

Л.А. Ковалевич, ст. викладач  
І.В. Леонець, аспірант  
Д.М. Білобров, аспірант  
М.В. Качуровський, аспірант  
В.В. Коробійчук, д.т.н., проф.

Державний університет «Житомирська політехніка»

## Оцінка експлуатаційних параметрів БелАЗ-548 в умовах Омелянівського кар'єру

*Визначено швидкості руху автосамоскидів БелАЗ залежно від величини поздовжнього ухилу постійних автошляхів із щобенеvim покриттям в умовах Омелянівського кар'єру. Експериментальні дослідження роботи автосамоскидів БелАЗ-548 проведені на трасах протяжністю 0,9–3,7 км при висоті підйому гірської маси 14–42 м та середньозваженому ухилі 1,4–6,3 %. Зі збільшенням поздовжніх ухилів автошляхів спостерігається поступове зниження швидкостей руху порожніх автомобілів, що обумовлено необхідністю реалізації великих гальмівних зусиль при гальмуванні на більш крутому ухилі та психологічними факторами. У процесі проведення експериментальних робіт встановлено закономірності витрати дизельного палива автосамоскидами БелАЗ-548 залежно від величини поздовжнього ухилу кар'єрних автошляхів. Зі зростанням поздовжнього ухилу автошляхів від 8 до 10 % спостерігається збільшення витрати палива для навантажених автосамоскидів на 8–12 %. Було встановлено, що залежність питомої витрати палива на транспортування 1 т гірської маси від кута ухилу капітальної траншеї в умовах Омелянівського кар'єру описується поліномами другого порядку.*

**Ключові слова:** паливо; споживання; режим роботи; кар'єр; відстань транспортування; корисна копалина; транспортний цикл; швидкість руху.

**Вступ.** Кар'єрний автомобільний транспорт дуже специфічний і сильно відрізняється від решти автомобільного транспорту. Основні відмінності полягають у тому, що на одиницю пройденого шляху кар'єрні автосамоскиди споживають набагато більше палива, ніж інші автомобілі, та умови руху в кар'єрі докорінно відрізняються від інших умов руху. У кар'єрі автосамоскиди рухаються в основному на спуск або підйом. Ці особливості створюють головну проблему нормування витрати палива. Якщо для всього іншого автотранспорту лінійна норма витрати палива встановлюється при русі рівною дорогою і дає можливість визначити витрату палива досить точно, то для кар'єрних автомобілів через особливості умов руху в кар'єрі таким методом визначити витрату палива неможливо.

Тому створюються диференційовані норми витрати пального для кар'єрного автотранспорту, які враховують особливості руху автосамоскида по кар'єру. Донедавна ці норми задовольняли керівників підприємств, оскільки витрати палива були відносно невеликі. В даний час, коли ціна нафтопродуктів в Україні зросла, проблема нормування, а особливо контролю та обліку витрати пального, набула першочергового значення, тому що дуже сильно збільшилася частка витрат на пально-мастильні матеріали у загальній собівартості видобутку корисних копалин. Недавні досягнення в галузі кар'єрного транспорту констатують нові системні підходи до вирішення нових викликів [1–15]. Для визначення норм витрати палива безпосередньо для цього кар'єру необхідно враховувати величезну кількість факторів, які можна розділити на 5 основних груп: конструктивні; гірничотехнічні; технологічні; експлуатаційні; кліматичні. В публікації розглянуто вплив частини цих факторів на витрати палива та продуктивність кар'єрних автосамоскидів.

**Постановка завдання.** Проаналізувати структуру споживання палива при русі кар'єрних автосамоскидів звантажених та порожніх на підйом та спуск.

**Мета дослідження** полягає в виявленні причини збільшення витрати палива автосамоскидів в умовах Омелянівського кар'єру.

