

Методика выбора автотранспортных средств на месторождениях полезных ископаемых Дальневосточного региона России

С. А. Шемякин¹, А. Ю. Чебан², Е. А. Шишкин^{1✉}, В. Ю. Воронин³

¹Высшая школа промышленной инженерии, Тихоокеанский государственный университет, г. Хабаровск, Российская Федерация

²Институт горного дела, Хабаровский федеральный исследовательский центр Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Хабаровск, Российская Федерация

³Компания «Ареал», г. Хабаровск, Российская Федерация

✉ 004655@togudv.ru

Резюме. Интенсивное освоение недр Сибири и Дальнего Востока требует оснащения горных предприятий современной техникой, в том числе и автотранспортом. Предлагается трехэтапная методика выбора автотранспорта для перевозки породы в отвалы после загрузки экскаваторами и других транспортных работ. Первый этап – предварительный, по числу ковшей, выгружаемых экскаватором в кузов автосамосвала. Второй этап – оценка потребного количества автосамосвалов на карьере. Третий этап – проверка автотранспорта по тяговым характеристикам на данном карьере. Использование предлагаемой методики позволит исключить приобретение неэффективной для данного горного предприятия автотранспортной техники.

Ключевые слова: горное предприятие, карьер, автотранспорт, экскаватор, методика выбора самосвалов, тяговый расчет

Для цитирования: Шемякин С.А., Чебан А.Ю., Шишкин Е.А., Воронин В. Ю. Методика выбора автотранспортных средств на месторождениях полезных ископаемых Дальневосточного региона России. *Маркшейдерия и недропользование*. 2026;26(1):57-60. <https://doi.org/10.56195/20793332-2026-26-1-57-60>.

The methodology of selecting vehicles in the mineral deposits of the Far Eastern region of Russia

S. A. Shemyakin¹, A. Yu. Cheban², E. A. Shishkin^{1✉}, V. Yu. Voronin³

¹Graduate School of advanced engineering, Pacific National University, Khabarovsk, Russian Federation

²Institute of Mining, Khabarovsk Federal Research Center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Khabarovsk, Russian Federation

³Areal company, Khabarovsk, Russian Federation

✉ 004655@togudv.ru

Rezume. The intensive development of the subsoil of Siberia and the Far East requires the equipping of mining enterprises with modern technology, including vehicles. A three-stage methodology is proposed for selecting vehicles for transporting rock to landfills after loading with excavators and other transportation operations. The first stage is preliminary in terms of the number of buckets unloaded by the excavator into the dump truck body. The second stage is the assessment of the required number of dump trucks at the quarry. The third stage is to check vehicles for traction characteristics at this quarry. The use of the proposed methodology will make it possible to exclude the acquisition of inefficient motor vehicles for this mining enterprise.

Keywords: mining enterprise, quarry, motor transport, excavator, dump truck selection method, traction calculation

For citation: Shemyakin S.A., Cheban A.Yu., Shishkin E.A., Voronin V.Yu. The methodology of selecting vehicles in the mineral deposits of the Far Eastern region of Russia. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2026;26(1):57-60. (In Russ.). <https://doi.org/10.56195/20793332-2026-26-1-57-60>.

Введение

В настоящее время на горных выработках в Российской Федерации доминирует автомобильный транспорт, который применяется на малых карьерах, при небольших объемах перевозок, и на крупных карьерах, достигающих 80 и более млн т/год [1, 2]. Открытие в последние годы новых месторождений в Дальневосточном регионе России требует усовершенствования методик выбора быстроменяющихся технических средств, в том числе автомобильного транспорта для добычи полезных ископаемых. Следует отметить, что методики по выбору автотранспорта не менялись порядка 40 лет [3–6].

