



# Обоснование оптимального уклона крутонаклонных автосъездов для полноприводных автосамосвалов, эксплуатируемых при доработке алмазородных месторождений

Ю.И. Лель<sup>1</sup>, И.А. Глебов<sup>2</sup>✉

<sup>1</sup> Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Российская Федерация

<sup>2</sup> Институт горного дела Уральского отделения РАН, г. Екатеринбург, Российская Федерация

✉ i.glebov@igduran.ru

**Резюме:** В настоящее время проектная глубина разработки алмазородных (кимберлитовых) месторождений открытым способом увеличивается за счет внедрения перспективных технологий, а также нового добычного и транспортного оборудования. В 2008–2012 гг. институтом «Якутнипроалмаз» и Институтом горного дела были разработаны научно-методические основы и проектные решения по вскрытию глубоких карьеров «Удачный» и «Ботубинский» крутонаклонными автосъездами с применением шарнирно-сочлененных самосвалов САТ-740В грузоподъемностью 39,5 т. Были проведены исследования по определению рационального уклона для шарнирно-сочлененных самосвалов в карьере «Удачный» и разработаны рекомендации по безопасной эксплуатации таких самосвалов на крутых уклонах. Проведенные эксперименты показали способность шарнирно-сочлененных автосамосвалов безопасно транспортировать горную массу с загрузкой, близкой к номинальной, по автосъездам с уклоном до 24% при различных погодных условиях. Несмотря на достаточно большой объем работ по обоснованию параметров вскрытия глубоких горизонтов карьеров многие вопросы требуют дополнительных исследований. Это объясняется в первую очередь ограниченным опытом эксплуатации шарнирно-сочлененных самосвалов на отечественных глубоких карьерах. В связи с этим остается актуальным вопрос обоснования оптимального уклона автодорог для полноприводных моделей автотранспортных средств. Авторами статьи проведен анализ существующих нормативных документов и методик определения продольного уклона. В результате исследования в качестве критерия оптимизации уклонов карьерных автодорог при эксплуатации полноприводных автосамосвалов предлагается использовать физический критерий наименьшего действия.

**Ключевые слова:** карьер, глубина карьера, полноприводный автосамосвал, уклон автосъезда, принцип наименьшего действия, кимберлитовые месторождения, крутонаклонные автосъезды

**Для цитирования:** Лель Ю.И., Глебов И.А. Обоснование оптимального уклона крутонаклонных автосъездов для полноприводных автосамосвалов, эксплуатируемых при доработке алмазородных месторождений. *Горная промышленность*. 2022;(1S):95–99. DOI: 10.30686/1609-9192-2022-1S-95-99.

## Justification of Optimal Gradient of Steeply Inclined Ramps for All-Wheel Drive Dump Trucks Used in Diamond Deposit Completion

Yu.I. Lel<sup>1</sup>, I.A. Glebov<sup>2</sup>✉

<sup>1</sup> Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russian Federation

<sup>2</sup> Institute of Mining of Ural Branch of RAS, Ekaterinburg, Russian Federation

✉ i.glebov@igduran.ru

**Abstract:** At present, the design depth of open-cast diamond (kimberlite) mines is increasing through introduction of advanced technologies and new mining and transportation equipment. In 2008–2012 the Yakutnioproalmaz Institute and the Institute of Mining developed scientific and methodological principles and design solutions for development of the Udachny and Botuobinsky deep open pit mines using steeply inclined ramps and the CAT-740B articulated dump trucks with the capacity of 39.5 tons. Research was conducted to determine the rational slope for articulated dump trucks in the Udachny open pit and to develop guidelines for safe operation of such dump trucks on steep inclines. The performed experiments demonstrated the ability of articulated dump trucks to safely haul rocks with loads that were close to the nominal capacity using ramps with the slope gradients up to 24% in various weather conditions. In spite of a sufficiently large number of studies on justification of parameters of developing deep open pit levels, many questions still require additional research. This is primarily explained by the limited experience of operating articulated dump trucks in Russian deep open pit mines. In this context, the issue of justifying the optimal slope

gradients for all-wheel drive models of motor vehicles remains relevant. The authors of the article have analyzed the existing normative documents and methods to determine the rate of longitudinal slopes. As the result of the study, the physical criterion of the least action is proposed as the optimization criterion for the slope gradients of the in-pit roads when operating all-wheel drive dump trucks.

