

© Б.Ю. Собко¹, О.В. Ложніков¹, О.В. Трегуб¹

¹ Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ВІДСТАНІ ТРАНСПОРТУВАННЯ СИРОВИНИ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ АВТОСАМОСКИДІВ ПРИ БУДІВНИЦТВІ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

© B. Sobko¹, O. Lozhnikov¹, O. Tregub¹

¹ Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

DETERMINATION THE INFLUENCE OF HAULAGE DISTANCE OF RAW MATERIALS ON ROAD DUMP TRUCKS OUTPUT

Мета. Встановлення залежності продуктивності автосамоскидів від відстані транспортування будівельної сировини з кар'єрів при будівництві нових автомобільних доріг.

Методика дослідження. Аналітичний метод дослідження використовувався при теоретичних узагальненнях і формулюванні висновків досліджень. Графічний метод застосовувався для наочного співставлення результатів дослідження при транспортуванні будівельної сировини для спорудження полотна автомобільних доріг на різні відстані. Розрахунково-конструктивний та порівняльний методи дозволили визначити вплив відстані транспортування заданого об'єму будівельної сировини на продуктивність і кількість транспортного устаткування.

Результати дослідження. Встановлено, що залежність продуктивності автосамоскидів від відстані транспортування є степеневою при перевезенні будівельної сировини з кар'єрів для спорудження полотна автомобільної дороги. Встановлено, що основною відмінністю запропонованої методики розрахунку продуктивності автосамоскидів від існуючих є врахування фактору зміни швидкості руху транспортного засобу на різних ділянках траси від кар'єру до об'єкту будівництва. Встановлені результати в подальшому дозволять визначити ефективну відстань транспортування вторинної сировини з рудних кар'єрів для будівництва доріг у порівнянні з використанням піску з кар'єрів нерудних корисних копалин.

Наукова новизна. Встановлено залежність продуктивності автосамоскидів для спорудження автомобільного полотна нової дороги від відстані транспортування визначеного об'єму будівельного піску з кар'єру. Визначено, що при збільшенні відстані транспортування у 16 разів з 10 до 160 км, продуктивність автосамоскиду Ford Trucks 4142D зменшується у 8,7 разів з 202,1 до 23,5 т/рік, а Ford Trucks 3542D у 8,6 разів з 250,2 до 29,1 т/рік.

Практичне значення. Отримані результати досліджень дозволяють встановити необхідну кількість автосамоскидів для спорудження полотна автомобільної дороги з залученням піску з кар'єрів рудної сировини. Встановлені параметри можуть бути використані при розробці методики визначення економічно доцільної відстані транспортування вторинної сировини з рудних кар'єрів для підвищення ефективності ресурсозберігаючих технологій будівництва автомобільних доріг.

Ключові слова: будівництво автомобільної дороги, автосамоскид, продуктивність устаткування, відстань транспортування, будівельна сировина.

1. Актуальність. Загальна протяжність автомобільних доріг України складає 169 тис. км. Основна частина з них фізично і морально застаріла, що призвело до необхідності капітального ремонту майже 85 % від їх загальної довжини. Варто зазначити, що дорожня інфраструктура України є доволі розвинутою, проте стан дорожнього полотна не відповідає сучасним вимогам автомобільного руху і завантаженості доріг легковим і вантажним транспортом.

Відновлення та будівництво нової автомобільної інфраструктури є нагальним питанням, пов'язаним з розвитком економіки кожної країни. Спорудження нових і оновлення існуючих доріг відповідно до європейських норм дозволить поліпшити економічні показники центральних і віддалених регіонів та зменшити витрати приватних і комерційних автоперевізників на обслуговування транспорту. Окрім того, розвиток дорожньої галузі гарантує створення нових робочих місць в проектуванні, гірництві, машинобудуванні, сфері обслуговування, тощо.

З практики будівництва автомобільних доріг [1 – 2] відомо, що до 70% вартості доріг складають витрати на матеріали, з яких на транспортні витрати спрямовується до 40 %. У зв'язку з цим в пріоритеті мають обиратися постачальники місцеві сировини, для оптимізації витрат підприємства шляхом мінімізації автомобільного парку і обслуговуючого персоналу.