К преимуществам использования автомобильного транспорта на горных выработках полезных ископаемых можно отнести [7, 8]:

- автономность, то есть независимость от внешних источников энергии, что позволяет использовать автотранспорт во время строительства карьеров;
- мобильность, что дает возможность применять автотранспорт в сложных условиях залегания полезных ископаемых, а также при разработке месторождений с малыми запасами и коротким сроком эксплуатации;
- возможность перемещения пород с различными физико-механическими свойствами;
- сокращение длины транспортных коммуникаций из-за возможности двигаться по относительно крутым подъемам и наклонам;
- значительное упрощение процесса отвалообразования.

Рациональное расстояние перевозки автомобильным транспортом – не более 3–4 км [9]. Карьеры, где используется автотранспорт, имеют ограниченные размеры в плане: не более 2–2,5 км. Уклоны автодороги составляют 4–5°, радиусы поворота на дорогах – 40–50 м, а глубина карьеров не превышает 200–250 м [10].

Методология

Как правило, автосамосвалы на карьерах работают в комплексе с одноковшовыми экскаваторами. Практикой ведения открытых горных работ выработано условие, что вместимость кузова самосвала должна соответствовать 4...5 вместимостям ковша экскаватора [11]. При коэффициенте наполнения, равном 1,2, геометрический объем четырех ковшей экскаватора соответствует объему кузова автосамосвала, а объем пяти ковшей экскаватора «с шапкой» соответствует максимальному объему кузова автосамосвала. Это первый, предварительный этап выбора автосамосвалов [12].

Второй этап методики выбора автосамосвалов заключается в определении необходимого количества предварительно выбранного типа машин для определенного карьера. Для этой цели необходимо располагать исходными данными: дальностью транспортирования (2000...2500 м); вместимостью ковша экскаватора с коэффициентом наполнения $K_n = 1,15...1,2$.

В комплексе экскаватор – автосамосвал первый является головной машиной.

В связи с этим количество автосамосвалов рассчитывается для каждого экскаватора отдельно по формуле [13]

$$N_c = \frac{T_p}{t_n}, \quad (1)$$

где T_p – время одного рейса; t_n – время погрузки автосамосвала.

Формулу (1) следует понимать так, что время рейса, как правило, больше времени загрузки экскаватором кузова одного автосамосвала.

Продолжительность движения автосамосвала от места загрузки до пункта разгрузки и обратно (т. е. время рейса) равна

$$T_p = t_n + t_{дв} + t_{раз} + t_m, \quad (2)$$

где t_n – время погрузки, мин;

$t_{дв}$ – время движения автосамосвала, мин;

$t_{раз}$ – время разгрузки автосамосвала,

$t_{раз} = 1,5$ мин; t_m – время маневра, при разгрузке $t_m = 0,5...1$ мин, перед погрузкой $t_m = 0,75$ мин.

Время погрузки автосамосвала [14, 15]

$$t_n = \frac{q_a K_p t_u}{E \gamma K_n}, \quad (3)$$

где q_a – грузоподъемность автосамосвала, т;

K_p – коэффициент разрыхления горной породы (в кузове), $K_p = 1,12...1,15$;

t_u – фактическое время цикла экскаватора, $t_u = 0,4...0,6$ мин;

E – вместимость ковша экскаватора, м³ [16];

γ – объемная сила тяжести породы, $\gamma = 1,5...1,6$ т/м³;

K_n – коэффициент наполнения ковша, $K_n = 1...1,1$.

Время движения автосамосвала равно

$$t_{дв} = \frac{120 L_{pm}}{V_{cp}}, \quad (4)$$

где L_{pm} – дальность транспортирования породы, км;

V_{cp} – средняя скорость движения автосамосвала, $V_{cp} = 30$ км/ч.

Определив согласно (2), (3) T_p и t_n , находим количество рейсов автосамосвалов в смену:

$$N_{см} = \frac{60 T_{см} K_{ua}}{T_p}, \quad (5)$$

где $T_{см}$ – число часов в смене, $T_{см} = 10...12$ ч;

K_{ua} – коэффициент загрузки автосамосвалов, $K_{ua} = 0,75$.