**Keywords:** open pit mine, pit depth, all-wheel drive dump truck, ramp incline, principle of least action, kimberlite deposits, steeply inclined ramps

**For citation:** Lel Yu.I., Glebov I.A. Justification of Optimal Gradient of Steeply Inclined Ramps for All-Wheel Drive Dump Trucks Used in Diamond Deposit Completion. *Gornaya promyshlennost = Russian Mining Industry*. 2022;(1 Suppl.):95–99. DOI: 10.30686/1609-9192-2022-1S-95-99.



**Ю.И. Лель,**  
доктор технических наук,  
профессор, зав. кафедрой  
разработки месторождений  
открытым способом  
Уральского государственного  
горного университета



**И.А. Глебов,**  
младший научный сотрудник  
Института горного дела  
Уральского отделения РАН

## Введение

В настоящее время проектная глубина разработки алмазорудных (кимберлитовых) месторождений открытым способом увеличивается за счет внедрения перспективных технологий, а также нового добычного и транспортного оборудования. В 2008–2012 гг. Институтом «Якутнипроалмаз» и Институтом горного дела (ИГД УрО РАН) были разработаны научно-методические основы и проектные решения по вскрытию глубоких карьеров «Удачный» и «Ботуобинский» крутонаклонными автосъездами с применением шарнирно-сочлененных самосвалов (ШСС) САТ-740В грузоподъемностью 39,5 т [1]. Одним из важнейших параметров крутонаклонных автосъездов, определяющих эффективность эксплуатации полноприводных автосамосвалов в глубоких карьерах, является продольный уклон [2; 3]. ИГД УрО РАН были проведены исследования по определению рационального уклона для ШСС в карьере «Удачный» и разработаны «Временные рекомендации по безопасной эксплуатации ШСС на крутых уклонах»<sup>1</sup> [4]. Проведенные в условиях Удачинского ГОКа эксперименты показали способность шарнирно-сочлененных автосамосвалов безопасно транспортировать горную массу с загрузкой, близкой к номинальной, по автосъездам с уклоном до 24% при различных погодных условиях.

Несмотря на достаточно большой объем работ, проведенных институтами «Якутнипроалмаз» и ИГД УрО РАН, по обоснованию параметров вскрытия глубоких горизонтов карьеров крутонаклонными автосъездами в настоящее время отсутствуют теоретическое обоснование и однозначные рекомендации по величине оптимальных уклонов при эксплуатации полноприводных автосамосвалов в карьерных условиях. Это объясняется в первую очередь ограниченным опытом эксплуатации ШСС на отечественных глубоких карьерах. В связи с этим остается актуальным вопрос обоснования оптимального уклона автодорог для указанных моделей автотранспортных средств.

## Оптимизация уклонов карьерных автодорог

Рекламный характер большинства зарубежных публикаций не дает достаточного представления об уровне исследований, посвященных оптимизации уклонов карьерных автодорог при эксплуатации ШСС [5]. Исключение составляет публикация канадских ученых Дж. Коллинса, К. Фитаса и Рей К. Сингала. Однако в указанной работе рассматривается оптимизация уклона автодорог для автосамосвалов с гидромеханической трансмиссией только по одному критерию – производительности, что явно недостаточно.

По нашему мнению, в качестве критерия оптимизации уклонов карьерных автодорог при эксплуатации полноприводных автосамосвалов можно использовать физический критерий наименьшего действия. Методика обоснования оптимальных уклонов автодорог при эксплуатации моноприводных автосамосвалов на нагорно-глубинных карьерах, базирующаяся на принципе наименьшего действия, была разработана в Уральском государственном горном университете [6] Принцип наименьшего действия является наиболее общим физическим принципом, охватывающим все наблюдаемые и доступные наблюдению явления природы и дающим возможность вычислить на основании известных фактов прошедшие и в особенности будущие события [7]. Принцип наименьшего действия относится к интегральным вариационным принципам механики, согласно которым из всех возможных движений механической системы истинным является то, для которого некоторая физическая величина, называемая **действием**, имеет за время перемещения системы экстремум, обычно **минимум**. Наиболее распространенной формой представления принципа является форма Гамильтона. В указанной форме принцип наименьшего действия утверждает, что из всех возможных траекторий перемещения истинной будет та, для которой действие, равное интегралу от разности между кинетической и потенциальной энергией, соответствующей этим траекториям, имеет минимальное значение. Сторонниками и пропагандистами принципа наименьшего действия были великие физики Макс Планк и Илья Пригожин [7; 8]. В последние годы принцип

<sup>1</sup> Временные рекомендации по безопасной эксплуатации шарнирно-сочлененных самосвалов на крутых уклонах, на горных работах АК «АЛРОСА» (ЗАО). Согласовано начальником управления Государственного и металлургического надзора №13-02-ИД-01145-2008 / ИГД УрО РАН: Екатеринбург, 2008. 11 с.