**Викладення основного матеріалу.** Одним із основних факторів, що визначають продуктивність кар'єрних автосамоскидів, є швидкість руху. В результаті досліджень визначено встановлені швидкості під час руху автосамоскидів з вантажем на підйом і середню швидкість порожніх автомобілів під час руху на спуск.

Мінімально необхідна кількість експериментальних вимірів визначалася за формулами математичної статистики при рівні довірчої ймовірності 0,95 і становила на горизонтальних ділянках автошляхів для навантажених автосамоскидів 50–55, порожніх – 6–11, на ухилах – 8–10 % відповідно 3–6 та 5–13, що обумовлено меншою дисперсією швидкостей руху автосамоскидів при підвищених схилах. Експериментальні дослідження роботи автосамоскидів БелАЗ-548 проведені на трасах протяжністю 0,9–3,7 км, при висоті підйому гірської маси 14–42 м та середньозваженому ухилі 1,4–6,3 %. Розподіл

випадкових значень швидкості руху автомобілів на ділянках з різною величиною ухилу підпорядковується нормальному закону.

Для визначення швидкостей руху автосамоскидів БелАЗ залежно від величини поздовжнього ухилу постійних автошляхів із щобеневим покриттям рекомендуються регресійні формули, отримані в результаті статистичної обробки даних експерименту:

під час підйому завантаженого самоскида:

$$V = 28,4 - 3,28i + 0,15i^2, \text{ км/год}; \quad (1)$$

під час спуску порожнього самоскида:

$$V = 30,6 + 1,17i + 0,16i^2, \text{ км/год}. \quad (2)$$

Результати експериментальних досліджень є фактичним обґрунтуванням встановлення найбільш ймовірних величин швидкостей руху автосамоскидів (табл. 1).

Таблиця 1

Швидкість руху автосамоскида БелАЗ-548

Повздовжній ухил, %						
0	2	4	6	8	10	12
Завантажене авто на підйом						
29	25,2	17,4	14,0	11,6	10,0	9,0
Порожнє авто на спуск						
30,5	32,3	33,0	31,3	28,0	24,5	20,0

Наведені дані свідчать про те, що навантажені автосамоскиди під час руху на горизонтальних ділянках щобеневих автошляхів мають дещо більшу швидкість порівняно зі швидкістю порожніх, що обумовлено характеристикою амортизаторів підвіски, що забезпечують кращу плавність ходу при повному завантаженні автомобіля. Зростання вертикальних прискорень при сильних зовнішніх збуреннях і створення дискомфорту умов праці змушує водія знижувати швидкість руху порожнього автосамоскида.

На ділянках автомобільних доріг із ухилами 3–4 % порожні автосамоскиди розвивають найбільшу швидкість руху (рис. 1, 2). Зі збільшенням поздовжніх ухилів автошляхів спостерігається поступове зниження швидкостей руху порожніх автомобілів, що обумовлено необхідністю реалізації великих гальмівних зусиль під час гальмування на більш крутому ухилі та психологічними факторами.