Определяем среднее число автосамосвалов, которое может эффективно использоваться в комплексе с одним экскаватором по формуле (1), и число рабочих автосамосвалов, обслуживающих все рабочие экскаваторы по формуле

$$N_{р.а.} = n_p N_{р.а.}, \quad (6)$$

где $N_{р.а.}$ – количество автосамосвалов, обслуживающих один экскаватор; n_p – число экскаваторов, работающих с автотранспортом в смену.

Число экскаваторов, работающих на карьере в одну смену, определяется в зависимости от мощности вскрыши или мощности пласта полезного ископаемого, а также сроков работ месторождения.

Третья задача в выборе автотранспорта заключается в проверке предварительно выбранной модели автосамосвала по тягово-сцепным качествам.

Полное сопротивление движению груженого автосамосвала равно

$$\sum W = W_{\text{тел}} + W_{\text{ин}} + W_{\text{в}}, \quad (7)$$

где $W_{\text{тел}}$ – сопротивление движению груженого автосамосвала вверх по уклону;

$W_{\text{ин}}$ – необходимое усилие для разгона автосамосвала до транспортной скорости;

$W_{\text{в}}$ – сопротивление воздуха при движении груженого автосамосвала.

Сопротивление движению груженого автосамосвала равно

$$W_{\text{тел}} = G(f \cos \alpha + \sin \alpha), \quad (8)$$

где G – суммарная сила тяжести автосамосвала и груза, кН;

f – коэффициент сопротивления движению, $f = 0,25$;

α – угол наклона пути, $\alpha = 5^\circ$;

g – ускорение свободного падения, м/с².

Усилие для разгона автосамосвала равно

$$W_{\text{ин}} = \frac{V}{t_p} m, \quad (9)$$

где V – транспортная скорость груженого автосамосвала, $V = 0,85$ м/с; m – масса груженого автосамосвала, т;

t_p – время разгона, $t_p = 2$ с.

Сопротивление воздуха равно

$$W_{\text{в}} = qFK_n K_{\text{аэр}}, \quad (10)$$

где q – удельный напор воздуха, $q = 250$ Н/м²; $F = H \cdot K$ – площадь лобового сопротивления; H – габарит самосвала по высоте; K – колея колес;

K_n – коэффициент, учитывающий состояние дорожного покрытия, $K_n = 1,6$;

$K_{\text{аэр}}$ – коэффициент аэродинамичности корпуса самосвала.

Номинальная сила тяги

$$T_n = G \cdot \phi, \quad (11)$$

где ϕ – коэффициент сцепления колес с дорогой, $\phi = 0,9$.

Крутящий момент на выходном валу двигателя

$$M = \frac{9550N}{n}, \quad (12)$$

где N – мощность двигателя, кВт; n – число оборотов коленчатого вала двигателя, об/мин.

Крутящий момент на ведущих колесах автосамосвала

$$M_{\kappa} = M \cdot i \cdot \eta, \quad (13)$$

где i – передаточное число трансмиссии;

η – КПД трансмиссии, $\eta = 0,85$.

Окружное усилие на ведущих колесах

$$P_{\text{окр}} = \frac{M_{\kappa}}{r_{\kappa}}, \quad (14)$$

где r_{κ} – радиус колеса.

Тяговый баланс машины [17]

$$P_{\text{окр}} \geq T_n \geq \sum W, \quad (15)$$

Таким образом номинальная сила тяги автосамосвала должна быть не менее полного сопротивления его движению и не более окружного усилия на ведущих колесах при номинальной мощности.

Закключение

Предлагаемая методика выбора автотранспортных средств на строящихся горных предприятиях по добыче полезных ископаемых позволяет предварительно, перед приобретением автотранспортных средств, провести анализ необходимого качества оборудования для конкретных условий работы на карьерах и тем самым не совершать экономических ошибок.

Рассматриваемая методика может быть полезна студентам при выполнении дипломных проектов, а также аспирантам.

