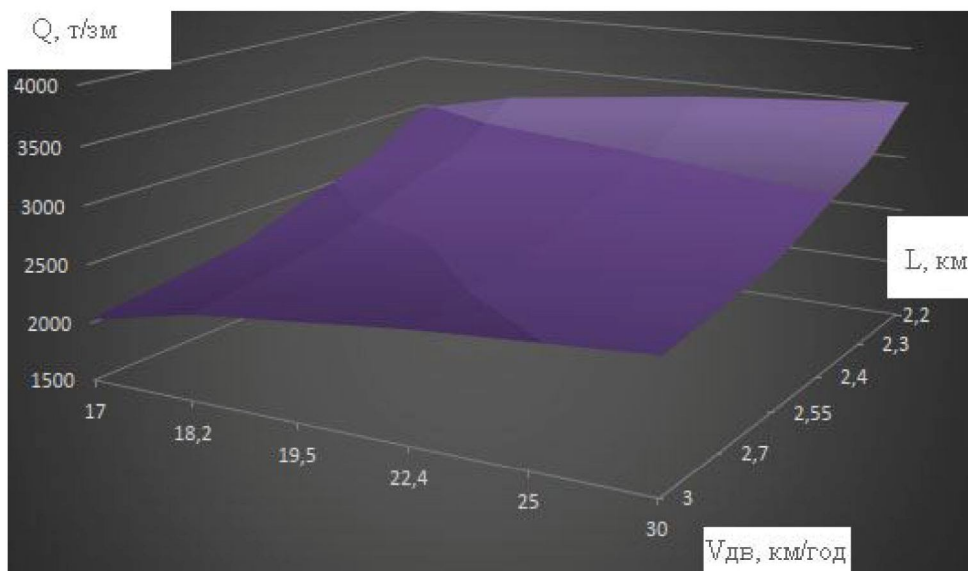


Рисунок 2.12. Графічний вид залежності продуктивності самоскидів САТ-777, НД-785 від відстані транспортування та швидкості руху

Дослідження отриманих залежностей показали зростання продуктивності при зменшенні відстані транспортування та підвищенні швидкості руху самоскида.

Двофакторні залежності спільного впливу відстані транспортування гірничої маси та часу на операції на продуктивність автосамоскида

Графічний вид залежностей спільного впливу відстані транспортування гірничої маси та часу на навантажувально-розвантажувальні операції на продуктивність автосамоскида представлений на рис. 2.13 – 2.15.

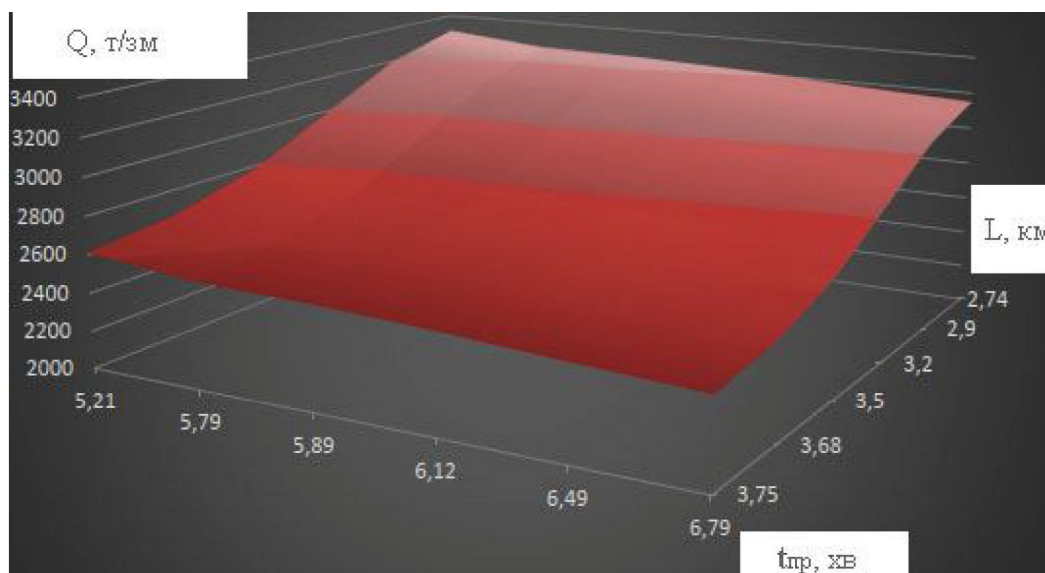


Рисунок 2.13. Графічний вид залежності продуктивності самоскида БелАЗ–75145 від відстані транспортування та часу навантажувально-розвантажувальних операцій

