

**Лель Юрий Иванович**

профессор, доктор технических наук,  
заведующий кафедрой разработки  
месторождений открытым способом (РМОС),  
Уральский государственный  
горный университет,  
620144, Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30,  
e-mail: [Lel49@mail.ru](mailto:Lel49@mail.ru)

**Арефьев Степан Александрович**

преподаватель кафедры РМОС,  
Уральский государственный  
горный университет,  
e-mail: [arefevsa@yandex.ru](mailto:arefevsa@yandex.ru)

**Дунаев Сергей Александрович**

аспирант кафедры РМОС,  
Уральский государственный  
горный университет,  
e-mail: [dunaev-ekb@yandex.ru](mailto:dunaev-ekb@yandex.ru)

**Глебов Игорь Андреевич**

студент IV курса кафедры РМОС,  
Уральский государственный  
горный университет

**РАЗВИТИЕ ИДЕЙ ЧЛЕН-КОРП. РАН  
В.Л. ЯКОВЛЕВА ПО УЧЕТУ ВЛИЯНИЯ  
ГОРНОТЕХНИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ  
ЭКСПЛУАТАЦИИ НА ПОКАЗАТЕЛИ  
КАРЬЕРНОГО АВТОТРАНСПОРТА**

*Аннотация:*

*Рассмотрено развитие идей В. Л. Яковлева по учету влияния горнотехнических условий эксплуатации на показатели карьерного автотранспорта. На основе результатов экспериментально-аналитических исследований разработана методика расчета горизонтальных эквивалентов и коэффициентов приведения фактических расстояний транспортирования к условному горизонтальному расстоянию с использованием расхода топлива, времени движения (производительности) автосамосвалов и действия. Предложены расчетные формулы для определения горизонтальных эквивалентов при работе автосамосвалов на подъем и спуск горной массы.*

*В результате апробации методики установлено, что использование горизонтальных эквивалентов позволяет повысить точность расчетов и значительно упростить процесс планирования и нормирования эксплуатационных показателей карьерных автосамосвалов, особенно в сложных горнотехнических условиях.*

*Ключевые слова:* горизонтальный эквивалент, коэффициент приведения, расход топлива, производительность, высота подъема горной массы, глубина спуска, карьеры

**Lel Yury. I.**

professor, doctor of technical sciences,  
the head of the department of mineral  
resources surface mining,  
the Ural State Mining University,  
620144, Yekaterinburg, Kuibishev st., 30,  
e-mail: [Lel49@mail.ru](mailto:Lel49@mail.ru)

**Arefjev Stepan A.**

a lecturer of the department of mineral  
resources surface mining,  
The Ural State Mining University,  
e-mail: [arefevsa@yandex.ru](mailto:arefevsa@yandex.ru)

**Dunaev Sergey A.**

a graduate student of the department  
of mineral resources surface mining,  
The Ural State Mining University  
e-mail: [dunaev-ekb@yandex.ru](mailto:dunaev-ekb@yandex.ru)

**Glebov Igor A.**

a fourth year student  
of the department of mineral  
resources surface mining,  
The Ural State Mining University

**THE PROGRESS OF V.L. YAKOVLEV'S  
IDEAS, THE CORRESPONDING MEMBER  
OF RAS, ON DUE REGARD FOR  
THE INFLUENCE OF TECHNICAL  
OPERATING CONDITIONS OF MINING  
UPON THE INDICES OF OPEN PIT MOTOR  
TRANSPORT PERFORMANCE**

*Abstract:*

*The progress of V.L. Yakovlev's ideas on due regard for the influence of technical operating conditions on the performance of open pit motor transport. In terms of the results of experimental and analytical investigations the procedure of calculation horizontal equivalents and coefficients reducing actual transport distances to the conditional horizontal distance using fuel consumption, travel time (performance) dump trucks and action is worked out. The formulas for calculating the horizontal equivalents for dump trucks ascent and descent operation with rock mass are proposed. As a result of the procedure testing it is set up that the use of horizontal equivalents allows to improve the accuracy of calculations and to simplify the process of planning and regulation the operational indicators of mining dump trucks, especially in difficult mining conditions.*