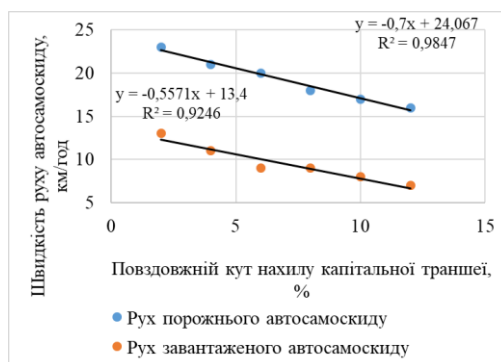


Рис. 1. Вплив поздовжнього ухилу траси на швидкість руху БелАЗ-548 на підйом

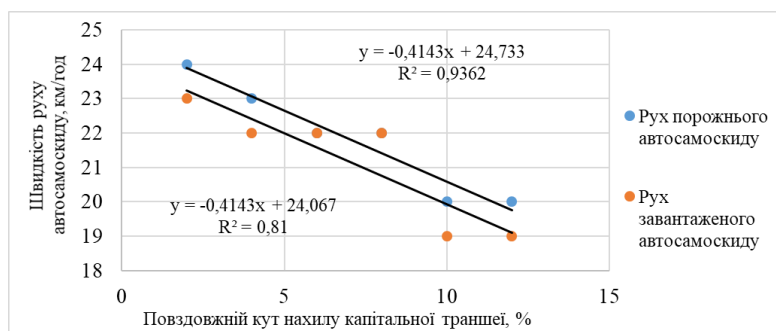


Рис. 2. Вплив поздовжнього ухилу траси на швидкість руху БелАЗ-548 на спуск

Рекомендуються такі швидкості руху автосамоскидів на спуск, що вказані в таблиці 2.

Таблиця 2

*Рекомендована швидкість руху автосамоскидів на спуск*

Ухил, %	0-6	7-8	9-10	11-12	Більше 13
Швидкість руху, км/год	30-40	25-30	20-25	19-23	Не більше 20

Швидкість руху на підйом з вантажем визначається питомою потужністю і для БелАЗ-548 при ухилі 10 % варіюється в інтервалі 8,5–12,8 км/год.

У процесі проведення експериментальних робіт встановлено закономірності витрати дизельного палива автосамоскидами БелАЗ-548 залежно від величини повздовжнього ухилу кар'єрних автошляхів (рис. 3).

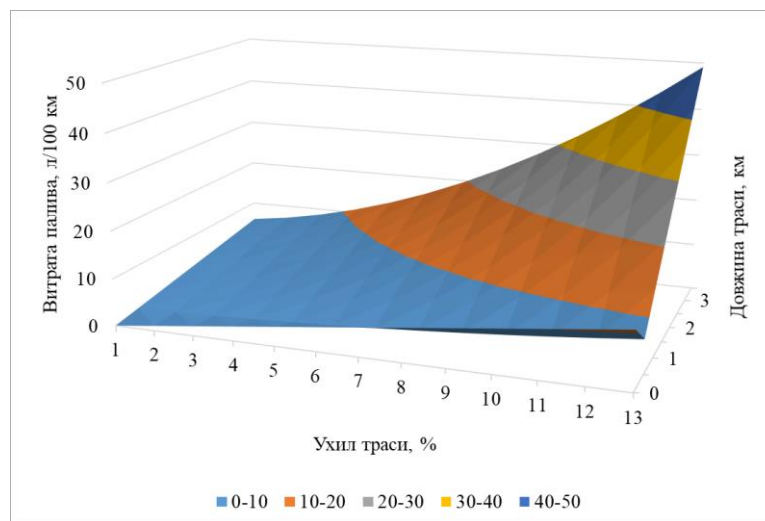


Рис. 3. Залежність витрати палива за транспортний цикл від повздовжнього ухилу та довжини траси

Аналіз отриманих експериментальних даних свідчить, що частка палива, що витрачається під час руху автосамоскида з навантаженням, становить 65–80 % усіх витрат палива за рейс. На інших операціях транспортного циклу (рух порожнього автосамоскида, навантаження, розвантаження, маневри тощо) витрата палива сягає 20–30 % [16].

Зі зростанням повздовжнього ухилу автошляхів від 8 до 10 % спостерігається збільшення витрати палива для навантажених автосамоскидів на 8–12 % (табл. 3).

Таблиця 3

*Витрати палива завантаженого БелАЗ-548 при русі під гору залежно від повздовжнього ухилу траси, л/100 км*

Повздовжній ухил траси, %					
2	2	2	2	2	2
193,6	193,6	193,6	193,6	193,6	193,6

З метою оцінки витрати пального автосамоскидами БелАЗ залежно від величини повздовжнього ухилу кар'єрних автодоріг запропоновано регресійну формулу (рис. 4), яка отримана шляхом статистичної обробки експериментальних даних:

$$Q = 156,02e^{0,1089i}, \text{ л/100 км,} \quad (3)$$

де  $i$  – повздовжній ухил траси, %.