наименьшего действия широко применяется для решения прикладных задач механики и термодинамики, в частности, для оптимизации параметров системы «жесткое колесо – деформируемый рельс», моделирования качения деформируемого колеса и др. [9]. С определенными допущениями этот принцип можно распространить на транспортные системы карьеров. В этом случае действие – это физическая величина, представляющая собой произведение количества энергии, расходуемой на перемещение горной массы транспортным средством, и времени его перемещения. Введенное нами понятие «удельное действие» ( $D$ ), позволяющее производить сравнение эффективности эксплуатации автосамосвалов различной грузоподъемности, представляет собой произведение удельных затрат энергии на подъем горной массы транспортным средством на 1 м и времени подъема горной массы на 1 м.

Можно записать

$$D = PT, \tag{1}$$

где  $D$  – удельное действие, г·с/т·м;  $P$  – величина удельных затрат энергии (дизельного топлива) автосамосвалом на подъем 1 т горной массы на 1 м, г/т·м;  $T$  – суммарное время движения автосамосвала по уклону в грузовом и порожняковом направлениях при подъеме горной массы на 1 м, с.

Преимущество критерия «удельное действие» по сравнению с удельной энергоемкостью ( $P$ ) и временем движения (производительностью) ( $T$ ) заключается в его комплексности. Оптимальный уклон по критерию удельного действия должен соответствовать минимальным удельным энергозатратам на подъем горной массы на 1 м при максимальной производительности транспортных средств (минимальном времени движения по уклону в грузовом и порожняковом направлениях).

Тогда удельное действие ( $D$ , г·с/т·м) при работе автосамосвалов на подъем горной массы [10]

$$D = \left[ \frac{2,725 \cdot 10^{-3} g_n (k_r + 1) \left( \frac{\omega_0}{i} + 1 \right)}{\eta_a \eta_k} + \frac{g_x}{1000 i G v_{\Pi}} \right] \times \left[ \frac{3,6 (G_a + k_r G) \left( \frac{\omega_0}{i} + 1 \right)}{0,367 N_d k_N \eta_a \eta_k} + \frac{3,6}{i v_{\Pi}} \right], \tag{2}$$

где  $G$  – грузоподъемность автосамосвала, т;  $G_a$  – собственная масса автосамосвала;  $k_r$  – коэффициент использования грузоподъемности;  $k_t$  – коэффициент тары автосамосвала;  $\omega_0$  – коэффициент сопротивления качению;  $i$  – уклон участка трассы;  $\eta_a$  – коэффициент полезного действия трансмиссии автосамосвала;  $g_n$  – удельный расход топлива при номинальной нагрузке двигателя, г/кВт·ч;  $g_x$  – удельный расход топлива при движении порожних автосамосвалов в тормозном режиме, кг/ч;  $v_{\Pi}$  – скорость порожнего автосамосвала на спуске с уклоном  $i$ , км/ч;  $k_N$  – коэффициент использования мощности двигателя;  $N_d$  – мощность двигателя, кВт;  $\eta_k$  – коэффициент полезного действия колеса.

Рассчитываем удельное действие для полноприводных автосамосвалов CAT-745C, планируемых для использования при доработке кимберлитовых карьеров АК «АЛРОСА». Техническая характеристика автосамосвала:  $G = 41$  т;  $G_a = 32,87$  т;  $k_r = 0,80$ ;  $k_t = 1,0$ ;  $N_d = 381$  кВт;  $g_n = 210$  г/кВт·ч;  $\eta_k = 0,9$ . Скорости на уклонах автодорог со щебеночным покрытием определяются по тягово-динамической и тормозной характеристикам автосамосвала, которые можно посмотреть в брошюре данной модели.