Оскільки процес будівництва нових автомобільних шляхів потребує постійного залучення мільйонів тон корисних копалин, особливо при спорудженні земляного полотна, актуальним залишається питання заміщення основної сировини з кар'єрів нерудної сировини на супутні корисні копалини з кар'єрів рудної сировини. Зміна міст постачання сировини призведе до збільшення відстані транспортування, тому дослідження впливу цього показника на продуктивність автосамоскидів дозволить в подальшому визначити ефективні відстані перевезень і обґрунтувати економічну доцільність використання супутньої сировини.

2. Аналіз досліджень. Огляд літературних джерел дозволив виявити, що основні дослідження зі спорудження автомобільних доріг присвячені вдосконаленню їх конструкційних елементів, а питання підвищення ефективності ресурсозбереження розглядається недостатньо.

У роботі [3] розглядаються шляхи підвищення ефективності вибору технології будівництва автомобільних доріг у межах мегаполісів, однак увага практично не приділяється питанням визначення складу необхідної дорожньої техніки.

Дослідження, виконані у роботі [4] присвячені використанню вторинної сировини з промислових підприємств у будівництві інфраструктурних об'єктів. Проте в роботі не розглянуті питання впливу заміни основної сировини на вторинну з позиції організації питань зміни існуючої технології виробництва.

В роботі [5] наводиться значний перелік галузей промисловості, в яких можуть бути використані відходи підприємств з розробки титан-цирконієвих руд. Одним з перспективних напрямів застосування вмісних пісків цих руд є будівельна галузь. Також ці піски можуть бути використані при спорудженні земляного полотна нових автомобільних доріг.

Матеріали наведені в роботах [6 – 7] дозволяють визначити необхідні об'єми будівельної сировини при формуванні дорожнього полотна, завдяки чому

можливо дослідити необхідну кількість автосамоскидів для доставки супутніх корисних копалин при спорудженні окремих ділянок автомобільної дороги.

3. Встановлення невирішених проблем. Аналіз існуючих науково-дослідних робіт дозволив встановити, що розрахунок параметрів роботи автосамоскидів при будівництві автомобільних доріг регламентується відстанню транспортування сировини і обраховується 1 грн./км. Однак таке твердження не враховує зміну продуктивності автівок на великих відстанях, які поділені на ділянки з різною швидкістю руху. В результаті це призводить до зменшення фактичної продуктивності автосамоскиду і збільшення автопарку машин. У зв'язку з цим встановлення залежності продуктивності автосамоскиду від відстані транспортування сировини з кар'єру до міста будівництва автомобільної дороги є актуальним питанням, рішення якого дозволить визначити економічну доцільність використання супутніх корисних копалин рудних кар'єрів.

4. Постановка задач. Встановлення ефективності залучення вторинної сировини титан-цирконієвих кар'єрів для спорудження земельного насипу при будівництві нової автомобільної дороги має ґрунтуватися на визначенні економічно допустимої відстані перевезення пісків, як вторинної сировини, у порівнянні з кар'єрами нерудних матеріалів шляхом вирішення наступних завдань: визначення впливу відстані транспортування пісків на продуктивність дорожніх автосамоскидів; встановлення залежності кількості автосамоскидів, що використовуються при будівництві дороги, від відстані транспортування при заданому об'ємі сировини.

Вирішення поставлених задач в подальшому дозволить розробити методику визначення економічно доцільної відстані транспортування пісків титан-цирконієвих кар'єрів до об'єкту дорожнього будівництва у порівнянні з залученням пісків з кар'єрів нерудної сировини.

5. Основний матеріал. Значною проблемою дорожнього будівництва є необхідність залучення великих об'ємів корисних копалин, основна частина яких розміщується в земляному полотні нової дороги. Аналіз практичного досвіду показує, що основним матеріалом для спорудження земляного полотна автомобільних доріг в Україні є піщані породи, які видобуваються на кар'єрах нерудних матеріалів. Наприклад, при спорудженні нової автомобільної дороги Н-31 Дніпро-Решетилівка, лише на одній ділянці км 14+400 - км 15+900 у 2019 р. було використано більше 209,1 тис. м³ піщаних порід. При цьому довжина автомобільної дороги складає 157,9 км, більша частина з якої буде реконструйована. Загальний об'єм земляних робіт при спорудженні такого об'єкту сягне десятків мільйонів кубічних метрів, а в результаті вилучення пісків з кар'єрів нерудної сировини, площа порушених земель складе сотні гектарів.