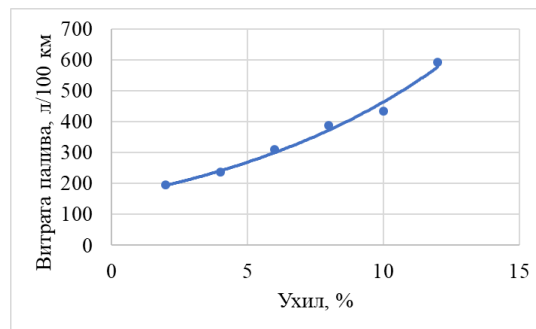


Рис. 4. Залежність витрати палива завантаженого БЕЛАЗ-548 при русі під гору залежно від повздовжнього ухилу траси, л/100 км

На рисунку 5 наведено залежність питомої витрати палива на транспортування 1 т гірської маси від кута ухилу капітальної траншеї в умовах Омелянівського кар'єру.

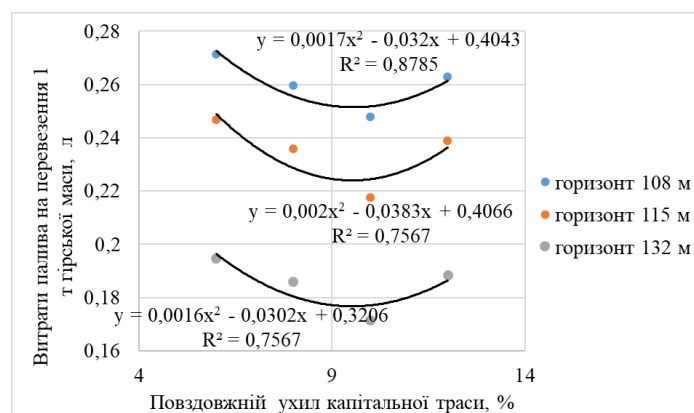


Рис. 5. Залежність питомої витрати палива на транспортування 1 т гірської маси від кута ухилу капітальної траншеї в умовах Омелянівського кар'єру

Одним із найважливіших параметрів, що визначають продуктивність кар'єрного автотранспорту, є швидкість руху. В результаті експериментальних досліджень було встановлено середні та встановлені швидкості на ділянках з характерними повздовжніми ухилами. Аналіз отриманих результатів показав, що при підвищенні ухилу від 5,5 до 9 % час руху навантаженого автосамоскида зростає на 22 %, порожнього – на 12 %, в результаті продуктивність знижується на 13 %.

#### Висновки:

1. Проаналізовано структуру споживання палива на різних етапах транспортного циклу, на основі якої встановлено, що при зміні повздовжнього ухилу з 6 до 10 % вартість транспортування 1 т гірської маси зменшується на 16–18 %. При збільшенні ухилу капітальної траншеї з 10 % і більше витрати палива різко зростають;

2. Аналіз отриманих результатів показав, що при підвищенні ухилу від 5,5 до 10 % час руху навантаженого автосамоскида зростає на 22 %, порожнього – на 12 %, в результаті продуктивність знижується на 13 %;

3. Отримані дані дають можливість оптимізувати процес транспортування гірської маси в межах Омелянівського кар'єру.