В этом случае формулу можно представить в упрощенном виде

$$D = \left[ \frac{2,725 \cdot 10^{-3} g_n (k_r + 1) \left( \frac{\omega_0}{i} + 1 \right)}{\eta_a \eta_k} + \frac{g_x}{1000 i G v_{\Pi}} \right] \times \tag{3}$$

где  $v_{\Pi}$ ,  $v_{\Pi}$  – скорости соответственно при движении груженого автосамосвала на подъем и порожнего при движении на спуске, установленные по тягово-динамической и тормозной характеристикам при суммарном сопротивлении движению  $(\omega_0 + i)$ , км/ч.

Выражением

$$\frac{g_x}{1000 i G v_{\Pi}}$$

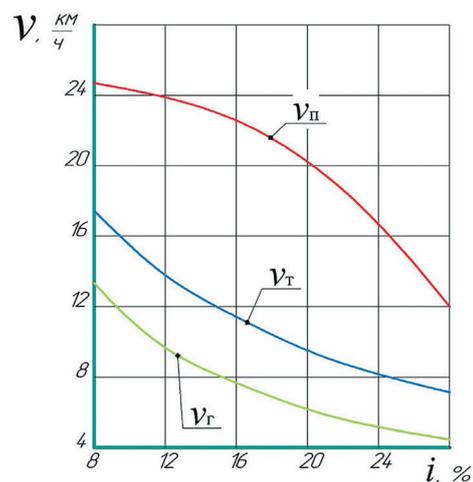
можно пренебречь, т.к. его значение не превышает 2–3% от общего расхода дизтоплива при движении в грузовом и порожняковом направлениях и не влияет на точность расчетов [10].

В формуле (3) переменными величинами, зависящими от суммарного сопротивления движению, являются также коэффициент полезного действия трансмиссии ( $\eta_a$ ) и удельный расход топлива при номинальной нагрузке двигателя ( $g_n$ ).

При известных значениях скоростей при движении на подъем  $\eta_a$  определяется из выражения

$$\eta_a = \frac{v_{r_i} (G_a + k_r G) (\omega_0 + i)}{0,367 N_d}, \tag{4}$$

где  $v_{r_i}$  – скорость груженого автосамосвала на уклоне  $i$  при сопротивлении качению  $\omega_0$ , км/ч, установленная по тягово-динамической характеристике автосамосвала, км/ч (рис. 1)

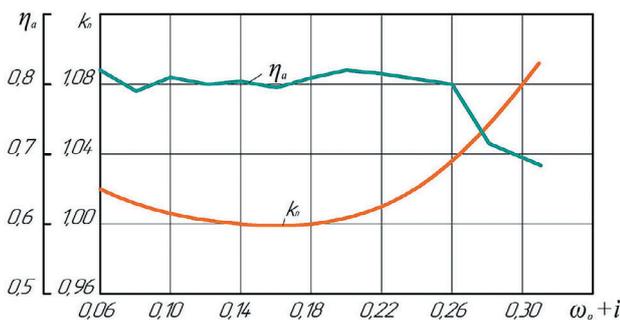


**Рис. 1**  
Зависимость скоростей движения автосамосвалов CAT-745C от величины продольного уклона ( $i$ ):  $v_{\Pi}$ ,  $v_{\Pi}$  – скорость движения груженого (на подъем) и порожнего (на спуск) автосамосвалов соответственно, км/ч;  $v_{ср}$  – среднетехническая скорость движения на автосъезде, км/ч

**Fig. 1**  
Dependence of the CAT-745C dump trucks speed on the rate of longitudinal slope ( $i$ ):  $v_{\Pi}$ ,  $v_{\Pi}$  is the tramping speed of loaded (uphill) and empty (downhill) dump trucks respectively, km/h;  $v_{ср}$  is the average tramping speed on the ramp, km/h

Расчетами, проведенными при изменении сопротивления качению от 0,02 до 0,04, характерного для щебеночно-го покрытия автодорог, и изменении продольного уклона автодорог от 0,04 до 0,28, установлены значения  $\eta_a$  для самосвалов CAT-745С. Установлено, что значение  $\eta_a$  в диапазоне изменения суммарного сопротивления движению 0,06–0,26 характеризуется относительной стабильностью и варьируется в диапазоне 0,79–0,82. При увеличении  $(\omega_0 + i)$  с 0,26 до 0,32  $\eta_a$  резко снижается до 0,68–0,72.