З іншого боку, на Дніпропетровщині вже давно існує проблема утилізації відходів гірничого виробництва, які знаходяться у відвалах і хвостосховищах і представлені різними видами порід. Наприклад, при розробці титан-цирконієвих родовищ, що знаходяться у Вільногірському районі, щорічно утворюється від 1,5 до 2,5 млн т пісків, які можуть бути використані при спорудженні

земляного полотна нової автомобільної дороги. Основними проблемами впровадження цього рішення є значне збільшення відстані транспортування пісків від кар'єру до ділянки будівництва дороги і законодавчі складнощі застосування відходів виробництва у будівництві. Перша проблема вирішується шляхом встановлення економічно доцільної відстані транспортування супутніх корисних копалин.

Відстань транспортування великих об'ємів мінеральної сировини є одним з основних показників, які впливають на техніко-економічні показники проекту. Особливий вплив на них, відстань транспортування має при застосуванні автомобільного транспорту, оскільки для його роботи використовуються двигуни внутрішнього згорання, які потребують високих експлуатаційних витрат і мають відносно невеликий амортизаційний період.

Для визначення впливу відстані транспортування пісків на продуктивність дорожніх автосамоскидів, розглянуто діапазон відстаней переміщення пісків з кар'єру до об'єкта будівництва 10 – 160 км. Саме в цьому діапазоні знаходяться потенційні ділянки автомобільних доріг від кар'єру титан-цирконієвої сировини Мотронівського ГЗК (Дніпропетровщина). Встановлення продуктивності та кількості автосамоскидів виконується у наступній послідовності.

Вибір автосамоскиду для транспортування м'яких корисних копалин з кар'єру виконується за наступним виразом:

$$m_{НОМ.м.вскр} = \frac{n_k \cdot E \cdot k_H \cdot \rho}{k_p}, \text{ Т,}$$

де n_k – число ківшей екскаватора, що розвантажується в транспортний засіб, 4; E – геометрична місткість ківша екскаватора, м³; k_H – коефіцієнт наповнення ковшом екскаватора, 0,9; k_p – коефіцієнт розпушення породи у ківші, 1,2; ρ – об'ємна маса піску в цілині.

При виконанні досліджень прийнято найбільш поширені марки автосамоскидів, що використовують сьогодні на будівництві автомобільних доріг в Україні, це Ford Trucks 4142D і Ford Trucks 3542D з вантажопідйомністю 21 і 26 т.

Визначення відстані транспортування пісків виконується відповідно до послідовності:

$$L_T = l_k + l_i + l_n + l_o, \text{ м,}$$

де l_k – відстань транспортування всередині кар'єру, м; l_i – довжина транспортування по похилих гірничих виробках, м; l_n – довжина транспортування по поверхні до ділянки будівництва, $l_n = 10 - 160$ км; l_o – довжина транспортування на ділянці будівництва дороги, м.

В першу чергу визначаємо відстань транспортування пісків всередині кар'єру:

$$l_k = \frac{L_\partial + B_k}{2}, \text{ м,}$$

де L_∂ – довжина кар'єру, м; B_k – ширина кар'єру, м.

Довжина транспортування по похилих гірничих виробках кар'єру:

$$l_i = \frac{1000H}{i}, \text{ м,}$$

де H – глибина кар'єру, м; де i – ухил траншеї, ‰, 70.

Відстань транспортування на ділянці будівництва дороги:

$$l_o = \frac{l_k + l_i}{2}, \text{ м.}$$

Після визначення відстані транспортування пісків визначається тривалість рейсу і продуктивність автосамоскидів.

Визначаємо тривалість рейсу автосамоскиду:

$$t_p = t_{px} + t_{нозр} + t_{разгр} + t_{мань}, \text{ хв.,}$$

де t_p – час руху автосамоскиду з піском, хв.; $t_{нозр}$ – час навантаження піску, хв.; $t_{розв.}$ – час розвантаження піску, 1 хв.; $t_{ман}$ – тривалість маневрів, 1 хв.

Час руху автосамоскиду при транспортуванні піску:

$$t_{px} = 60 * 2 \left(\frac{l_k}{V_{ксп}} + \frac{l_i}{V_{иср}} + \frac{l_n}{V_{нсп}} + \frac{l_o}{V_{оср}} \right), \text{ хв.,}$$

де $V_{ксп}$ – середня швидкість руху автосамоскиду в кар'єрі в навантаженому і порожньому напрямках, км/год., 40; $V_{иср}$ – середня швидкість руху автосамоскиду по похилих виробках в навантаженому і порожньому напрямках, км/год., 22; $V_{нсп}$ – середня швидкість руху автосамоскиду на автомобільних дорогах, км/год., 80; $V_{оср}$ – середня швидкість руху автосамоскиду на ділянках дороги, що будується, км/год., 27.

