

Максимова О.С., Максимов С.В., Потапенко В.В.  
*Криворізький національний університет*

## ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ГАЛУЗЕВОЇ ЦЕНТРАЛІЗАЦІЇ РЕМОНТІВ І ОБСЛУГОВУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО АВТОТРАНСПОРТУ НА ЗАЛІЗОРУДНИХ КАР'ЄРАХ

У роботі обґрунтовано та формалізовано критерій визначення оптимального рівня централізації проведення поточних ремонтів і технічного обслуговування технологічного автотранспорту залізрудних кар'єрів. Встановлено форми функціонального зв'язку та отримано аналітичні залежності між величиною витрат на технічне обслуговування і ремонт кар'єрних автосамоскидів. Визначено залежність між надійністю машин і часом їх роботи для забезпечення плану технологічних перевезень гірничої маси у випадках, коли такі ремонти виконуються власними силами або шляхом використання фірмового чи сервісного обслуговування на спеціалізованих підприємствах з індустріальними методами. Це дає змогу визначити рівень галузевої централізації робіт із технічного обслуговування й ремонту кар'єрного автотранспорту, що дозволяє мінімізувати питомі експлуатаційні витрати на одиницю транспортної роботи.

Для вирішення поставлених завдань використано методи техніко-економічного, кореляційно-регресійного, факторного та ситуаційного аналізу (для дослідження процесів організації ремонтів кар'єрних автосамоскидів на гірничодобувних підприємствах або в мережі сервісних центрів); методологію оптимального управління, що забезпечує економіко-математичну формалізацію складових моделі визначення рівня галузевої централізації ремонтів технологічного автотранспорту відповідно до умов його експлуатації; метод порівняльного економічного аналізу (для оцінки економічної ефективності запропонованої моделі перерозподілу коштів, що виділяються на відновлення працездатності кар'єрних самоскидів).

Розраховано оптимальний рівень централізації технічного обслуговування і ремонтів кар'єрних автосамоскидів вантажопідйомністю 130 т для перевезення гірської маси в залізрудних кар'єрах, а також обґрунтовано можливість забезпечення планового часу їх роботи на технологічних перевезеннях.

**Ключові слова:** транспортний комплекс залізрудного кар'єру, витрати на ремонт, ремонти власними силами, ремонти силами спеціалізованих організацій, статистичні методи контролю та управління.

### ВСТУП

Більшість діючих залізрудних комбінатів України були збудовані понад 60 років тому. При цьому річний видобуток руди відповідно до технології її переробки залишається майже незмінним протягом усього періоду експлуатації, з незначними коливаннями залежно від попиту на сировину. Основним видом технологічного автотранспорту, що використовується для перевезень у залізрудних кар'єрах України, є автосамоскиди «БелАЗ», парк яких в останні роки поповнюється найпопулярнішими моделями гірничої техніки – автосамоскидами «Caterpillar».

Для технічного обслуговування та ремонту цієї техніки на кожному гірничозбагачувальному комбінаті була створена виробничо-технічна база, розрахована на обслуговування автосамоскидів вантажопідйомністю 35–50 т у кількості 150–200 машин (у середньому 5–7 одиниць на 1 млн. т перевезеної гірничої маси при обсягах перевезень від 30 до 60 млн. т). У таких цехах виконували повний комплекс робіт (окрім капітального ремонту) для підтримання рухомого складу у працездатному стані, а їхня загальна площа сягала 8–12 тис. м<sup>2</sup>.

З часом вантажопідйомність кар'єрних автосамоскидів зростає до 130–220 т, тоді як загальна чисельність технологічних машин скоротилася до 25–40 одиниць, при практично незмінних параметрах гірничотранспортних цехів. На сьогодні, вони використовуються лише на 10–20% від проектної потужності. Практично на кожному кар'єрі спостерігається неефективне використання технологічного обладнання таких ГТЦ, оскільки виробничі дільниці з ремонту вузлів і агрегатів, хоч і оснащені відповідно до технологічних потреб, залишаються майже не завантаженими роботою. Персонал виконує переважно нерегулярні відновлювальні ремонти, що негативно позначається на їхній якості.

Показники роботи технологічного автотранспорту на найбільшому у Кривому Розі Інгулецькому гірничо-збагачувальному комбінаті наведено в табл. 1. За основу аналізу взято найбільш стабільний період перед початком широкомасштабної війни – 2020–2021 рр.

Таблиця 1 Показники роботи технологічного автотранспорту ПрАТ «Інгулецький ГЗК»

№ з/п	Показник	Рік			
		2020		2021	
		факт	%	факт	%
1	Середньооблікова кількість великовантажних автосамоскидів, од.	52,0		57,4	
2	Перевезено гірничої маси, тис.т	50667,3	-	60577,3	-
3	Час в господарстві, авто-год.	456768	-	491923	-
4	Час в наряді, авто-год.	290003	-	324538	-
5	Простої всього, авто-год.	166765	100	177285	100,0
6	Планові простої, авто-год.	160557	96,3	154302	87,0
	- в ремонті	63677	38,2	81104	45,7
	- в очікуванні ремонту	1464	0,9	4368	2,5
	- регламентовані перерви	43 722	26,2	43 650	24,6
	- інші планові простої	51 694	31,0	25 180	14,2
7	Непланові простої, авто-год.	6 208	3,7	22 983	13,0
8	Коефіцієнт технічної готовності	0,711	-	0,772	-
9	Коефіцієнт використання обладнання	0,635	-	0,640	-

Проектне значення коефіцієнта технічної готовності рухомого складу визначається нормами простою для кожного виду технічних впливів (ТО, ПР та КР) та періодичністю їх проведення, передбаченою «Положенням про технічне обслуговування, діагностування й ремонт кар'єрних самоскидів БЕЛАЗ» [4]:

$$\alpha_T = \frac{1}{1 + \left( \frac{t_{ПРi}}{t_{Hi}} \right)}, \quad (1)$$

де  $t_{ПРi}$  – час простою кар'єрного самоскида на  $i$ -му виді технічного обслуговування або ремонтів, год.;  $t_{Hi}$  – норма пробігу до  $i$ -го виду технічного обслуговування або ремонту, мото-год.