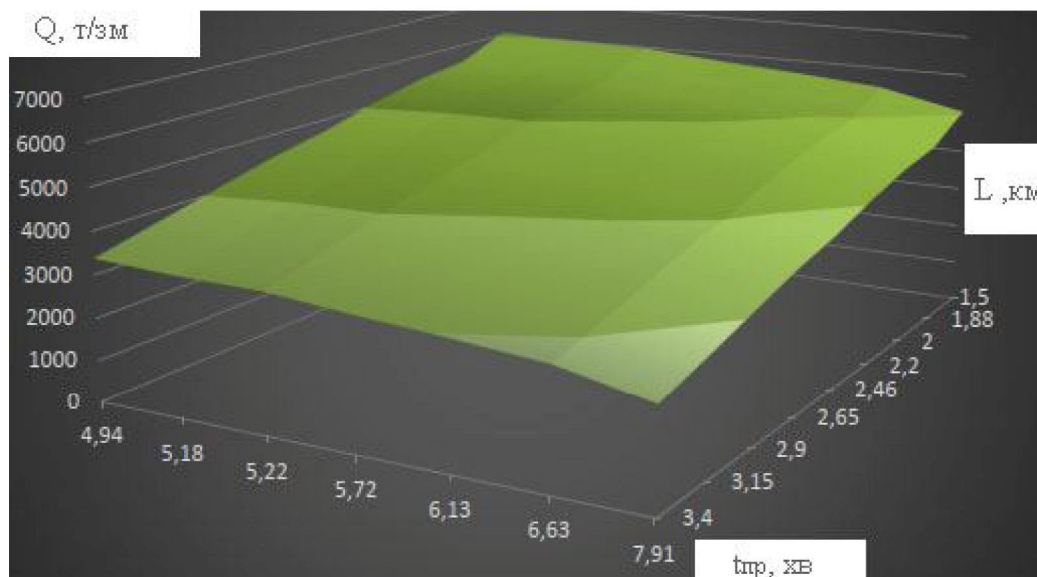


Рисунок 2.14. Графічний вид залежності продуктивності самоскида БелАЗ–75131 від відстані транспортування та часу навантажувально-розвантажувальних операцій