*Key words:* horizontal equivalent, reduction coefficient, fuel consumption capacity, rock mass lifting height, downgrade depth, open pits

Повышение эффективности работы карьерного автотранспорта неразрывно связано с учетом влияния сложности горнотехнических и дорожных условий эксплуатации, в частности высоты подъема и глубины спуска горной массы, на результирующие показатели (производительность, расход дизельного топлива, себестоимость транспортирования и т. п.). Наиболее полное отражение эти вопросы нашли в трудах член-корр. РАН В.Л. Яковлева [1 – 5]. Им рассмотрены методические аспекты учета влияния глубины карьера при оценке эффективности карьерного автотранспорта, получены зависимости изменения технико-экономических показателей от горнотехнических условий эксплуатации автосамосвалов. В.Л. Яковлевым предложено фактическую длину автомобильных трасс приводить к условному горизонтальному расстоянию транспортирования [3]. Такой подход получил дальнейшее развитие в исследованиях российских ученых-горняков и применяется на ряде горнодобывающих предприятий для оценки влияния горнотехнических условий на работу карьерного автотранспорта [6 – 10].

Общая длина трассы карьерных автосамосвалов  $L$  определяется следующим образом:

$$L = L_r + L_n + L_c, \quad (1)$$

где  $L_r$  – суммарная протяженность горизонтальных участков трассы, м;  $L_n$  – суммарная протяженность наклонных участков с уклоном  $i_n$  при движении груженых автосамосвалов на подъем, м;  $L_c$  – суммарная протяженность наклонных участков с уклоном  $i_c$  при движении груженых автосамосвалов на спуск, м.

Приведенное расстояние транспортирования ( $L_{пр}$ ) определится из выражений:

$$L_{пр} = L_r + H_n \mathcal{E}_n + H_c \mathcal{E}_c \quad \text{или} \quad L_{пр} = L + H_n \mathcal{E}'_n + H_c \mathcal{E}'_c, \quad (2)$$

где  $H_n, H_c$  – высота подъема (глубина спуска) горной массы, м;

$\mathcal{E}_n, \mathcal{E}_c$  – горизонтальные эквиваленты вертикального перемещения (подъема и спуска) горной массы, м/м. Горизонтальные эквиваленты показывают, какое расстояние транспортирования по горизонтальной карьерной автодороге эквивалентно подъему (спуску) горной массы по наклонному участку на высоту (глубину) 1 м;

$\mathcal{E}'_n, \mathcal{E}'_c$  – коэффициенты приведения, характеризующие приращение (сокращение) расстояния транспортирования по горизонтальной автодороге относительно фактического расстояния откатки при подъеме (спуске) горной массы на 1 м, м/м.

В свою очередь

$$\mathcal{E}'_n = \mathcal{E}_n - i_n^{-1} \quad \text{и} \quad \mathcal{E}'_c = \mathcal{E}_c - i_c^{-1}, \quad (3)$$

где  $i_n, i_c$  – уклон подъема (спуска) горной массы, доли ед.

Вместе с тем значительные расхождения в значениях горизонтальных эквивалентов и коэффициентов приведения, рекомендуемых авторами в настоящее время, препятствуют широкому внедрению указанного методического подхода в практику и объясняются следующими причинами:

- использованием различных критериев при расчете горизонтальных эквивалентов и коэффициентов приведения (расхода дизельного топлива, времени движения автосамосвалов по трассе, себестоимости транспортирования и т. п.);

- несовершенством методик расчета, не в полной мере учитывающих реальные режимы движения автосамосвалов в карьерах, расход топлива на отдельных участках трасс и т. п.;

- различием значений горизонтальных эквивалентов ( $\mathcal{E}_n, \mathcal{E}_c$ ) и коэффициентов приведения ( $\mathcal{E}'_n, \mathcal{E}'_c$ ).