Для автосамоскидів вантажопідйомністю 130-136 т, що є основою рухомого складу ІнГЗК, проектне значення КТГ буде складати:

$$\alpha_T = \alpha_s = \frac{1}{1 + \left( \frac{t_{ПРi}}{t_{Hi}} \right)} = \frac{1}{1 + \left( \frac{5}{250} + \frac{14}{500} + \frac{19}{1000} + \frac{100}{5000} + \frac{170}{10000} + \frac{9,5}{100} \right)} = 0,836$$

Як свідчать дані аналізу, тривалість робіт з технічного обслуговування та ремонтів кар'єрних автосамоскидів перевищувала передбачені регламентом показники на 76,2% у 2020 році та на 39,0% у 2021 році.

Крім того, значна частина рухомого складу перебувала у простої: через регламентовані перерви – 26,2% та 24,6%, а також через нерегламентовані простої – 3,7% та 13,0% відповідно за аналізованими роками. У результаті загальний час корисного використання технологічного автотранспорту становив лише 63,5% та 64,0% від календарного фонду часу роботи при безперервному режимі роботи кар'єру.

Таким чином, існують значні резерви підвищення ефективності роботи технологічного автотранспорту залізрудного кар'єру як шляхом удосконалення системи його технічного обслуговування і ремонтів, так і завдяки покращенню загальних умов організації виробничого процесу.

#### АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Незадовільна організація ремонтного обслуговування, виконання ремонтних робіт у неповному обсязі та з низькою якістю є однією з основних причин аварійних виходів устаткування з ладу [7]. Підприємства залізрудної промисловості щороку недоотримують понад 1 млн. т залізної руди через аварійні простої кар'єрного устаткування. За нашими розрахунками, скорочення простоїв під час

ремонтів до нормативного рівня на одному гірничорудному підприємстві може забезпечити додатковий обсяг продукції більш як на 4,8 млн.грн на рік [4]. Ці втрати є відчутними, і завдання їх зниження значною мірою залежить від раціоналізації ремонтного виробництва.

Між показниками витрат в основному виробництві та витратами на ремонтне обслуговування існує тісний взаємозв'язок, який був предметом досліджень багатьох учених. Встановлено, що зі збільшенням витрат на ремонти скорочується обсяг витрат, викликаний експлуатацією несправного устаткування, простоями внаслідок аварій чи очікуванням ремонтних робіт [2]. Графічно таке співвідношення виражається монотонно спадної функції з асимптотичним наближенням залежної змінної до деякого рівня, притім тільки при нескінченно великих значеннях аргументу. Це означає, що повністю ліквідувати втрати можливо лише за умов надмірно високих витрат на ремонти, оскільки кожний наступний приріст таких витрат призводитиме до дедалі меншого скорочення виробничих витрат.

Процес зростання витрат на ремонти обладнання має критичну точку, після перевищення якої подальше збільшення витрат не забезпечує пропорційного скорочення витрат. Цю залежність доцільно розглядати як баланс, у якому врівноважуються витрати на ремонти та відповідні їм втрати основного виробництва, спричинені порушенням нормального функціонування устаткування.

Таким чином, баланс витрат на ремонти вважається економічно ефективним лише тоді, коли їх приріст ( $\Delta Z$ ) не перевищує досягнутого при цьому скорочення витрат у основному виробництві ( $\Delta B$ ), тобто за умови виконання нерівності:

$$[\Delta Z / \Delta B] \leq 1. \quad (2)$$

Можна виділити три етапи формування рівня річних витрат на ремонт устаткування та визначити напрямки підвищення ефективності ремонтного виробництва.

До першого відноситься сфера виробництва знярядь праці (їх проектування та виготовлення). На цьому етапі, аналізуючи конструктивні можливості машини, матеріалів і технологій її виробництва, можна оцінити потенційну величину майбутніх затрат на ремонти. На цій стадії можна управляти функцією затрат на ремонти - змінюючи параметри машини, поліпшуючи її ремонтпридатність, здійснюючи оптимізацію міжремонтних періодів шляхом регулювання термінів служби елементів машини та збільшуючи або зменшуючи їхню надійність.

До другого етапу, що визначає величину річних ремонтних витрат, відноситься сфера експлуатації устаткування, зайнятого в основному технологічному процесі. Величина витрат, в даному випадку, залежить від таких техніко-економічних умов, як: ступінь зношеності машин і устаткування; вікового складу засобів праці; гірничо-геологічних і технологічних умов їхньої роботи; досвіду й кваліфікації персоналу, що експлуатує устаткування; наукової організації праці й культури виробництва тощо.

Зниження витрат на ремонти у цих умовах залежить, в основному, від прийнятих технологічних схем організації основного виробництва, можливостей заміни устаткування та ступеня підготовленості обслуговуючого персоналу.

Третім, основним етапом формування величини витрат на ремонт і утримання устаткування, є сама сфера ремонтного виробництва. В результаті підвищення ефективності ремонтів машин і обладнання, може бути отримана значна економія матеріальних, трудових і грошових ресурсів. Однак, існуючі заходи щодо підвищення технічного рівня й збільшенню виробничих потужностей ремонтних підрозділів і спеціалізованих заводів носять обмежений, місцевий характер.

На величину витрат у ремонтному виробництві, при сформованому технічному рівні впливає форма організації ремонтного обслуговування. Організація ремонтного виробництва дозволяє ефективно об'єднати працівників, засоби праці й предмети праці в єдине ціле, підвищити якість їх використання, перетворюючи з розрізнених факторів виробництва в єдину продуктивну силу.