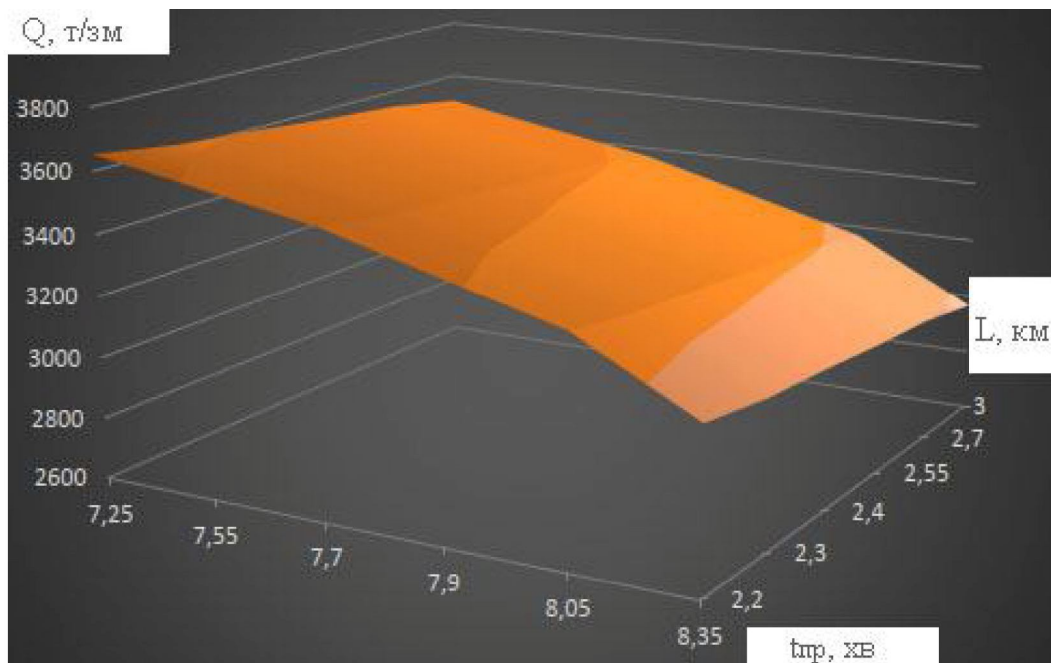


Рисунок 2.15. Графічний вид залежності продуктивності самоскидів САТ–777, НД–785 від відстані транспортування та часу навантажувально-розвантажувальних операцій

Дослідження отриманих моделей показало зворотню залежність продуктивності самоскида від відстані транспортування та часу, що витрачається на навантажувально-розвантажувальні операції: при підвищенні аналізованих факторів спостерігається зниження продуктивності самоскидів [88].

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ.

Виконаний аналіз формування продуктивності автосамоскида, як основного параметра автотранспортного процесу в кар'єрі, показує, що вона визначається безліччю факторів технічного, технологічного та організаційного характеру. Основна сукупність цих факторів визначає годинну та змінну продуктивність.

Чинна методика розрахунку і планування продуктивності кар'єрних автосамоскидів має ряд недоліків. Основними з них є: недостатня надійність через обмежену кількість факторів, що враховуються, і відсутність вихідної інформації для розрахунку продуктивності автосамоскидів.

Аналіз науково-технічних джерел інформації показав, що до теперішнього часу комплексних досліджень, присвячених питанню продуктивності кар'єрних автосамоскидів, проводилося недостатньо. Незважаючи на численні публікації, в тій чи іншій мірі розглядають вплив окремих гірничотехнічних факторів на продуктивність автосамоскидів, деякі аспекти оптимізації та планування цього параметра автотранспортного процесу потребують подальших, більш глибоких досліджень.

Хронометражними спостереженнями встановлено, що основні операції транспортного процесу займають 56-68% змінного часу. Решта зміни припадає на підготовчо-заклучні операції (15-20%), очікування навантаження (18-23%) та простої з організаційних і технічних причин. Скорочення цих витрат часу та підвищення інтенсивності внутрішньозмінної експлуатації технологічних автомобілів може бути забезпечене шляхом організації внутрішньокар'єрних зупинок технологічного автотранспорту для виробництва дрібних ремонтів та щозмінного технічного обслуговування, застосування мобільних заправних станцій, вдосконалення організації навантажувально-транспортного процесу, оптимізації та вдосконалення планування змінної продуктивності автосамоскидів.

Основними факторами, що визначають математичне очікування та дисперсію тривалості для операції руху, є: відстань транспортування, середньозважений ухил, довжина часової частини автодороги та складність

траси в плані; для операції "навантаження" - місткість ковша екскаватора, кусковатість гірничої маси в вибої та середній кут повороту екскаватора.

Для високопродуктивної експлуатації автосамоскидів важливе значення має ефективність їх взаємодії з навантажувальними екскаваторами, яка характеризується тривалістю навантаження та простоїв в очікуванні навантаження, що становлять до 2,5-3,2 години на зміну.

Тривалість навантаження автосамоскидів БелАЗ-7519 (110 т) і БелАЗ-37521 (180 т) екскаватором ЕКГ-8І становить 5-7 хв, що можна порівняти з часом руху навантаженого автосамоскида на відстані 1,0-1,7 км.

Простої в очікуванні навантаження становлять до 18-23% змінного часу. Вони поділяються на три види:

- простої, зумовлені коливанням інтервалів обслуговування та прибуття автосамоскидів; вони становлять до 80% від загальної тривалості простоїв в очікуванні навантаження або до 1,8-3,1 хв на один рейс;
- простої під час зупинки екскаватора;
- простої у початковий період відновлення роботи екскаватора.