#### Список використаної літератури:

1. Hanxleden R. A co-design approach for safety-critical automotive applications / R.Hanxleden, A.Botorabi, S.Kupczyk // IEEE Micro (Special Issue on Embedded Fault-Tolerant Systems). – 1998. – Vol. 18. – P. 66–79.
2. Kassakian J.G. Automotive electrical systems – The power electronics market of the future / J.G. Kassakian // Proc. IEEE APEC. – 2000. – Vol. 1. – P. 3–9.
3. Brown G.M. A GTO powered AC drive system increases the performance of off-highway haul trucks / G.M. Brown, W.G. Koellner // Conf. Rec. IEEE-IAS Annu. Meeting, Oct. 3–7, 1999. – P. 222–233.
4. Brown G.M. Increased productivity with AC drives for mining excavators und haul trucks / G.M. Brown, B.J. Ebacher, W.G. Koellner // Conf. Rec. IEEE-IAS Annu. Meeting. – 2000. – Vol. 1. – P. 28–37.

5. Feasibility study to reduce injuries and fatalities caused by contact of cranes, drill rigs, and haul trucks with high tension lines / H.K. Sacks, J.C. Cawley, G.Homce, M.Yenchek // *IEEE Trans. Ind. Applicat.* – 2001. –Vol. 37. – P. 914–919.
6. Криворучко А.О. Розробка узагальненої методики геометризації масивів природного каменю з метою отримання комплексної моделі родовища / А.О. Криворучко, В.В. Коробійчук, С.С. Іськов // *Вісник ЖДТУ.* – 2012. – № 4 (63). – С. 190–202.
7. Weakening of rock strength under the action of cyclic dynamic loads / V.Korobiichuk, V.Kravets, R.Sobolevskiy et al. // *Eastern European Journal of Advanced Technologies.* – 2018. – Issue 2 (5). – P. 20–25.
8. Shamrai V. Management of waste of stone processing in the framework of Euro integration of Ukraine / V.Shamrai, V.Korobiichuk, R.Sobolevskiy // *Вісник ЖДТУ. Сер. : Технічні науки.* – 2017. – № 2 (1). – С. 234–239.
9. Коробійчук В. Геометризація супутньої корисної копалини в умовах Лезниківського родовища гранітів та гірничо-геометричний аналіз його показників / В.Коробійчук // *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Сер. : Технічні науки.* – 2012. – № 58. – С. 175–184.
10. Дослідження шляхів мінімізації втрат при буровибуховому способі видобування блоків декоративного каменю / Р.В. Соболевський, О.О. Кісель, В.В. Коробійчук, О.А. Зубченко // *Вісник ЖДТУ. Сер. : Технічні науки.* – 2006. – № 4 (39). – С. 301–307.
11. A procedure for modeling the deposits of kaolin raw materials based on the comprehensive analysis of quality indicators / R.Sobolevskiy, A.Vaschuk, O.Tolkach et al. // *Eastern European Journal of Advanced Technologies.* – Issue 3 (87). – P. 54–66.
12. Коробійчук В.В. Дослідження тріщинуватості Лезниківського родовища гранітів з перспективою видобутку блочної продукції / В.В. Коробійчук // *Східно-європейський журнал передових технологій.* – Харків : Технологічний центр, 2013. – Вип. 6/5 (66). – С. 23–27.
13. Korobiichuk V.V. European integration: treatment of stone processing enterprises waste in Ukraine / V.V. Korobiichuk, O.M. Sidorov, R.V. Sobolevskiy // *Вісник ЖДТУ. Сер. : Технічні науки.* – 2017. – № 1 (79). – С. 182–190.
14. Evaluation of the effectiveness of natural stone surface treatment from Ukraine by mechanical and chemical methods/ V.Korobiichuk, V.Shamrai, V.Levytskyi et al. // *Rudarsko Geolosko Naftni Zbornik.* – 2018. – Vol. 33, Issue 4. – P. 15–22.
15. Optimization of the process of efficiency management of the primary kaolin excavation on the curved face of the conditioned area / V.Korobiichuk, R.Sobolevskiy, V.Levytskyi et al. // *Rudarsko Geolosko Naftni Zbornik.* – 2020. – Vol. 35, Issue 1. – P. 123–137.
16. Тарасов П.И. Исследование расхода топлива карьерными автосамосвалами по элементам транспортного цикла / П.И. Тарасов, Э.В. Горшков // *Труды ИГД Минчермета СССР.* – Свердловск. – 1980. – № 62. – С.62–66.