Щодо необхідності підвищення ефективності ремонтного виробництва зазначає багато науковців, що присвятили свої праці питанням ремонту [1, 3, 5, 9]. Єдиною методикою цих досліджень є визначення для кожної конкретної моделі машин функціональної залежності

експлуатаційних витрат від часу  $B = f(t)$ , яка використовується для всіх можливих моделей вдосконалення рівня організації ремонтного виробництва. Характер зміни такої залежності поширюється на весь планований період експлуатації машин даної моделі. При цьому не враховується, що зміна організаційних умов експлуатації й ремонту обладнання впливає на темп приросту ремонтно-експлуатаційних витрат та на те, якому рівню організації ремонтного

виробництва (централізації, спеціалізації або концентрації) відповідає крива. Проведені дослідження показали можливість різкого (східчастого) зниження рівня таких витрат, що виникає при переході від індивідуальних методів ремонту до ремонту машин в умовах спеціалізованих підприємств.

На сьогодні рівень організації ремонтного виробництва значно відстає від рівня організації виробництва машин і обладнання. Якщо в машинобудуванні широко використовується великосерійне виробництво, потокові лінії, то в ремонтних службах через малий обсяг ремонтів при децентралізованій формі їхньої організації дотепер переважають кустарні, індивідуальні методи ремонтних робіт.

Найбільш прогресивним формам організації ремонтних робіт, зокрема застосуванню сервісного ремонту, відповідають ідеальні умови ремонтного виробництва, що характеризуються найменшими витратами на ремонт і експлуатацію обладнання та найменшими темпами їхнього збільшення [4, 6, 8]. Подальше зниження рівня витрат обмежується тільки надійністю елементів і досконалістю конструкції машини.

### **ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ**

До початку сімдесятих років двадцятого століття на гірничорудних підприємствах України децентралізована форма організації ремонтів технологічного обладнання була загальноприйнятою. Ремонтні роботи вимагали залучення великої кількості робітників високої кваліфікації. Усе це, природно, призводило до постійного зростання матеріальних і трудових витрат, що відволікалися на ремонтні роботи.

З метою підвищення ефективності ремонтних робіт і створення умов для розвитку централізації й спеціалізації ремонтів на початку 70-х років почали створюватися спеціалізовані ремонтні підприємства. Вони відіграли позитивну роль, звільнивши частину робітників, зайнятих ремонтом обладнання, підвищивши якість ремонтів, забезпечивши спеціалізацію у виробництві запасних частин і виконанні капітальних ремонтів.

Набуття незалежності Україною на початку дев'яностих років та пов'язана з цим економічна криза призвели до втрати більшістю підприємств своїх оборотних коштів, а відповідно — і можливості оплачувати послуги з ремонту технологічного обладнання стороннім організаціям. Це порушило сталу систему індустріального ремонту технологічного обладнання гірничорудних підприємств. Вижили лише ті нечисленні ремонтні підприємства, без продукції яких існування гірничорудної галузі було неможливим.

Спеціалізований або фірмовий ремонт технологічного автотранспорту на гірничорудних підприємствах України почав відроджуватися у 2010 році, коли виробник техніки БЕЛАЗ – ВАТ «Білоруський автомобільний завод» створив мережу сервісних центрів ТОВ «БЕЛАЗ СЕРВІС Україна» для забезпечення технічного сервісу продукції БЕЛАЗ, що експлуатується у споживачів. В Криворізькому залізничному басейні воно було представлено товариством з обмеженою відповідальністю «КРИВБАС-БЕЛАЗ-СЕРВІС СП», що спеціалізується на поставках оригінальних запасних частин торговельної марки «БЕЛАЗ» і наданню сервісних послуг з ремонту й технічному обслуговуванню кар'єрної техніки на підвідомчій території.

Всі ремонтні роботи виконуються з використанням оригінальних запасних частин по технічній документації заводів-виготовлювачів на атестованих робочих місцях, відповідно до вимог нормативно-технічної документації й діючих стандартів, з наданням гарантійних зобов'язань.

Європейський Союз Постановою Ради ЄС 2021/997 від 21 червня 2021 року про обмежувальні міри щодо Білорусі, включив «БЕЛАЗ» у список підсанкційних осіб, після чого робота «КРИВБАС-БЕЛАЗ-СЕРВІС СП» почала згортатися. У 2021 році підприємством було отримано чистого прибутку у розмірі 89483,0 тис грн. при чисельності працівників у 131 особу, а у 2024 році «КРИВБАС-БЕЛАЗ-СЕРВІС СП» вже отримало збиток у розмірі 1378,5 тис.грн з чисельністю персоналу у 12 осіб.

Сьогодні основними партнерами по ремонту і технічному обслуговуванню вузлів і агрегатів кар'єрних автосамоскидів «БЕЛАЗ» є такі підприємства, як ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», Дизельний завод, ПрАТ «Криворізький завод гірничого обладнання» (ПрАТ «КЗГО»), ТОВ «НВП «ГРМАШ», ТОВ «БЕЛАЗУКРРЕМСЕРВІС», ПрАТ «ЕЛЕКТРОЗАВОД», ПрАТ «ЕЛЕКТРОМАШПРОМСЕРВІС» та ін.

Ідея централізації та спеціалізації робіт у будь-якому її прояві сьогодні відображає загальний дух організаційних та технічних перетворень у ремонтному виробництві. Виникає необхідність наукового обґрунтування оптимального співвідношення між роботами, виконаними господарським і

підрядним способом, рівнем централізації ресурсів та темпами розвитку спеціалізованих ремонтних підрозділів.

Постановка питання про досягнення саме оптимального (раціонального) рівня централізації не є випадковою. Прагнення максимально використати переваги спеціалізації — передові технології ремонтних робіт, сучасне обладнання, висококваліфіковані кадри — зустрічає опір як об'єктивного, так і суб'єктивного характеру.