Два останні види простоїв при організації робіт за закритим циклом досягають 70 і більше хвилин за зміну; при організації робіт за відкритим циклом вони виключаються.

Продуктивність автосамоскидів вантажопідйомністю 110-180 т може бути підвищена на 14-26%. Для цього необхідне впровадження автоматизованого керування роботою екскаваторно-автомобільних комплексів та забезпечення оптимального поєднання потужностей навантажувального та транспортного обладнання.

На основі висновків можна сформулювати наступні рекомендації відносно подальшого розвитку питання підвищення продуктивності автосамоскидів:

1. Встановити кількісні характеристики та закономірності зміни надійності роботи кар'єрних автосамоскидів протягом зміни.
2. Розробити методику оптимізації та планування змінної продуктивності автосамоскидів на залізрудних кар'єрах.

Бібліографія.

1. Ржевский В.В. Процессы открытых горных работ. - 1978. - 541 с.
2. Журавлев А.Г. Выбор рациональной грузоподъемности карьерных автосамосвалов для конкретных условий транспортирования / А.Г. Журавлев // Транспорт Урала. - 2014. - № 4. - С. 96 - 101.
3. Тарасов П.И. Проблемы магистрального транспортирования руды от удаленных кимберлитовых месторождений / П.И. Тарасов, А.Г. Журавлев, В.А. Черепанов // Горное оборудование и электромеханика. - 2014. - № 5. - С. 25 - 31.
4. Журавлев А.Г. Компьютерное моделирование режимов движения карьерных автосамосвалов с КЭУ / А.Г. Журавлев // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2011. - № 11. - С. 371 - 382..
5. Кулешов А.А. Мощные экскаваторно-автомобильные комплексы карьеров. - Недра, 1980. - 317 с.
6. Сисин А.Г. Методика планирования производительности автосамосвалов БелАЗ-540 на карьерах цветной металлургии / А.Г. Сисин, Ю.Г. Лукин // ТрудыДнипромедь. - 1972, вып. 15, С.3-7.
7. Евсеев В.Н. Автосамосвалы на карьерах / В.Н. Евсеев, А.А. Вареничев // ГИАБ, 2017. - № 8. – С. 30-36.
8. Кулешов А.А. Карьерный автотранспорт: состояние и перспективы / А.А. Кулешов, А.Н. Егоров, И.В. Зырянов, П.Л. Мариев. - СПб.: Наука, 2004. - 429 с.
9. Степанов Б.П. Определение производительности автосамосвалов при оперативном планировании погрузочно-транспортных работ / Б.П. Степанов, В.А. Бабич, Ю.В. Прилучный // Разработка рудных месторождений: Респ. межвед. науч.-техн. сб. - Киев: Техника, 1975, вып. 19. - С. 81-84.
10. Хохряков В.С. Исследование условий эффективного применения мощных автосамосвалов на открытых горных работах. / В.С. Хохряков // Автореф. дис... канд. техн. наук, 1953. - 26 с.

11. Томаков П.И. Структура комплексной механизации карьеров с техникой цикличного действия / П.И. Томаков. - Недра, 1976. - 232 с.

12. Яковенко Б.В. Исследование экскаваторно-автомобильного комплекса при автомобильно-конвейерном транспорте на рудных карьерах / Б.В. Яковенко // Автореф. дис. канд. техн. наук. - Магнитогорск: МШИ, 1967. - 22 с.

13. Анистратов К.Ю. Экономико-математическая модель функционирования предприятия технологического карьерного автотранспорта / К.Ю. Анистратов, В.Я. Стремилев, М.В. Тетерин // Горная промышленность. 2007. - № 2. - С. 16-18.

14. Глебов А.В. Основные принципы формирования автомобильного парка горнодобывающего предприятия / А.В. Глебов, Г.Д. Кармаев // Горное оборудование и электромеханика. - 2010. - № 7. - С. 37-41.