Удельный расход топлива при номинальной нагрузке двигателя ( $g_n$ ) – паспортная величина, характеризующая фактический расход топлива для получения одного кВт·ч полезной энергии. Вместе с тем  $g_n$  также не является постоянной величиной, а зависит от степени использования мощности двигателя и числа оборотов, которые, в свою очередь, определяются суммарным сопротивлением движению  $(\omega_0 + i)$ . На рис. 2 представлена зависимость поправочного коэффициента ( $k_n$ ), учитывающего изменение  $g_n$  в зависимости от суммарного сопротивления движению, полученная на основании топливно-экономической и тягово-динамической характеристики автосамосвала по методике И.С. Шлиппе [11]. При значительных нагрузках  $(\omega_0 + i > 0,22)$   $g_n$  увеличивается до 10% от номинального значения.



**Рис. 2**  
Зависимости КПД трансмиссии автосамосвала CAT-745С ( $\eta_a$ ) и поправочного коэффициента, учитывающего изменение удельного расхода топлива при номинальной нагрузке двигателя ( $k_n$ ), от суммарного сопротивления движению ( $\omega_0 + i$ )

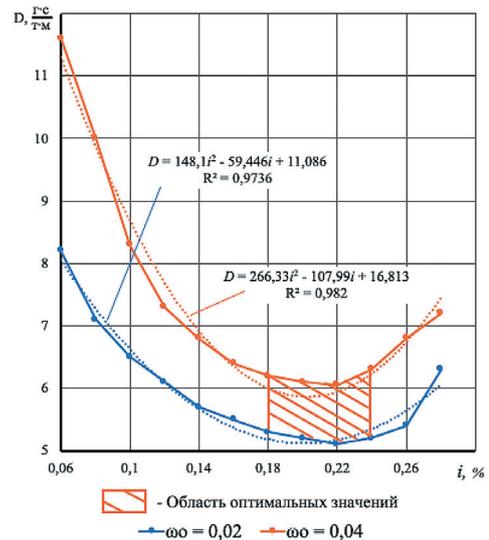
**Fig. 2**  
Dependences of the transmission efficiency of the CAT-745С dump truck ( $\eta_a$ ) and the correction factor that takes into account the change in specific fuel consumption at rated engine load ( $k_n$ ) on the total resistance to movement ( $\omega_0 + i$ )

Оптимальное значение уклонов по критерию удельного действия будет соответствовать условию

$$D \rightarrow \min. \quad (5)$$

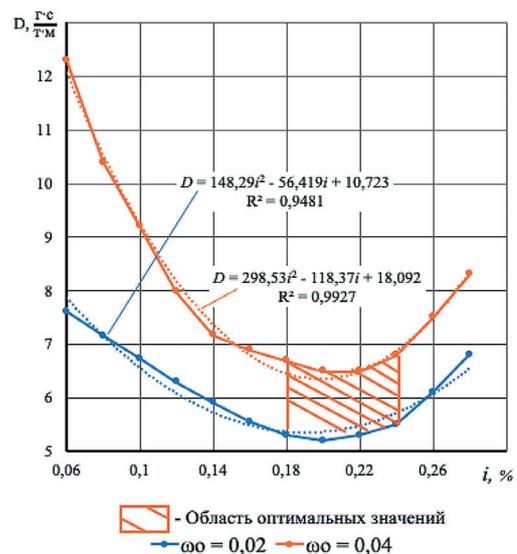
Установлено, что для автосамосвалов CAT-745С оптимальное значение уклонов автодорог со щебеночным покрытием в карьерных условиях по критерию удельного действия будет находиться в диапазоне 0,18–0,24 (3).

Аналогичные результаты получены для полноприводных автосамосвалов Komatsu HM400-5 (рис. 4). Технические характеристики самосвала:  $G = 40$  т;  $G_a = 35,05$  т;  $k_r = 0,88$ ;  $k_f = 1,0$ ;  $N_d = 353$  кВт;  $g_n = 210$  г/кВт·ч;  $\eta_k = 0,9$ .