Методика была апробирована на карьерах горнодобывающей компании «Ареал», расположенных в Магаданской области и Чукотском автономном округе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Макарова И.В., Ганиев М.М., Баринов А.С. и др. Современный автотранспорт горнопромышленного комплекса: проблемы и решения. *Горная промышленность*. 2025; 1S: 28-33. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-1S-28-33>.
Makarova I.V., Ganiev M.M., Barinov A.S. et al. Modern motor transport of the mining complex: challenges and solutions. *Russian Mining Industry*. 2025; 1S: 28-33. (In Russ.). <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-1S-28-33>.
2. Курганов В.М., Грязнов М.В., Колобанов С.В. Оценка надежности функционирования экскаваторно-автомобильных комплексов в карьере. *Записки Горного института*. 2020; 241: 10-21. <https://doi.org/10.31897/pmi.2020.1.10>.
Kurganov V.M., Gryaznov M.V., Kolobanov S.V. Assessment of operational reliability of quarry excavator-dump truck complexes. *Journal of Mining Institute*. 2020; 241: 10-21. (In Russ.). <https://doi.org/10.31897/pmi.2020.1.10>.
3. Вдовиченко А.М., Серебренников О.Д. Обоснование показателей, определяющих выбор транспорта глубоких нагорных карьеров. *Записки Горного института*. 1989; 120: 103-105.
Vdovichenko A.M., Serebrennikov O.D. Justification of the indicators determining the choice of transportation of deep highland quarries. *Journal of Mining Institute*. 1989; 120: 103-105. (In Russ.).
4. Насиров У.Ф., Заиров Ш.Ш., Каримов Ш.В. Исследование и оценка технологического автотранспорта для эффективной транспортировки горной массы в глубоких карьерах. *Уголь*. 2023; 12: 67-72. <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2023-12-67-72>.
Nasirov U.F., Zairov S.S., Karimov S.V. Research and evaluation of process fleet for effective haulage of rock mass in deep open pits. *Coal*. 2023; 12: 67-72. (In Russ.). <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2023-12-67-72>.
5. Циперфин И.М., Штейн В.Д. Карьерный автомобильный транспорт: Справочник. Москва, 1992: 415.
Tsiperfin I.M., Stein V.D. Career automobile transport: Handbook. Moscow, 1992: 415. (In Russ.).
6. Burmistrov K.V., Osintsev N.A., Shakshakpaev A.N. Selection of open-pit dump trucks during quarry reconstruction. *Procedia Engineering*. 2017; 206: 1696-1702. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.10.700>.