15. Мельников Н.В. Основы поточной технологии открытой разработки месторождений / Н.В. Мельников, К.Е. Виноцкий, М.Г. Потапов. - Наука, 1962. - 175 с.

16. Мельников Н.В. Краткий справочник по открытым горным работам / Н.В. Мельников. - Недра, 1982. - 414 с.

17. Шешко О.Е. Эколого-экономическое обоснование возможности снижения нагрузки на природную среду от карьерного транспорта / О.Е. Шешко // Горный информационноаналитический бюллетень. - 2017. - № 2. - С. 241-252.

18. Спиваковский А.О. Транспортные машины и комплексы открытых горных разработок / А.О. Спиваковский, М.Г. Потапов. - 1974. - 440 с.

19. Тарасов П.И. Сокращение загазованности карьерного пространства при применении новых видов карьерного транспорта / П.И. Тарасов, А.Г. Журавлев, Е.В. Фелелов // Горный информационноаналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2008. - № 2. - С. 260-271.

20. Хохряков В.С. Проектирование и организация работы карьерного автотранспорта / В.С. Хохряков. - Госгортехиздат, 1963. - 167с.

21. Потапов М.Г. Карьерный транспорт / М.Г. Потапов. - М.: Недра, 1980. - 264 с.

22. Степук О.Г. Дизель-троллейвозный транспорт БелАЗ: перспективы использования в горном производстве / О.Г. Степук, А.С. Зуёнок // Горный журнал. - 2013. - № 1. - С. 52-55.

23. Ларин О.Н. Факторный анализ производительности карьерного автотранспорта Сарбайского карьера АО «ССГПО» / О.Н. Ларин, О.Н. Вуейкова // Транспорт: наука, техника, управление. - 2011. - №1. - С. 29-32.

24. Белозерских А.П. Исследование основных условий повышения производительности технологического автотранспорта при обслуживании группы карьеров (на примере карьеров КМА) / А.П. Белозерских // Автореф. дис. канд. техн. наук. - М.: МГИ, 1977. - 24 с.

25. Мариев П.Л. Карьерный автотранспорт: состояние и перспективы / П.Л. Мариев, А.А. Кулешов, А.Н. Егоров, И.В. Зырянов. – СПб.: Наука, 2004. – 429 с.

26. Вуейкова О.Н. Теоретическое обоснование влияния структуры парка автосамосвалов на простои автомобильно-экскаваторных комплексов открытых горнорудных карьеров / О.Н. Вуейкова // Проблемы повышения эффективности технологии и организации перевозок на различных видах транспорта. - Рудный: Рудненский индустриальный институт, СПТКР. - 2013. №3. – С. 192-198.

27. Вуейкова О.Н. Оценка влияния горнотехнических факторов на эксплуатационные параметры карьерных автосамосвалов / О.Н. Вуейкова, О.Н. Ларин // Транспорт: наука, техника, управление. – 2011. - № 7. – С. 34-36..

28. Мун В.С. Исследование вопросов использования автомобилей-самосвалов на перевозках горной массы (на примере карьеров Джекказганского комбината). - Автореф. дис. канд. техн. наук. - Ташкент: ТЛИ, 1969. - 24 с.

29. Репин Н.Я. К.определению производительности автосамосвалов при перевозке скальных пород на разрезах / Н.Я. Репин, А.Я. Ташкинов, В.М. Семенычев // Разработка угольных месторождений открытым способом: Межвузов.сб. – 1975. - вып. 3. - С.177-183.

30. Ромашкин И.П. Математическая модель погрузочно-транспортного процесса в карьерах с автотранспортом / И.П. Ромашкин // Изв. вузов. Горн. журн. – 1967. - № 8. - С. 22-26.

31. Сорокин Л.А. Приведение показателей работы карьерного транспорта к сопоставимым условиям / Л.А. Сорокин // Изв. вузов. Горн. журн. – 1971. - №.5. – С.116-120.

32. Вуейкова О.Н. Вопросы повышения эффективности работы карьерного автотранспорта / О.Н. Вуейкова, О.Н. Ларин // Вестник ОГУ. – 2011. - № 10 (129). - С. 20-25.