**Рис. 3**  
Зависимость удельного действия ( $D$ ) автосамосвалов CAT-745С от продольного уклона автодороги ( $i$ ) и сопротивления качению ( $\omega_0$ )

**Fig. 3**  
Dependence of the specific action ( $D$ ) of the CAT-745С dump trucks on the rate of the road longitudinal slope ( $i$ ) and the rolling resistance ( $\omega_0$ )



**Рис. 4**  
Зависимость удельного действия ( $D$ ) автосамосвалов Komatsu HM400-5 от продольного уклона автодороги ( $i$ ) и сопротивления качению ( $\omega_0$ )

**Fig. 4**  
Dependence of the specific action ( $D$ ) of the Komatsu HM400-5 dump trucks on the rate of the road longitudinal slope ( $i$ ) and the rolling resistance ( $\omega_0$ )

### Заключение

Оптимальные уклоны по критерию наименьшего действия следует рассматривать как базовые значения, которые принимаются при проектировании транспортных систем глубоких карьеров. Установленный диапазон оптимальных уклонов для полноприводных автосамосвалов (0,18–0,24) не противоречит действующим нормативным документам, регламентирующим их эксплуатацию<sup>2</sup>. Вместе с тем предложенная методика позволяет дать четкое теоретическое (физическое) обоснование рациональных условий

<sup>2</sup> Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых»: утв. Приказом Ростехнадзора от 11.12.2013 №599. Екатеринбург: ИД «Урал Юр Издат»; 2015. 212 с.; СП 37.13330.2012 Промышленный транспорт. Актуализированная редакция СНиП 2.05.07-91\* (с изм. №1, 2, 3). Официальное издание. М.: Минрегион России, 2012. 248 с.



эксплуатации данных транспортных средств в глубоких карьерах. Окончательное решение по руководящим уклонам следует принимать на основе экономических критериев, учитывающих влияние уклона на технологические параметры горных работ, с учетом условий безопасной

эксплуатации и результатов опытно-промышленных испытаний на конкретных предприятиях. Расчеты следует проводить для конкретных моделей полноприводных самосвалов на основе их тягово-динамических характеристик.

### Список литературы

1. Зырянов И.В., Цымбалова А.И. Испытания САТ-740В на крутонаклонных съездах карьера «Удачный» АК «АЛРОСА». *Горное оборудование и электромеханика*. 2013;(9):22–25.
2. Brown D., Heather R. *Development of off-highway articulated dump trucks*. SAE Technical Paper, D.J.B. Engineering Ltd.; 1979. 12 p. <https://doi.org/10.4271/790538>
3. Haiyong T., Yanhua S., Wenming Z., Chun J. Slip ratio control for articulated dump truck based on fuzzy sliding mode. In: *2011 International Conference on Consumer Electronics, Communications and Networks (CECNet), Xianning, April 16–18, 2011*. IEEE; 2011, pp. 4404–4407. <https://doi.org/10.1109/CECNET.2011.5768560>
4. Яковлев В.Л., Мариев П.Л., Тарасов П.И., Войтов В.Т., Журавлев А.Г. Технологические и конструктивные основы повышения уклонов карьерных автодорог. *Горный журнал*. 2012;(1):78–81. Режим доступа: <https://www.rudmet.ru/journal/820/article/12516/>
5. Akdag S., Basarir H., Karpuz C., Ozyurt M. Stability analysis and optimized slope angle for the iron ore open-pit mine. In: *Proceedings of the 24th International Mining Congress and Exhibition of Turkey, Antalya, April 14–17, 2015*. The Chamber of Mining Engineers of Turkey; 2015, pp. 606–611. Available at: <https://research-repository.uwa.edu.au/en/publications/stability-analysis-and-optimized-slope-angle-for-the-iron-ore-ope>
6. Лель Ю.И., Горшков Э.В., Ермолаев А.И., Ворошилов Г. А., Неволин Д. Г., Довженок А.С. Обоснование оптимальных уклонов автодорог при разработке нагорно-глубинных карьеров. *Известия вузов. Горный журнал*. 2012;(2):5–12.
7. Планк М. *Единство физической картины мира*. М.: Наука; 1966. 288 с.
8. Пригожин И., Николис Г. *Познание сложного: введение*. М.; 1990. 344 с.
9. Веретенников В.Г., Сеницин В.А. Метод переменного действия. 2-е изд. М.: Физматлит; 2005. 272 с.
10. Лель Ю.И., Глебов И.А., Буднев А.Б., Исаков С.В., Ганиев Р.С. К обоснованию параметров крутонаклонных автосъездов при вскрытии глубоких горизонтов кимберлитовых карьеров. *Известия вузов. Горный журнал*. 2020;(7):21–32. <https://doi.org/10.21440/0536-1028-2020-7-21-32>
11. Артамонов М.Д., Иларионов В.А., Морин М.М. *Теория автомобиля и автомобильного двигателя*. М.: Машиностроение; 1968. 283 с.