До об'єктивних чинників належать:

- наявність непланових (аварійних) ремонтів, для виконання яких підприємство має утримувати власний штат ремонтних робітників;
- роботи з технічного обслуговування та налагодження, для яких свідомо недоцільно залучати працівників спеціалізованих ремонтних підприємств.

Аналіз рівня централізації ремонтних робіт на гірничо-збагачувальних комбінатах Кривого Рогу, що визначається співвідношенням обсягів ремонтів, виконаних різними організаційними способами (табл. 2), свідчить про значні коливання показника — від 23,5 % на ПрАТ «Центральний ГЗК» до 39,0 % на ПрАТ «Північний ГЗК».

Аналіз виконання робіт з технічного обслуговування та ремонтів технологічного автотранспорту на ПрАТ «Інгулецький ГЗК» (ІНГЗК) наведено у табл. 2.

Таблиця 2 Аналіз результатів ремонтів і обслуговування технологічного автотранспорту ПрАТ «ІНГЗК»

№ з/п	Показник	Рік			
		2020		2021	
		факт	%	факт	%
1	Середньооблікова чисельність штатних робітників	815	100,0	812	100,0
	З них:	237	29,1	272	33,5
	- водії БЕЛАЗ				
	- машиністи бульдозерів в кар'єрі	99	12,1	110	13,5
	- ремонтна група	368	45,2	328	40,4
	- керівники, спеціалісти та службовці	108	13,3	102	12,6
2	Фонд заробітної плати ремонтників, тис.грн	52433,4	41,8	56842,2	35,4
3	Вартість запчастин і матеріалів для ремонтів і технічного обслуговування, тис.грн	43424,6	34,6	55801,6	34,7
4	Всього вартість поточних ремонтів і технічного обслуговування, тис.грн	125482,1	100,0	160597,9	100,0
5	У тому числі:	95858,0	76,4	112644,8	70,1
	- власними силами				
	- послуги сторонніх організацій	29624,1	23,6	47953,1	29,9
6	Коефіцієнт централізації ремонтних робіт, %	23,6	-	29,9	-

Як бачимо, зростає вартість робіт з підтримання рухомого складу в працездатному стані. Темп зростання вартості робіт виконаних централізованим способом поступово перевищують темп зростання ремонтних робіт виконаних власними силами.

Основним джерелом зниження витрат в ремонтному виробництві є обґрунтування раціонального рівня централізації ремонтних робіт при умові забезпечення заданої надійності роботи рухомого складу – планового часу його роботи на технологічних перевезень.

### РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

При розв'язанні задачі визначення оптимального рівня централізації ремонтів, велике значення має вибір форми функціонального зв'язку між результатами ремонтних робіт і витратами на ремонти, що викликали їх. Найбільш повно ця залежність описується, на нашу думку, виробничою функцією виду CES:

$$Y = a_0 \cdot \left( a_1 \cdot X_1^{-\beta} + a_2 \cdot X_2^{-\beta} \right)^{-1/\beta}, \quad (3)$$

де  $Y$  - результати ремонтних робіт, що дорівнюють плановій кількості технологічного

обладнання, максимально можливий час роботи якого забезпечено в результаті виконання ремонтів, тис.авто-год.;  $X_1$  – вартість ремонтів, що виконуються господарським способом, тис.грн.;  $X_2$  – вартість ремонтів, що виконуються підрядним способом, тис.грн.;  $a_1, a_2, a_0$  - параметри функції.

Перевага багатофакторної функції типу CES для аналізу результатів ремонтного виробництва полягає в тому, що вона добре узгоджується з фактичними змінами результатів ремонтних робіт залежно від способів їх виконання. Так, при рівності одного з видів витрат — централізованого або децентралізованого ремонту — нулю, функція набуває лінійного вигляду щодо іншого виду витрат. При спільній дії витрат функція має нелінійний характер. Зі зростанням одного з видів витрат вона монотонно збільшується, причому темп зростання сповільнюється, і намічається тенденція наближення до певного рівня, коли функція знову стає лінійною. Аналогічно, на практиці при використанні одного з видів обслуговування витрати зростають прямо пропорційно зростанню парку обслуговуваного устаткування. Застосування змішаного виду ремонтів підвищує ефективність ремонтних робіт, знижуючи величину витрат праці на одиницю отриманого результату.

Обрана функція нелінійна щодо своїх параметрів, що ускладнює їх розрахунок і не дозволяє, зокрема, застосувати звичайний метод найменших квадратів. Нами запропоновано спосіб оптимізації параметрів функції типу CES у межах передбачуваного інтервалу їх зміни, що забезпечує достатню точність обчислень. Суть методу полягає в тому, що перед початком розрахунків задаються інтервали зміни кожного параметра функції на основі практичного досвіду або результатів попередніх досліджень:

$$\begin{aligned} a_0 &= a_{0\min} \div a_{0\max}; \\ a_1 &= a_{1\min} \div a_{1\max}; \\ a_2 &= a_{2\min} \div a_{2\max}; \\ \beta &= \beta_{\min} \div \beta_{\max}. \end{aligned} \quad (4)$$

Програма обчислень оптимальних значень параметрів побудована на переборі їх комбінацій у межах заданих інтервалів змін. Критерієм вибору служить мінімум суми квадратів відхилень фактичних значень результуючого показника ( $Y$  факт) від розрахункового ( $Y$  розр), тобто виконання умови:

$$\Sigma \left( Y_{\text{розр}} - Y_{\text{факт}} \right)^2 = \min. \quad (5)$$

В результаті розрахунків на друкований пристрій виводяться найменше відхилення розрахункового значення функції від вихідних статистичних даних та відповідне значення параметрів  $a_0, a_1, a_2, \beta$ . Вони будуть тим точнішими, чим меншим приростом шуканих параметрів ми задамося. Однак запропонований метод отримання параметрів максимально наближених до оптимальних обмежується зростаючим обсягом досліджень.