33. Дадонов М.В. Повышение эффективности работы карьерного автомобильного транспорта методами и средствами оперативного управления / М.В. Дадонов // Дис. канд. техн. наук. - Кемерово, 1999. - 189 с.

34. Яковлев В.Л. К дифференцированному учету горнотехнических условий при проектировании карьерного транспорта / В.Л. Яковлев // Труды. – 1980. - вып. 62. - С. 6-10.

35. Бишон Т.С. Автомобильный транспорт / Т.С. Бишон // Открытые горные работы: Труды Американского ин-та горн. инж. металлургов и нефтяников. – 1971. - С. 243-260.

36. Васильев М.В. Оценка эффективности применения автомобилей МоАЗ-522А на железорудных карьерах / М.В. Васильев, В.П. Смирнов, А.А. Котяшев, В.С. Торгов - Труды. – 1970. - Вып.31. - С. 35-39.

37. Кулешов А.А. Эффективность эксплуатации большегрузного карьерного автотранспорта. - Горн. журн. - 1973, № 11. - С. 20-25.

38. Сироткин З.Л. Пути повышения эффективности использования большегрузных автомобилей на карьерах / З.Л. Сироткин, А.Н. Казарез // Горный журнал. – 1968. - № 8. - С. 34-38.

39. Ларин О.Н. Факторный анализ производительности карьерного автотранспорта Сарбайского карьера / О.Н. Ларин, О.Н. Вуейкова // Транспорт: наука, техника, управление. – 2011. - № 1. – С. 29-32.

40. Котяшев А.А. Исследование условий эксплуатации и эффективности применения дизель-электрических автосамосвалов на железорудных карьерах / А.А. Котяшев // Дис. канд. техн. наук. - 1974. – 204 с

41. Вуейкова О.Н. Моделирование работы автомобилей в карьерах / О.Н. Вуейкова, О.Н. Ларин, В.И. Куватов // Транспорт: наука, техника, управление. - 2013. № 3. - С. 49-52.

42. Вуейкова О.Н. Моделирование работы автомобильно-экскаваторных комплексов при перевозке горнорудной массы в карьерах / О.Н. Вуейкова, О.Н. Ларин, В.И. Куватов // Транспорт Урала. - 2013 - № 1 (36). - С. 20-24.

43. Мариев П.Л. Карьерный автотранспорт: состояние и перспективы / А.А. Кулешов, А.Н. Егоров, И.В. Зырянов. – СПб.: Наука, 2004. – 429 с..

44. Васильев М.В. Рациональный срок службы большегрузных карьерных автосамосвалов / М.В. Васильев, В.М. Попов, А.А. Бобылев // Цветная металлургия: Науч.-техн.бюл., 1973. - № 6. - С. 50-53.

45. Попов В.М. Исследование влияния срока службы на технико-экономические показатели работы автомобилей большой грузоподъемности / В.М. Попов, А.А. Бобылев // Труды. – 1968. – Вып.30. - С. 77-80.

46. Кольга А.Д. Возможности использования автосамосвалов в составе карьерных автопоездов на открытых горных работах / А.Д. Кольга, И.Н. Столповских, Е.В. Московка, М.И. Ахметова // Горный журнал Казахстана, Алматы. – 2016. - №2. – С. 25-27.

47. Альтшулер В.М. Оптимизация сроков службы карьерных автооамосвалов / В.М. Альтшулер, А.В. Биденко, А.Н. Казарез // Пром. Транспорт. – 1974. - № 10. - С. 12-14.

48. Потапов М.Г. О целесообразном сроке службы карьерных автосамосвалов / М.Г. Потапов, В.М. Альтшулер, З.Л. Сироткин, А.Н. Казарез // Горн.журн. – 1972. - № 5. – С. 47-49.

49. Котяшев А.А. Режим работы большегрузного . автотранспорта в Сарбайском карьере / А.А. Котяшев, Ю.И. Лель, П.И. Тарасов // Труды. – 1978. - Вып. 56. - С. 23-27.

50. Смирнов В.П. Исследование параметров и области применения новых отечественных автотранспортных средств в условиях рудных карьеров / В.П. Смирнов // Дис. канд. техн. наук. - 1968. - 160 с.