7. Koptev V., Kopteva A., Ivanova T. Directions for the development of transport machines for open-pit mining. *Journal of Applied Engineering Science*. 2020; 19 (1): 1-5. <https://doi.org/10.5937/jaes0-28708>.
8. Яковлев В.Л., Зырянов И.В., Журавлев А.Г., Черепанов В.А. Особенности современного подхода к выбору технологического транспорта для алмазородных карьеров Якутии. *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. 2018; 6: 109-119.
Yakovlev V.L., Zyryanov I.V., Zhuravlev A.G., Cherepanov V.A. Peculiarities of the modern approach to the choice of technological transport for diamond ore quarries in Yakutia. *Journal of Mining Science*. 2018; 6: 109-119. (In Russ.).
9. Таланин В.В., Казаков В.А., Бехер В.Г. Оптимизация расстояний транспортирования вскрышных пород карьера автотранспортом с использованием горно-геологических информационных систем. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2025; 10: 124-139. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2025_10_0_124.
Talanin V.V., Kazakov V.A., Bekher V.G. Distance optimization in overburden haulage by dump trucks using mining and geological information systems. *Mining informational and analytical bulletin*. 2025; 10: 124-139. (In Russ.). https://doi.org/10.25018/0236_1493_2025_10_0_124.
10. Журавлёв А.Г., Семёнкин А.В., Черепанов В.А. и др. Задачи развития перспективных циклично-поточных технологий для глубоких карьеров. *Горная промышленность*. 2022; 1S: 53-62. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-1S-53-62>.
Zhuravlev A.G., Semenkina A.V., Cherepanov V.A. et al. The purpose of developing advanced in-pit crushing and conveying technology for deep open pits. *Russian Mining Industry*. 2022; 1 S: 53-62. (In Russ.). <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-1S-53-62>.
11. Хорешок А.А., Дубинкин Д.М., Марков С.О., Тюленев М.А. Оценка степени взаимовлияния вместимости ковша экскаватора и кузова автосамосвала. *Вестник Кузбасского государственного технического университета*. 2021; 3: 104-112. <https://doi.org/10.26730/1999-4125-2021-3-104-112>.
Khoroshok A.A., Dubinkin D.M., Markov S.O., Tyulenev M.A. Estimation of the degree of mutual influence of the excavator bucket capacity and haul truck body. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. (In Russ.). <https://doi.org/10.26730/1999-4125-2021-3-104-112>.
12. Томаков П.И., Наумов И.К. Технология, механизация и организация открытых горных работ. Москва, 1992: 463.
Tomakov P.I., Naumov I.K. Technology, mechanization and organization of open-pit mining. Moscow, 1992: 463. (In Russ.).
13. Mirzaei-Nasirabad H., Mohtasham M., Askari-Nasab H. et al. An optimization model for the real-time truck dispatching problem in open-pit mining operations. *Optimization and Engineering*. 2023; 24: 2449-2473. <https://doi.org/10.1007/s11081-022-09780-x>.
14. Botyan E., Pushkarev A. Improving the methodology of choosing machinery models for the formation of an excavator and vehicle fleet during the modernization of a mining transport system, with account for the Arctic specifics. *Transportation Research Procedia*. 2021; 57: 106-112. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.09.031>.
15. Шемякин С.А., Лещинский А.В. Расчет землеройных машин. Хабаровск, 2014:55.
Shemyakin S.A., Leshchinsky A.V. Calculation of earthmoving machines. Khabarovsk, 2014:55.
16. Трубецкой К. Н. и др. Открытые горные работы справочник. Москва, 2014: 621.
Trubetskoy K.N. et al. Open-pit mining handbook. Moscow, 2014:621.
17. Подэрни Р.Ю. Механическое оборудование карьеров. Москва, 2003: 605.
Poderni R.Y. Mechanical equipment of quarries. Moscow, 2003: 605.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Станислав Аркадьевич Шемякин –

д-р техн. наук, доцент, профессор Высшей школы промышленной инженерии, Тихоокеанский государственный университет, г. Хабаровск, Российская Федерация

Антон Юрьевич Чебан –

канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник Института горного дела, Хабаровский федеральный исследовательский центр Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Хабаровск, Российская Федерация

Евгений Алексеевич Шишкин –

канд. техн. наук, доцент Высшей школы промышленной инженерии, Тихоокеанский государственный университет, г. Хабаровск, Российская Федерация; e-mail: 004655@togudv.ru

Вячеслав Юрьевич Воронин –

главный инженер компании «Ареал», г. Хабаровск, Российская Федерация

Критерии авторства:

Авторы заявляют о равном вкладе каждого в работу над статьей.

Конфликт интересов:

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация о статье

Поступила в редакцию: 27.01.2026

Поступила после рецензирования: 18.02.2026

Принята к публикации: 27.02.2026

ABOUT THE AUTHORS

Stanislav A. Shemyakin –

Dr. Sci. (Eng.), Professor of the Graduate School of advanced engineering, Pacific National University, Khabarovsk, Russian Federation

Anton Y. Cheban –

Cand. Sci. (Eng.), Senior Researcher, Institute of Mining, Khabarovsk Federal Research Center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Khabarovsk, Russian Federation

Evgeny A. Shishkin –

Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Graduate School of advanced engineering, Pacific National University, Khabarovsk, Russian Federation; e-mail: 004655@togudv.ru

Vyacheslav Y. Voronin –

Chief Engineer, Areal company, Khabarovsk, Russian Federation

Contribution:

The authors declare the equal contribution of everyone to the work on the article.

Conflict of interest:

The authors declare no conflict of interest.

Information about the article

Received: 27.01.2026

Revised: 18.02.2026

Accepted: 27.02.2026