### References

1. Zyryanov I.V., Tsymbalova A.I. Testing cat-740B on steeply inclined ramps of open pit “Udachny” of “ALROSA” OJSC. *Mining Equipment and Electromechanics*. 2013;(9):22–25. (In Russ.)
2. Brown D., Heather R. *Development of off-highway articulated dump trucks*. SAE Technical Paper, D.J.B. Engineering Ltd.; 1979. 12 p. <https://doi.org/10.4271/790538>
3. Haiyong T., Yanhua S., Wenming Z., Chun J. Slip ratio control for articulated dump truck based on fuzzy sliding mode. In: *2011 International Conference on Consumer Electronics, Communications and Networks (CECNet), Xianning, April 16–18, 2011*. IEEE; 2011, pp. 4404–4407. <https://doi.org/10.1109/CECNET.2011.5768560>
4. Yakovlev V.L., Mariev P.L., Tarasov P.I., Voitov V.T., Zhuravlev A.G. Technological and constructional grounds of raising of pit roads gradient. *Gornyi Zhurnal*. 2012;(1):78–81. Available at: (In Russ.) <https://www.rudmet.ru/journal/821/article/12652/>
5. Akdag S., Basarir H., Karpuz C., Ozyurt M. Stability analysis and optimized slope angle for the iron ore open-pit mine. In: *Proceedings of the 24th International Mining Congress and Exhibition of Turkey, Antalya, April 14–17, 2015*. The Chamber of Mining Engineers of Turkey; 2015, pp. 606–611. Available at: <https://research-repository.uwa.edu.au/en/publications/stability-analysis-and-optimized-slope-angle-for-the-iron-ore-ope>
6. Lel Yu. I., Gorshkov E.V., Ermolaev A.I., Voroshilov G.A., Nevolin D.G., Dovzhenok A.S. Justification of optimal highway slopes at working of mountain-deep opencast mines. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2012;(2):5–12. (In Russ.)
7. Plank M. *Unity of the physical picture of the world*. Moscow: Nauka; 1966. 288 p. (In Russ.)
8. Prigozhin I., Nikolis G. *Cognition of the complex: an introduction*. Moscow; 1990. 344 p. (In Russ.)
9. Veretennikov V.G., Sinicin V.A. *Variable action method*. 2<sup>nd</sup> ed. Moscow: Fizmatlit, 2005, 272 p. (In Russ.)
10. Lel Yu.I., Glebov I.A., Budnev A.B., Isakov S.V., Ganiev R.S. Rationale for the parameters of steeply inclined ramps of kimberlite pits deep horizons exposing. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2020;(7):21–32. (In Russ.) <https://doi.org/10.21440/0536-1028-2020-7-21-32>
11. Artamonov M.D., Ilarionov V.A., Morin M.M. *Theory of the automobile and the automobile engine*. Moscow: Mashinostroenie; 1968, 283 p. (In Russ.)

### Информация об авторах

**Лель Юрий Иванович** – доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой разработки месторождений открытым способом, Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Российская Федерация e-mail: [Lel49@mail.ru](mailto:Lel49@mail.ru)  
**Глебов Игорь Андреевич** – младший научный сотрудник, Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, Российская Федерация; e-mail: [i.glebov@igduran.ru](mailto:i.glebov@igduran.ru)

### Информация о статье

Поступила в редакцию: 12.10.2021  
 Поступила после рецензирования: 27.10.2021  
 Принята к публикации: 28.10.2021

### Information about the authors

**Yuri I. Lel** – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of the Department of Open-pit Mining, Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russian Federation; e-mail: [Lel49@mail.ru](mailto:Lel49@mail.ru)  
**Igor A. Glebov** – Junior Researcher, Institute of Mining of Ural Branch of RAS, Ekaterinburg, Russian Federation; e-mail: [i.glebov@igduran.ru](mailto:i.glebov@igduran.ru)

### Article info

Received: 12.10.2021  
 Revised: 27.10.2021  
 Accepted: 28.10.2021