51. Окользин Е.П. Исследование исходных данных для построения математических моделей погрузочно-транспортного процесса на карьерах нерудных строительных материалов / Е.П. Окользин, М.А. Лебедев, Т.М. Лутай // Труды. – 1972. - Вып. 33. - С. 92-107.

52. Васильев М.В. Автомобильный транспорт карьеров / М.В. Васильев, З.Л. Сироткин, В.П. Смирнов. - 1973. - 281 с.

53. Безбородова Г.Б. Моделирование движения автомобилей / Г.Б. Безбородова, В.Г. Галушко. - Киев: Вища школа, 1978. - 168 с.

54. Гойзман Э.И. Моделирование производственных процессов в шахтах / Э.И. Гойзман. - 1977. - 192 с.

55. Смирнов В.П. Использование теории эксперимента в исследованиях карьерного автотранспорта / В.П. Смирнов, А.А. Котяшев, Ю.И. Лель // Труды. – 1979. - Вып.60. – С. 28-34.

56. Потапов М.Г. Некоторые вопросы оценки схем транспортирования в карьерах / М.Г. Потапов, А.Н. Комраков // Научные основы технологии открытых горных работ. - Наука, 1969. - С.144- 152.

57. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем / Н.П. Бусленко. – Наука. – 1968. – 297 с.

58. Новожилов М.Г. Использование теории массового обслуживания при анализе совместной работы погрузочно-транспортного оборудования на карьере / М.Г. Новожилов, В.И. Прокопенко, В.Г. Селянин, Г.Д. Пчелкин - Изв. Вузов. Горн.журн. – 1968. - №2. - С. 51-58.

59. Ржевский В.В. Операционные исследования открытых разработок / В.В. Ржевский, С.С. Резниченко, В.В. Хронин, К.С. Попов. - 1968. - 194 с.

60. Пязок Р.А. Применение метода Монте-Карло при планировании работы карьерного автотранспорта / Р.А. Пязок, М.Г. Рябовый // Труды Таллин. политехн. ин-т. - Таллин, 1970. - Вып. 287. - С. 53-59.

61. Котяшев А.А. Исследование эксплуатации большегрузных автосамосвалов на глубоких горизонтах Ингулецкого карьера / А.А. Котяшев, Ю.И. Лель, Ю.В. Стенин Труды. - 1980. - Вып. 62. - С. 52-58.

62. Матюнин И.Е. О типах распределений в транспортно-грузовых потоках / И.Е. Матюнин, Ю.А. Катькало // Пром. Транспорт. – 1977. - № 12. - С. 16-17.

63. Балута А.М. Пути повышения эффективности использования карьерного автотранспорта / А.М. Балута, М.А. Резников, В.И. Вихров // Киев: УкрНИИТИ, 1971. - 23 с.

64. Томаков П.И. Применение аналитических функций распределения случайных величин при моделировании взаимодействия горного и транспортного оборудования / П.И. Томаков, Н.Т. Алексеева, М.И. Варийчук // Добыча угля открытым способом. - 1968. - №4. - С. 41-44.

65. Васильев М.В. Научные основы проектирования карьерного транспорта / М.В. Васильев, В.Л. Яковлев. – Наука. - 1972. - 202 с.

66. Дороненко Е.П. К методике определения параметров автосамосвалов при их работе с экскаваторами / Е.П. Дороненко, К.Н. Серебренников // Труды. – 1964. - Вып. 9. – С. 95-100.

67. Анистратов Ю.И. Рациональная степень дробления горной массы на карьерах с автомобильным транспортом / Ю.И. Анистратов, Н.И. Жабин // Горный журнал. – 1969. - №1. - С. 36-38.

68. Воловиков Г.Я. Влияние кусковатости взорванных пород на производительность карьерных автосамосвалов и себестоимость автомобильных перевозок / Г.Я. Воловиков, Ю.Г. Налбандянц // Изв.вузов. Горн.журн. – 1972. - № 4. – С. 99-104.

69. Друкованный М.Ф. Влияние дробления пород на эффективность технологических процессов открытой разработки / М.Ф. Друкованный, Б.Н.