Отримана функціональна залежність дозволяє розрахувати оптимальні значення обсягів ремонтних робіт, що виконуються централізованим і децентралізованим способом при заданому парку кар'єрних автосамоскидів, а також оптимальний коефіцієнт централізації ремонтних робіт.

Формування оптимальної комбінації видів витрат праці ремонтному виробництві здійснюється з допомогою множників Лагранжа. Заданий рівень результату ремонтних робіт необхідно отримати якомога дешевше. Це означає, що потрібно мінімізувати ресурси  $C$  залучення кожного виду витрат праці.

$$C = X_1 + X_2. \quad (6)$$

Для отримання виразу Лагранжа у задачі максимізації перепишемо обмеження у звичайному вигляді:

$$X_1 + X_2 - C = 0. \quad (7)$$

Помноживши його на штучний множник  $\lambda$ , додамо до вихідної функції та отримаємо функцію Лагранжа:

$$Y = a_0 \cdot \left( a_1 \cdot X_1^{-\beta} + a_2 \cdot X_2^{-\beta} \right)^{-1/\beta} + \lambda (X_1 + X_2 - C) \quad (8)$$

Доведено, що значення змінних, що максимізують функцію Лагранжа, є одночасно і вирішенням вихідної задачі максимізації. Оскільки в нашому завданні функція Лагранжа включає три змінні, то умовою її максимізації є рівність нулю трьох похідних. Отримуємо систему рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{dY}{dX_1} = \frac{a_1}{a_0} \cdot \left(\frac{Y}{X_1}\right)^{1+\beta} + \lambda = 0; \\ \frac{dY}{dX_2} = \frac{a_1}{a_0} \cdot \left(\frac{Y}{X_2}\right)^{1+\beta} + \lambda = 0; \\ \frac{dY}{d\lambda} = X_1 + X_2 - C = 0. \end{cases} \quad (9)$$

Її рішення дозволяє отримати такі значення змінних:

$$X_1 = C \cdot \left(\frac{a_1}{a_1 + a_2}\right)^{\frac{1}{1+\beta}}; \quad (10)$$

$$X_2 = C \cdot \left(\frac{a_2}{a_1 + a_2}\right)^{\frac{1}{1+\beta}}; \quad (11)$$

$$\lambda = -a_0^\beta \cdot (a_1 + a_2) \cdot \left[ a_1 \cdot \left(\frac{a_1}{a_1 + a_2}\right)^{\frac{\beta}{1+\beta}} + a_2 \cdot \left(\frac{a_2}{a_1 + a_2}\right)^{\frac{\beta}{1+\beta}} \right]^{-\frac{1+\beta}{\beta}}. \quad (12)$$

З виразів (10) та (11) отримуємо:

$$X_1 = X_2 \cdot \left(\frac{a_1}{a_2}\right)^{\frac{1}{1+\beta}}; \quad (13)$$

$$X_2 = X_1 \cdot \left(\frac{a_2}{a_1}\right)^{\frac{1}{1+\beta}}. \quad (14)$$

Підставивши значення  $X_1$  і  $X_2$  у вихідне рівняння отримаємо такі вирази:

$$Y = a_0 \cdot X_1 \cdot \left[ a_1 + a_2 \cdot \left(\frac{a_2}{a_1}\right)^{\frac{\beta}{1+\beta}} \right]^{-\frac{1}{\beta}}; \quad (15)$$

$$Y = a_0 \cdot X_2 \cdot \left[ a_2 + a_1 \cdot \left(\frac{a_1}{a_2}\right)^{\frac{\beta}{1+\beta}} \right]^{-\frac{1}{\beta}}.$$

З виразу (15) знаходимо оптимальне значення витрат праці  $X_1^{onm}$ :

$$X_1^{onm} = \frac{Y}{a_0} \cdot \left[ a_1 + a_2 \cdot \left( \frac{a_2}{a_1} \right)^{-\frac{\beta}{1+\beta}} \right]^{\frac{1}{\beta}} \quad (16)$$

З виразу (16) також знаходимо оптимальне значення витрат праці  $X_2^{onm}$ :

$$X_2^{onm} = \frac{Y}{a_0} \cdot \left[ a_2 + a_1 \cdot \left( \frac{a_1}{a_2} \right)^{-\frac{\beta}{1+\beta}} \right]^{\frac{1}{\beta}} \quad (17)$$

Величина оптимального коефіцієнта централізації ремонтних робіт визначається з виразу:

$$K_{ц}^{onm} = \frac{X_1^{onm}}{X_1^{onm} + X_2^{onm}} \quad (18)$$

Обчислені рівняння залежності результатів ремонтних робіт з ремонту технологічного автотранспорту від витрат праці на ІНГЗК має такий вигляд:

$$Y = 3,838088 \cdot \left( 0,6826 \cdot X_1^{0,7326} + 0,3174 \cdot X_2^{0,7326} \right)^{1,3652}$$

Характер зміни результатів ремонтних робіт від зміни витрат праці, на прикладі гірничотранспортного цеху, представлений на рис. 1 та рис. 2.