Визначається кількість ковшів екскаватора, при завантаженні автосамоскиду:

$$n_k = \frac{V_a}{E \cdot k_e}, \text{ од.}$$

де V_a – місткість кузова, м³; E – ємність ківша екскаватора, м³; k_e – коефіцієнт екскавації (0,75).

Визначаємо час навантаження автосамоскиду:

$$t_{нозр.} = \frac{n_k t}{60}, \text{ хв.,}$$

де t – час робочого циклу екскаватора при навантаженні, с.

Визначаємо річну продуктивність автосамоскиду:

$$P_a = \frac{60T_{зм} P_a k_n}{t_{p.m} k_p k_z} N_{см} N_p, \text{ т/рік,}$$

де P_a – вантажопідйомність автосамоскида, т; k_n – коефіцієнт наповнення ківша, 0,85; k_p – коефіцієнт розпушення породи, 1,2; k_z – коефіцієнт готовності автосамоскиду, 0,85; $T_{зм}$ – тривалість зміни, год.; $N_{см}$ – кількість робочих змін на добу.

Після визначення продуктивності автосамоскидів, що використовуються при будівництві дороги, встановлюється їх необхідна кількість відповідно до виразу:

$$N_{a.m} = \frac{V_{мг} \cdot k_{нер}}{P_{a.m}}, \text{ од.},$$

де $k_{нер}$ – коефіцієнт нерівномірності руху автосамоскидів, 1,2.

Таблица 1

Продуктивність автосамоскиду Ford Trucks 4142D (21 т)

Відстань транспортування, км	Час руху автосамоскиду, хв.	Кількість ківшей екскаватора при завантаженні	Час навантаження автосамоскиду, хв.	Тривалість рейсу, хв.	Продуктивність автосамоскиду, тис. т/рік.	Кількість автосамоскидів, од
10,0	26,3	3,0	1,3	29,6	202,1	3,0
25,0	48,8			52,1	114,8	6,0
40,0	71,3			74,6	80,2	8,0
55,0	93,8			97,1	61,6	10,0
70,0	116,3			119,6	50,0	12,0
85,0	138,8			142,1	42,1	15,0
100,0	161,3			164,6	36,3	17,0
115,0	183,8			187,1	32,0	19,0
130,0	206,3			209,6	28,5	22,0
145,0	228,8			232,1	25,8	24,0
160,0	251,3			254,6	23,5	26,0

Таблица 2

Продуктивність автосамоскиду Ford Trucks 3542D (26 т)

Відстань транспортування, км	Час руху автосамоскиду, хв.	Кількість ківшей екскаватора при завантаженні	Час навантаження автосамоскиду, хв.	Тривалість рейсу, хв.	Продуктивність автосамоскиду, тис. т/рік.	Кількість автосамоскидів, од
10,0	26,3	4,0	1,7	30,51	250,2	3,0
25,0	48,8			53,01	142,2	5,0
40,0	71,3			75,51	99,3	7,0
55,0	93,8			98,01	76,3	8,0
70,0	116,3			120,51	61,9	10,0
85,0	138,8			143,01	52,1	12,0
100,0	161,3			165,51	45,0	14,0
115,0	183,8			188,01	39,6	16,0
130,0	206,3			210,51	35,3	17,0
145,0	228,8			233,01	31,9	19,0
160,0	251,3			255,51	29,1	21,0

Відповідно до заданих вихідних даних виконано розрахунок показників продуктивності та необхідної кількості автосамоскидів для діапазону відстаней транспортування 10 – 160 км. Прийнятий об'єму піску, що перевозиться – 500 тис. т на рік. Результати розрахунків для автосамоскидів Ford Trucks 4142D і Ford Trucks 3542D наведено в табл. 1 і 2.

Результати виконаних розрахунків (табл. 1 і 2) дозволили визначити продуктивність автосамоскидів та їх необхідну кількість при перевезенні заданого об'єму піску ($Q = 500$ тис. т) з кар'єру на ділянку будівництва нової автомобільної дороги. Для більш детального аналізу отриманих результатів проведено дослідження зі встановлення впливу відстані транспортування піску з кар'єру до об'єкту будівництва на річну продуктивність і необхідну кількість автосамоскидів (рис.).