#### References:

1. Hanxleden, R., Botorabi, A. and Kupczyk, S. (1998), «A co-design approach for safety-critical automotive applications», *IEEE Micro (Special Issue on Embedded Fault-Tolerant Systems)*, Vol. 18, pp. 66–79.
2. Kassakian, J.G. (2000), «Automotive electrical systems – The power electronics market of the future», *Proc. IEEE APEC*, Vol. 1, pp. 3–9.
3. Brown, G.M. and Koellner, W.G. (1999), «A GTO powered AC drive system increases the performance of off-highway haul trucks», *Conf. Rec. IEEE-IAS Annu. Meeting*, Oct. 3–7, pp. 222–233.
4. Brown, G.M., Ebacher, B.J. and Koellner, W.G. (2000), «Increased productivity with AC drives for mining excavators und haul trucks», *Conf. Rec. IEEE-IAS Annu. Meeting*, Vol. 1, pp. 28–37.
5. Sacks, H.K., Cawley, J.C., Homce, G. and Yenchek, M. (2001), «Feasibility study to reduce injuries and fatalities caused by contact of cranes, drill rigs, and haul trucks with high tension lines», *IEEE Trans. Ind. Applicat*, Vol. 37, pp. 914–919.
6. Kryvoruchko, A.O., Korobijchuk, V.V. and Is'kov, S.S. (2012), «Rozrobka uzagal'nenoi' metodyky geometryzacji' masyviv pryrodnoho kamenju z metoju otrymannja kompleksnoi' modeli rodovyshha», *Visnyk ZhDTU*, No. 4 (63), pp. 190–202.
7. Korobiichuk, V., Kravets, V. and Sobolevskiy, R. et al. (2018), «Weakening of rock strength under the action of cyclic dynamic loads», *Eastern European Journal of Advanced Technologies*, Issue 2 (5), pp. 20–25.
8. Shamrai, V. Korobiichuk, V. and Sobolevskiy, R. (2017), «Management of waste of stone processing in the framework of Euro integration of Ukraine», *Visnyk ZhDTU. Ser. Tehnichni nauky*, No. 2 (1), pp. 234–239.
9. Korobijchuk, V. (2012), «Geometryzacija suputn'oi' korysnoi' kopalyny v umovah Leznykivs'kogo rodovyshha granitiv ta girnycho-geometrychnyj analiz jogo pokaznykiv», *Visnyk Nacional'nogo universytetu vodnoho gospodarstva ta pryrodokorystuvannja. Ser. Tehnichni nauky*, No. 58, pp. 175–184.
10. Sobolev's'kyj, R.V., Kijjel', O.O., Korobijchuk, V.V. and Zubchenko, O.A. (2006), «Doslidzhennja shljahiv minimizaciji' vtrat pry burovybuhovomu sposobi vydobuvannja blokiv dekoratyvnogo kamenju», *Visnyk ZhDTU. Ser. Tehnichni nauky*, No. 4 (39), pp. 301–307.
11. Sobolevskiy, R. Vaschuk, A. Tolkach, O. et al. «A procedure for modeling the deposits of kaolin raw materials based on the comprehensive analysis of quality indicators», *Eastern European Journal of Advanced Technologies*, Issue 3 (87), pp. 54–66.
12. Korobijchuk, V.V. (2013), «Doslidzhennja trishhynuvatosti Leznykivs'kogo rodovyshha granitiv z perspektyvoju vydobutku blochnoi' produkciij», *Shidno-jevropejs'kyj zhurnal peredovyh tehnologij*, Tehnologichnyj centr, Harkiv, Issue 6/5 (66), pp. 23–27.