При определении горизонтальных эквивалентов и коэффициентов приведения авторами использовались или экспериментально-статистический [3, 8], или аналитический [6, 7, 9] методы. Недостатком экспериментально-статистического метода является необходимость проведения большого объема экспериментальных работ. При этом полученные значения эквивалентов имеют частный характер, так как определяются для

конкретных горнотехнических и дорожных условий эксплуатации. При изменении параметров трасс и дорожных условий требуется постоянная корректировка значений эквивалентов. Аналитический метод характеризуется большей универсальностью, но в то же время меньшей точностью. Ряд элементов процесса движения автосамосвалов по внутрикарьерным трассам и расчет расхода топлива плохо поддаются аналитической формализации или эта формализация сложна для практического использования. По нашему мнению, это противоречие можно разрешить использованием комплексного экспериментально-аналитического метода, сочетающего достоинства и в значительной степени устраняющего недостатки перечисленных методов.

При определении горизонтальных эквивалентов и коэффициентов приведения целесообразно использовать два физических критерия – расход дизельного топлива и время движения (производительность) автосамосвалов. Использование указанных критериев имеет определенные преимущества перед денежной оценкой: оценка по предлагаемым физическим критериям является более стабильной и не подвержена инфляции. В этом случае наименьшее приведенное расстояние, определенное по расходу дизельного топлива, будет соответствовать трассе с минимальными энергетическими затратами на транспортирование горной массы, а определенное по времени движения – трассе с максимальной производительностью автотранспорта.

Следует отметить, что приведенные расстояния, установленные по расходу дизельного топлива, будут отличаться от установленных по времени движения (производительности) автосамосвалов. Поэтому в ряде случаев могут возникнуть затруднения в оценке условий эксплуатации автомобильного транспорта и выборе оптимальных трасс. Расход топлива и производительность автосамосвалов можно считать частными критериями, используемыми для строго определенных целей: нормирования и планирования производительности, расхода топлива, обоснования парка автосамосвалов и т. п. Для более глобальных целей: обоснования режима горных работ, оценки транспортных систем карьеров и выбора оптимальных автомобильных трасс – следует применять комплексный физический критерий – действие. Действие – это физическая величина, представляющая собой произведение количества энергии, расходуемой на перемещение объекта, и времени его перемещения. В физике известен принцип наименьшего действия – интегральный вариационный принцип, согласно которому из всех возможных движений механической системы истинным является то, для которого некоторая величина, называемая действием, имеет за время перемещения системы экстремум, обычно минимум. Сторонниками и пропагандистами принципа наименьшего действия были великие физики Макс Планк и Илья Пригожин [16, 17].

Действие является комплексным показателем, указывающим энергоёмкость и производительность транспортных систем:

$$D = PT, \quad (4)$$

где  $D$  – действие, г·ч;

$P$  – расход энергии (дизельного топлива) автосамосвалами по трассе в грузовом и порожняковом направлениях, г;

$T$  – суммарное время движения автосамосвала по трассе в грузовом и порожняковом направлениях, ч.

В нашем случае для экспресс-оценки автомобильных трасс в качестве действия правомерно использовать условный показатель ( $d$ ), равный произведению приведенного расстояния транспортирования, определенного по расходу топлива ( $L_{\text{пр}}^P$ , км) и времени движения (производительности) автосамосвала ( $L_{\text{пр}}^T$ , км).

$$d = L_{\text{пр}}^P L_{\text{пр}}^T, \quad (5)$$

Предпочтение должно отдаваться трассам с  $d \rightarrow \min$ , то есть обеспечивающим максимальную производительность автосамосвалов при наименьших энергозатратах.

На основе экспериментально-аналитических исследований, выполненных кафедрой Разработки месторождений открытым способом (РМОС) ФГБОУ ВПО «УГГУ» на карьерах ОАО «Ураласбест», ОАО АК «АЛРОСА» и других горнодобывающих предприятий разработана методика расчета горизонтальных эквивалентов и коэффициентов приведения по энергетическому критерию (расходу дизтоплива) и времени движения (производительности) автосамосвалов.

Горизонтальные эквиваленты определялись из следующих выражений.