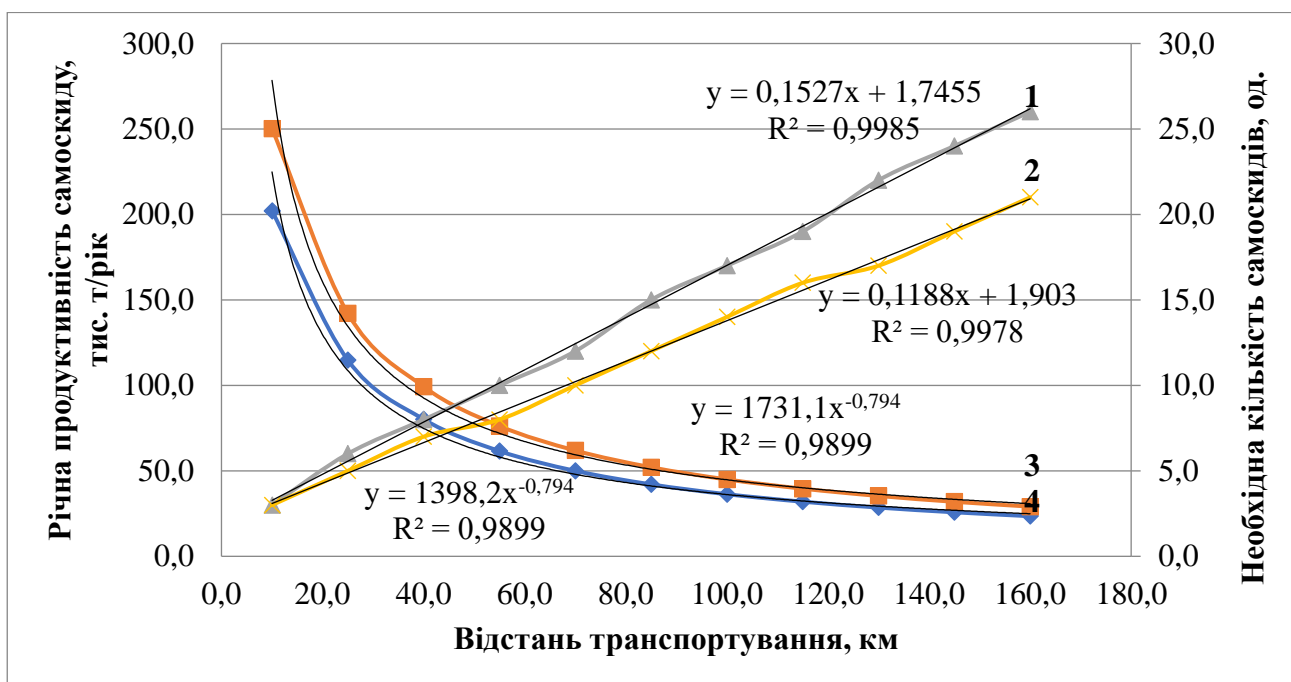


Рис. Залежності річної продуктивності та необхідної кількості автосамоскидів від довжини транспортування порід земляного насипу: 1 – кількість самоскидів Ford Trucks 4142D (21 т); 2 – кількість самоскидів Ford Trucks 3542D (26 т); 3, 4 – річна продуктивність Ford Trucks 3542D і 4142D

Аналіз графіків, представлених на рис. 1 дозволяє встановити ступеневі залежності продуктивності автосамоскидів від дальності транспортування пісків з кар'єрів. Після апроксимації встановлених залежностей встановлено, що при використанні автосамоскиду Ford Trucks 4142D його річна продуктивність встановлюється відповідно до виразу $Pa = 1398,2L^{-0,794}$, а при застосуванні Ford Trucks 3542D продуктивність буде визначатися за виразом $Pa = 1731,1L^{-0,794}$.

Залежності показника необхідної кількості автосамоскидів для доставки піску з кар'єрів від відстані транспортування є лінійними і описуються наступними

рівняннями: для автосамоскиду Ford Trucks 4142D необхідна кількість авто визначається відповідно до виразу $N_a = 0,1527L + 1,7455$; при застосуванні Ford Trucks 3542D кількість авто визначатися за виразом $N_a = 0,1188L + 1,903$.