Тартаковский, В.С. Вишняков, Э.И. Ефремов - Киев: Наук. думка, 1974.- 268 с.

70. Полщук А.К. Разработка месторождений грудной карьеров в системе комбината / А.К. Полщук, К.Г. Полщук, А.М. Михайлов. - 1975. - 200 с.

71. Казарез А.Н. Исследование работоспособности и основные вопросы эксплуатации автомобилей-самосвалов БелАЗ-549 / А.Н. Казарез, А.А. Баталенко // Горный журнал. – 1973. -№5. - С. 9-11.

72. Маслов В.П. Определение сменного резерва рабочего парка автосамосвалов / В.П. Маслов, В.Т. Митьковский, Ю.А. Королев // Добыча угля открытым способом. - 1978. - №8. - С. 7-10.

73. Сироткин З.Л. Повышение надежности карьерных автомобилей-самосвалов БелАЗ / З.Л. Сироткин, А.Н. Казарез // Горный журнал. – 1973. - №5. - С. 5-8.

74. Трусий В.Т. Эксплуатационная надежность автосамосвалов БелАЗ-548А / В.Т. Трусий, Г.Г. Коваленко // Добыча угля открытым способом. – 1975. - №11. - С. 18-19.

75. Шконда К.В. Планирование производительности карьерного автотранспорта с учетом износа парка машин / К.В. Шконда, Б.К. Оводенко // Горный журнал. – 1973. - № 10. - С. 11-13.

76. Яковенко Б.В. Статистическая оценка надежности карьерных автосамосвалов / Б.В. Яковенко, В.М. Цыганов, Э.Б. Забелло // Труды. – 1970. - Вып. 30. - С. 156-161.

77. Оптнер С.Л. Системный анализ для решения деловых и промышленных проблем / Оптнер С.Л. - 1969. - 216 с.

78. Шешко Е.Ф. Основы проектирования карьеров / Е.Ф. Шешко, В.В. Ржевский // Углетехиздат. - 1958. - 355 с.

79. Ржевский В.В. Научные основы проектирования карьеров / В.В. Ржевский. - 1977. - 598 с.

80. Веницкий К.Е. Оптимизация технологических процессов на открытых горных разработках / К.Е. Веницкий. - 1976. - 280 с.

81. Яковлев В.Л. Особенности системного подхода к оптимизации параметров транспортных схем рудных карьеров / В.Л. Яковлев // Труды . – 1976. - Вып. 50. - С. 22-27.

82. Астафьев Ю.П. Принципы функционирования карьера как технической системы / Ю.П. Астафьев // Труды. – 1971. - Вып. 3. - С.242-247.

83. Гончаров О.М. Исследование организационной взаимосвязи звеньев с целью повышения эффективности управления системой "карьер" / О.М. Гончаров, Н.А. Рыженков // Автоматизированные системы управления горным производством. – 1974. - С. 26-29.

84. Астахова Т.В. Повышение долговечности рам карьерных автосамосвалов на основе исследования напряженно-деформированного состояния / Т.В. Астахова // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. - 2007. – 208с.

85. Вуейкова О.Н. Обоснование рациональной структуры автомобильно-экскаваторного комплекса открытого горнорудного карьера: диссертация кандидата технических наук / О.Н. Вуейкова // О.Н. Вуейкова. – 2013. – 57-80 с.

86. Курицкий Б.Я. Поиск оптимальных решений средствами Excel 7.0 / Б.Я. Курицкий // СПб.: ВНУ. - 1997. – 384 с.

87. Вуейкова О.Н. Исследование функциональных зависимости эксплуатационных параметров карьерных самосвалов от горнотехнических факторов / О.Н. Вуейкова // Проблемы и перспективы развития Евроазиатских стран: сб. докладов трет. междунар. научно-практ. конференции. - 2011. – С. 55–61.

88. Вуейкова О.Н. Исследование параметров влияния на производительность карьерного автотранспорта на примере Сарбайского карьера / О.Н. Вуейкова // Алдамжаровские чтения – 2010: сб. докладов междунар. научно-практ. конференции. – Костанай, 2010. – С. 48–56.