13. Korobiichuk, V.V., Sidorov, O.M. and Sobolevskiy, R.V. (2017), «European integration: treatment of stone processing enterprises waste in Ukraine», *Visnyk ZhDTU. Tehnichni nauky*, No. 1 (79), pp. 182–190.
14. Korobiichuk, V. Shamrai, V. Levytskyi, V. et al. (2018), «Evaluation of the effectiveness of natural stone surface treatment from Ukraine by mechanical and chemical methods», *Rudarsko Geolosko Naftni Zbornik*, Vol. 33, Issue 4, pp. 15–22.
15. Korobiichuk, V., Sobolevskiy, R., Levytskyi, V. et al. (2020), «Optimization of the process of efficiency management of the primary kaolin excavation on the curved face of the conditioned area», *Rudarsko Geolosko Naftni Zbornik*, Vol. 35, Issue 1, pp. 123–137.
16. Tarasov, P.I. and Gorshkov, Je.V. (1980), «Issledovanie rashoda topliva kar'ernymi avtosamosvalami po jelementam transportnogo cikla», *Trudy IGD Minchermeta SSSR, Sverdlovsk*, No. 62, pp.62–66.

**Ковалевич** Людмила Анатоліївна – старший викладач кафедри маркшейдерії Державного університету «Житомирська політехніка».

<https://orcid.org/0000-0001-9158-2576>.

Наукові інтереси:

- транспортні технології;
- відкриті гірничі роботи.

**Леонєць** Ірина Володимирівна – аспірант кафедри розробки родовищ корисних копалин ім. проф. М.Т. Бакка Державного університету «Житомирська політехніка».

<https://orcid.org/0000-0002-6572-681X>.

Наукові інтереси:

- утилізація відходів гірничого виробництва;
- моделювання процесів гірничого виробництва.

**Білобров** Дмитро Миколайович – аспірант кафедри розробки родовищ корисних копалин ім. проф. М.Т. Бакка Державного університету «Житомирська політехніка».

Наукові інтереси:

- транспортні роботи;
- моделювання процесів гірничого виробництва.

**Качуровський** Михайло Валентинович – провідний спеціаліст Державного університету «Житомирська політехніка».

Наукові інтереси:

- процеси гірничого виробництва;
- виймально-навантажувальне обладнання.

**Коробійчук** Валентин Вацлавович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри розробки родовищ корисних копалин ім. проф. М.Т. Бакка Державного університету «Житомирська політехніка».

<https://orcid.org/0000-0002-1576-4025>.

Наукові інтереси:

- процеси гірничого виробництва;
- обробка каменю.

**Kovalevych L.A., Leonets I.V., Bilobrov D.M., Kachurovskiy M.V., Korobiichuk V.V.**

#### **Evaluation of BelAZ-548 operational parameters in the conditions of the Omelyanivske quarry**

The speed of movement of BelAZ dump trucks is determined depending on the value of the longitudinal slope of permanent roads with crushed stone pavement in the conditions of the Omelyanivske quarry. Experimental studies of the operation of BelAZ-548 dump trucks were carried out on highways with a length of 0.9–3.7 km, with a rock rise height of 14–42 m and a weighted average slope of 1.4–6.3 %. With an increase in the longitudinal slopes of roads, there is a gradual decrease in the speed of empty cars, which is due to the need to implement greater braking forces when braking on a steeper slope and psychological factors. In the course of experimental work, the regularities of diesel fuel consumption by BelAZ-548 dump trucks depending on the value of the longitudinal slope of quarry roads were established. With an increase in the longitudinal slope of roads from 8 to 10 %, there is an increase in fuel consumption for loaded dump trucks by 8–12 %. It was found that the dependence of the specific fuel consumption for transporting 1 ton of rock mass on the slope angle of the capital trench in the conditions of the Omelyanivske quarry is described by second-order polynomials.

**Keywords:** fuel; consumption; operating mode; quarry; transportation distance; mineral; transport cycle; driving speed.

Стаття надійшла до редакції 29.04.2022.