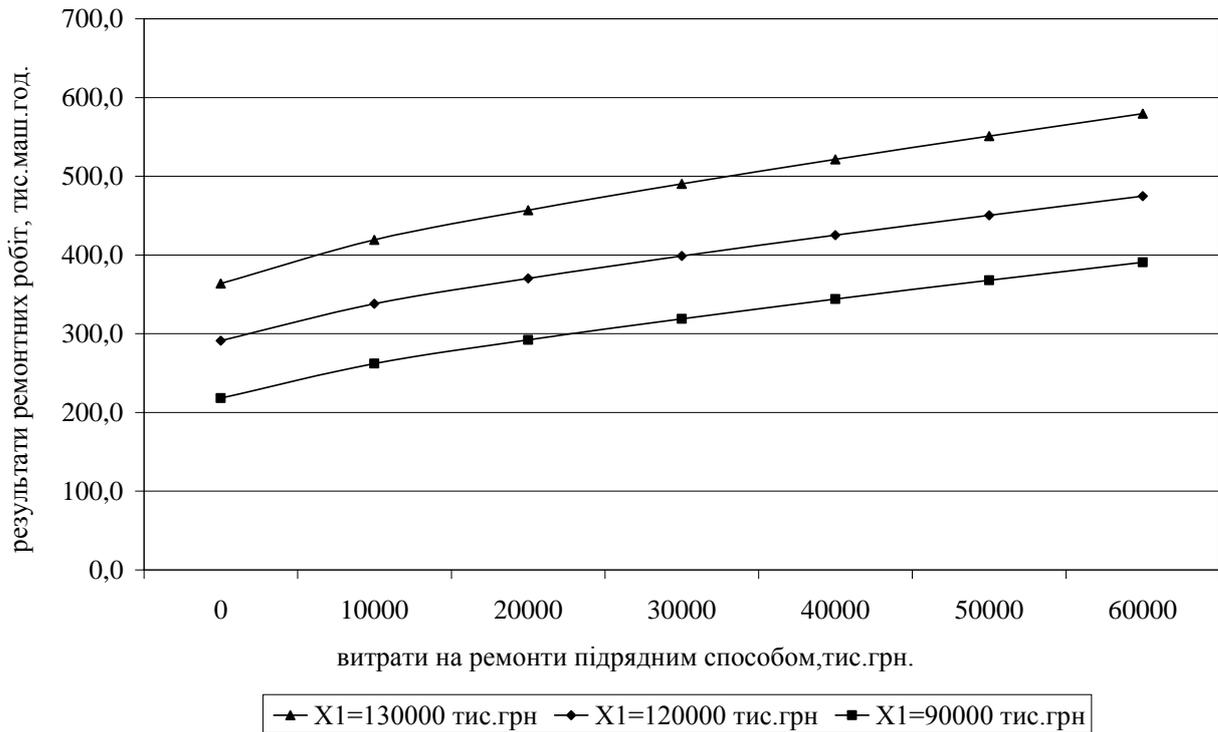


Рисунок 1. Залежність результатів ремонтного виробництва від зміни витрат праці на ремонти централізованим способом

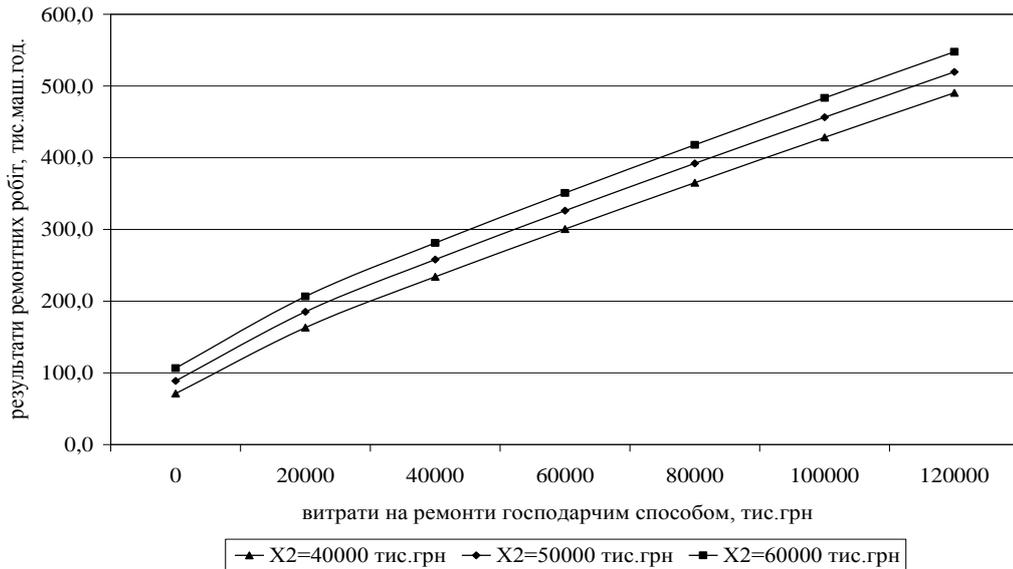


Рисунок 2. Залежність результатів ремонтного виробництва від зміни витрат праці на ремонти господарським способом

На підставі розрахованих рівнянь розраховано оптимальні співвідношення витрат праці на ремонт централізованим та децентралізованим способом в гірничотранспортному цеху гірничозбагачувального комбінату. Результати розрахунків зведено у табл. 3.

Таблиця 3 Розрахунок оптимального рівня централізації ремонтних робіт в умовах гірничотранспортного цеху ІнГЗК

Показник	Результат використання обладнання, тис. маш. год.	Витрати на виконання ремонтних робіт, тис. грн			
		Всього	централізовано	децентралізовано	$K_{ц}$ , %
Фактичне співвідношення	324,5	160597,9	47953,1	112644,8	29,9
Оптимальне співвідношення	324,5	157461,4	62610,5	95850,9	39,1

Оптимальні значення витрат є єдино можливими, що забезпечують максимум результату. Будь-які відхилення у тому співвідношенні у той чи інший бік призводить до зниження результатів ремонтного виробництва (рис. 3).