Висновки. Встановлено, що при збільшенні відстані транспортування сировини для будівництва дороги у 16 разів з 10 до 160 км, продуктивність автосамоскиду Ford Trucks 4142D зменшується у 8,7 разів з 202,1 до 23,5 т/рік, а Ford Trucks 4142D у 8,6 разів з 250,2 до 29,1 т/рік.

Визначені залежності кількості автосамоскидів для будівництва автомобільної дороги від відстані транспортування будівельних матеріалів дозволяють встановити, що при спорудженні земляного полотна дороги об'ємом 500 тис. т піску, збільшення відстані транспортування з 10 до 160 км призведе до збільшення кількості автосамоскидів Ford Trucks 4142D у 8,6 разів з 3 до 26 од., а при застосуванні самоскидів Ford Trucks 3542D у 7,0 разів з 3 до 21 од.

Встановлені показники продуктивності автосамоскидів дозволяють розробити методику визначення економічно доцільної відстані транспортування пісків титан-цирконієвих кар'єрів до об'єкту дорожнього будівництва у порівнянні з залученням пісків з кар'єрів нерудної сировини.

Перелік посилань

1. ДБН В.2.3-4:2015 «Автомобільні дороги. Частина I. Проектування. Частина II. Будівництво». (2015). Мінрегіонбуд України.
2. Білятинський, О.А., Заворицький, В.Й., Старовойда, В.П., & Хом'як, Я.В. (1997). *Проектування автомобільних доріг: Підручник*. Ч. 1, 2. (О.А. Білятинський, Я.В. Хом'як. (За ред.)) Вища шк.
3. Radziszewska-Zielina, E., Kania, E., & Śladowski, G. (2018). Problems of the selection of construction technology for structures in the centres of urban agglomerations. *Archives of Civil Engineering*, 64(1), 55 – 71.
<https://doi.org/10.2478/ace-2018-0004>
4. Islam, R., Nazifa, T. H., Yuniarto, A., Uddin, A. S., Salmiati, S., & Shahid, S. (2019). An empirical study of construction and demolition waste generation and implication of recycling. *Waste Management*, 95, 10-21.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.05.049>
5. Galetsky, L.S., Gryshchenko, S.G., & Remezova, E. A. (2009). Complex use of the titanium ore potential of Ukraine. *Titanium*, 1, 4 – 7.
6. Система проектної документації для будівництва. *Автомобільні дороги. Земляне полотно і дорожній одяг. Робочі креслення: ДСТУ Б А.2.4-29:2008*. (2009). Мінрегіонбуд України.
7. Білятинський, О.А., & Старовойда, В.П. (2003). *Проектування капітального ремонту і реконструкції доріг*. Вища освіта.

ABSTRACT

Purpose. Establishment the dependence of dump trucks productivity on the haulage distance of building materials from quarries during the new roads construction.

Research methodology. The analytical method of researches was used in theoretical generalizations and formulation of research findings. The graphical method was used to visually compare the results of the study at the haulage building materials for the construction of roadbeds over different distances. Calculation-constructive and comparative methods made it possible to determine the influence of

distance on the haulage of a given volume of building materials on the productivity and quantity of trucks.

The results. It has been established that the dependence of the dump trucks productivity on the distance of haulage is a power law at the haulage of building materials from quarries for the road bed construction. It has been established that the main difference between the proposed method for calculating the dump trucks productivity from the existing ones is the consideration the factor of change in the speed of the vehicle in different sections of the route from the quarry to the construction site. The established results will further allow to determine the effective distance of recyclable materials haulage from ore pits for road construction in comparison with the use of sand from quarries of non-metallic minerals.

Scientific novelty. The performance dependence of dump trucks during the construction of the new road bed with a certain volume of building sand transported from the quarry has been established. It was determined that with an increase in the transportation distance by 16 times from 10 to 160 km, the productivity of the Ford Trucks 4142D dump truck decreases by 8.7 times from 202.1 to 23.5 thousand tons / year, and Ford Trucks 3542D by 8.6 times from 250.2 to 29.1 thousand tons/year.

Practical value. The conducted researches allow to establish the required number of dump trucks for the construction of a road bed using accompany sand from the ore pits. The established parameters can be used in the development of a methodology for determining the economically viable distance for haulage recyclables from ore pits to improve the efficiency of resource-saving technologies at the roads construction.

Keywords: *highway construction, dump truck, equipment output, haulage distance, building materials.*