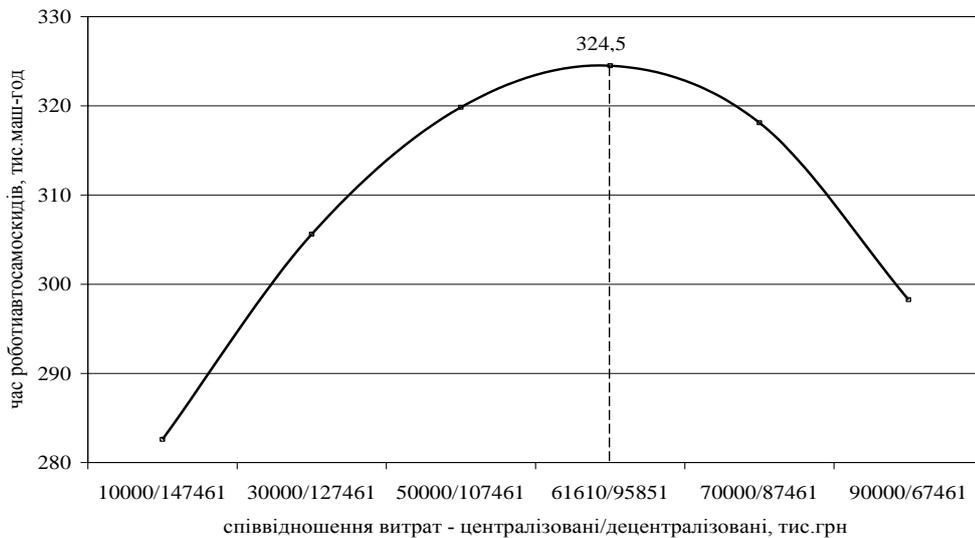


Рисунок 3. Залежність результатів ремонтного виробництва від комбінації витрат праці на ремонти централізованим та децентралізованим способом

Розрахунки показують, що впровадження оптимального рівня централізації ремонтних робіт дозволить заощадити в умовах комбінату 105 тис. люд.-год. сукупних витрат праці ремонтного персоналу (7,26% всіх витрат), що еквівалентно умовному вивільненню близько 55 осіб.

### **ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Таким чином, вирішено реальну науково-практичну задачу встановлення оптимального рівня централізації ремонтних робіт, що забезпечує їх ефективне виконання. Запропоновані в роботі методики дозволяють формалізувати процеси розподілу бюджету гірничозбагачувального підприємства, виділеного на відновлення працездатності технологічного автотранспорту, з метою забезпечення максимального рівня надійності його роботи. Запропонована методика, на відміну від існуючих, спрямована на підвищення ефективності експлуатації автосамоскидів, враховує специфічні умови їх експлуатації та поточні виробничо-економічні можливості підприємства, забезпечує достатній компроміс між мінімізацією витрат на ремонт і високим рівнем надійності технологічного автотранспорту, що гарантує плановий час роботи автосамоскидів на технологічних перевезеннях.

### **ВИСНОВКИ**

Виконані розрахунки показали, що для забезпечення планового часу роботи автосамоскидів на технологічних перевезеннях, що відповідає умовам базового періоду, при оптимальному рівні централізації ремонтних робіт економія на ремонтних витратах складає 3136,5 тис. грн, або 9,5% всіх ремонтних витрат.

Подальші дослідження будуть зосереджені на визначенні стратегій порівняння оцінок планових ресурсів залізничних підприємств, що використовуються для ремонту кар'єрних автосамоскидів та підтримки їхнього технічного стану. Це необхідно для прийняття рішень щодо бюджетування роботи цих підприємств або можливості використання вивільнених фінансових ресурсів, а також їхнього спрямування на інші цілі відповідно до визначеної стратегії подальшого розвитку технічного потенціалу.

### **ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ**

1. Аулін В.В., Голуб Д.В., Біліченко В. В., Замуренко А.С. Формування показників оцінки ефективності транспортного процесу перевезень. Вісник машинобудування та транспорту. 2020. Т.1, № 11. DOI: <https://doi.org/10.31649/2413-4503-2020-11-1-4-10>.
2. Максимов С.В., Максимова О.С. Оптимізація структури ремонтних циклів кар'єрних самоскидів на основі дослідження надійності їх роботи. Вісник Криворізького національного університету. 2018. Т.16. №47. С.122-128.
3. Максимов С.В., Максимова О.С. Обґрунтування параметрів спеціалізованого підприємства з капітального ремонту двигунів кар'єрних самоскидів великої вантажопідйомності в умовах Кривбасу. Держава та регіони. Серія: Економіка та підприємництво. 2020. №3. DOI: <https://doi.org/10.32840/1814-1161/2020-3-20>
4. Максимов С.В., Монастирська О.Ю. Економічна ефективність транспортної системи та її оцінка. Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. 2011. № 121. – С. 127-130.
5. Максимов С.В., Монастирська О.Ю. Застосування динамічного підходу до використання критерію економічної ефективності автотранспортної системи кар'єру. Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. 2012. №6(177). С. 26-30.
6. Монастирський Ю.А., Гальченко А.В., Вівчарик А.С. Аналіз парків кар'єрних самоскидів підприємств центральної частини України. Вісник НТУ «ХП». Серія: Автомобіле- та тракторобудування. 2014. Т. 9, №1052. – С. 38-42.
7. Монастирський Ю.А. Денис В.М. Дослідження надійності роботи агрегатів підвіски кар'єрних автосамоскидів. Вісник Криворізького технічного університету. 2010. №. 26. С. 132-134.
8. Монастирський Ю.А., Бондар І.В., Сістук В.О. Математичні моделі функціонування підприємств технічного сервісу кар'єрних автосамоскидів. Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. 2019. № 2 (13). С. 124–130. DOI: <https://doi.org/10.36910/automash.v2i13.95>.
9. Потапенко В.В. Аналіз моделі технологічних станів кар'єрних самоскидів БелАЗ. Вісник НТУ «ХП». 2013. Т. 29 (1002). С. 126-132.

## REFERENCES

1. Aulin, V.V., Holub, D.V., Bilichenko, V.V., Zamurenko, A.S. (2020). Formuvannya pokaznykiv otsinky efektyvnosti transportnoho protsesu perevezen. *Visnyk mashynobuduvannya ta transportu*, 1(11). <https://doi.org/10.31649/2413-4503-2020-11-1-4-10>.
2. Maksymov, S.V., Maksymova, O.S. (2018). Optyimizatsiya struktury remontnykh tsykliv kar'ernykh samoskydiv na osnovi doslidzhennya nadiynosti yikh roboty. *Visnyk Kryvorizkoho natsionalnoho universytetu*, 16(47), 122–128.
3. Maksymov, S.V., Maksymova, O.S. (2020). Obgruntuvannya parametriv spetsializovanoho pidpryyemstva z kapitalnoho remontu dvyhuniv kar'ernykh samoskydiv velykoi vantazhopidymnosti v umovakh Kryvbasu. *Derzhava ta rehiony. Seriya: Ekonomika ta pidpryyemnytstvo*, 3. <https://doi.org/10.32840/1814-1161/2020-3-20>.
4. Maksymov, S.V., Monastyrskaya, O.Y. (2011). Ekonomichna efektyvnist transportnoi systemy ta yii otsinka. *Visnyk Skhidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu imeni Volodymyra Dalia*, 121, 127–130.
5. Maksymov, S.V., Monastyrskaya, O.Y. (2012). Zastosuvannya dynamichnoho pidkhodu do vykorystannya kryteriia ekonomichnoi efektyvnosti avtotransportnoi systemy kar'ieru. *Visnyk Skhidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu imeni Volodymyra Dalia*, 6(177), 26–30.
6. Monastyrskiy, Y.A., Halchenko, A.V., Vivcharyk, A.S. (2014). Analiz parkiv kar'ernykh samoskydiv pidpryyemstv tsentralnoi chastyny Ukrainy. *Visnyk NTU "KhPI". Seriya: Avtomobile- ta traktorobuduvannya*, 9(1052), 38–42.
7. Monastyrskiy, Y.A., Denys, V.M. (2010). Doslidzhennya nadiynosti roboty ahragativ pidvisky kar'ernykh avtosamoskydiv. *Visnyk Kryvorizkoho tekhnichnoho universytetu*, 26, 132–134.
8. Monastyrskiy, Y.A., Bondar, I.V., & Sistuk, V.O. (2019). Matematychni modeli funktsionuvannya pidpryyemstv tekhnichnoho servisu kar'ernykh avtosamoskydiv. *Suchasni tekhnolohii v mashynobuduvanni ta transporti*, 2(13), 124–130. <https://doi.org/10.36910/automash.v2i13.95>.
9. Potapenko, V.V. (2013). Analiz modeli tekhnolohichnykh staniv kar'ernykh samoskydiv BelAZ. *Visnyk NTU "KhPI"*, 29(1002), 126–132.

**Maksymova, O., Maksymov, S., Potapenko, V. Economic Efficiency of Centralized Maintenance and Servicing of Technological Vehicles in Iron Ore Quarries**

The study substantiates and formalizes the criterion for determining the optimal level of centralization in performing routine maintenance and technical servicing of technological vehicles at iron ore quarries. The forms of functional relationships were established, and analytical dependencies were obtained between the costs of maintenance and repair of quarry dump trucks. The relationship between machine reliability and operating time necessary to meet the technological transport plan for ore was determined for cases where such repairs are performed in-house or through company-based or service maintenance at specialized enterprises using industrial methods. This approach allows determining the level of industry-wide centralization of maintenance and repair work for quarry vehicles, which enables minimizing specific operational costs per unit of transport work.

To solve the tasks set, methods of techno-economic, correlation-regression, factor, and situational analysis were used (for studying the organization of dump truck repairs at mining enterprises or in the network of service centers); the methodology of optimal management, which ensures the economic-mathematical formalization of the components of the model for determining the level of industry centralization of technological vehicle repairs according to operating conditions; and the method of comparative economic analysis (for assessing the economic efficiency of the proposed model for reallocating funds allocated to restore the operability of quarry dump trucks).

The optimal level of centralization of maintenance and repairs of 130-ton quarry dump trucks for ore transportation at iron ore quarries was calculated, and the feasibility of ensuring their planned operating time in technological transportation was substantiated.

**Keywords:** transport system of an iron ore quarry, repair costs, in-house repairs, repairs by specialized organizations, statistical methods of control and management.

МАКСИМОВА Олена Сергіївна, кандидат економічних наук, доцент кафедри автомобільного транспорту, Криворізький національний університет, м. Кривий Ріг, Україна, e-mail: [maxlenser@knu.edu.ua](mailto:maxlenser@knu.edu.ua), <https://orcid.org/0000-0001-7253-0105>

*МАКСИМОВ Сергій Володимирович*, кандидат економічних наук, доцент кафедри автомобільного транспорту, Криворізький національний університет, м. Кривий Ріг, Україна, e-mail: [max\\_ser\\_vlad@knu.edu.ua](mailto:max_ser_vlad@knu.edu.ua), <https://orcid.org/0000-0002-9932-1511>

*ПОТАПЕНКО Володимир Володимирович*, старший викладач кафедри автомобільного транспорту, Криворізький національний університет, м. Кривий Ріг, Україна e-mail: [potapenko@knu.edu.ua](mailto:potapenko@knu.edu.ua), <https://orcid.org/0000-0003-1439-1017>

*Olena MAKSYMOVA*, PhD (Economics), Associate Professor of the Department of Motor Vehicle Transport, Kryvyi Rih National University, e-mail: [maxlenser@knu.edu.ua](mailto:maxlenser@knu.edu.ua), <https://orcid.org/0000-0001-7253-0105>

*Sergey MAKSYMОВ*, PhD (Economics), Associate Professor of the Department of Motor Vehicle Transport, Kryvyi Rih National University, e-mail: [maxlenser@knu.edu.ua](mailto:maxlenser@knu.edu.ua), <https://orcid.org/0000-0001-7253-0105>

*Vladimir POTAPENKO*, Senior lecturer of Automobile Facilities Department, Kryvyi Rih National University, e-mail: [potapenko@knu.edu.ua](mailto:potapenko@knu.edu.ua), <https://orcid.org/0000-0003-1439-1017>

Дата надходження статті до видання: 07.10.2025

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 24.10.2025

DOI 10.36910/automash.v2i25.1928