По расходу дизельного топлива:

$$\mathcal{E}_n = P_n / P_r; \quad \mathcal{E}_c = P_c / P_r. \quad (6)$$

По времени движения (производительности):

$$\mathcal{E}_n = T_n / T_r; \quad \mathcal{E}_c = T_c / T_r, \quad (7)$$

где  $P_n, P_c$  – удельный расход дизельного топлива в грузовом и порожняковом направлениях при подъеме (спуске) горной массы на 1 м, г/(т·м);

$P_r$  – удельный расход дизельного топлива в грузовом и порожняковом направлениях при движении автосамосвалов по горизонтальной автодороге на 1 м длины пути, г/(т·м);

$T_n, T_c$  – время движения автосамосвала по уклону в грузовом и порожняковом направлениях при подъеме (спуске) горной массы на 1 м, с;

$T_r$  – время движения автосамосвала в грузовом и порожняковом направлениях при перемещении горной массы по горизонтальной автодороге на расстояние 1 м, с.

Полученные экспериментально аналитические выражения для расчета горизонтальных эквивалентов вертикального перемещения горной массы представлены в табл. 1, где  $k_T$  – коэффициент тары автосамосвалов;  $k_r$  – коэффициент использования грузоподъемности;  $\omega_0$  – коэффициент сопротивления качению груженых автосамосвалов, доли ед.;  $k_1$  – коэффициент, учитывающий расход топлива при движении порожних автосамосвалов на спуск в тормозном режиме ( $k_1 \approx 1,05 \div 1,07$ );  $k_2$  – коэффициент, учитывающий увеличение удельного расхода дизтоплива при номинальной нагрузке двигателя при движении порожних автосамосвалов по горизонтальной автодороге ( $k_2 \approx 1,1$  [8]);  $k_3$  – коэффициент, учитывающий увеличение  $\omega_0$  при движении порожних автосамосвалов ( $k_3 \approx 1,15 \div 1,2$  [9]);  $k_4$  – коэффициент, учитывающий расход топлива при движении груженых автосамосвалов на спуск в тормозном режиме ( $k_4 \approx 1,2 \div 1,3$ );  $N_{уд}$  – удельная мощность автосамосвала, кВт/т;  $\eta_a$  – коэффициент полезного действия трансмиссии автосамосвала;  $k_{Ni}$  – коэффициент использования мощности двигателя автосамосвала при движении по уклону  $i_n$ , доли ед.;  $k_{Nr}, k_{Nn}$  – коэффициент использования мощности двигателя груженых и порожних автосамосвалов при движении по горизонтальной автодороге, доли ед.;  $v_{ri}, v_{ni}$  – скорости груженых и порожних автосамосвалов при движении и на спуск в тормозном режиме, км/ч.

Таблица 1

**Экспериментально-аналитические выражения для расчета горизонтальных эквивалентов вертикального перемещения горной массы**

Технологическая схема движения	Горизонтальные эквиваленты вертикального перемещения горной массы, м/м	
	По расходу дизтоплива	По времени движения автосамосвалов
Подъем горной массы	$\mathcal{E}_n = \frac{k_1(k_T + k_r)(\omega_0 + i_n)}{i_n \omega_0 [k_T(1 + k_2 k_3) + k_r]}$	$\mathcal{E}_n = \frac{k_{Ni}^{-1}(\omega_0 + i_n) + 0,367 N_{уд} \eta_a v_{ni}^{-1}}{i_n \omega_0 [k_{Nn}^{-1} k_3 (1 + k_r k_T) + k_{Nr}^{-1}]}$
Спуск горной массы	$\mathcal{E}_c = \frac{k_2 k_3 k_4 k_r (\omega_0 + i_c)}{i_c \omega_0 [k_T(1 + k_2 k_3) + k_r]}$	$\mathcal{E}_c = \frac{(1 + k_r k_T)^{-1}(\omega_0 + i_c) k_{Ni}^{-1} + 0,367 N_{уд} \eta_a v_{ri}^{-1}}{i_c \omega_0 [k_{Nn}^{-1} k_3 (1 + k_r k_T) + k_{Nr}^{-1}]}$

Расчетные значения эквивалентов вертикального перемещения горной массы и коэффициентов приведения для автосамосвалов грузоподъемностью 30 – 120 т, эксплуатирующихся в условиях карьеров ОАО «Ураласбест», приведены в табл. 2.

Установлено, что значения горизонтальных эквивалентов и коэффициентов приведения при использовании в качестве критерия расхода топлива зависят от качества дорожного покрытия, уклона автодороги, коэффициента использования грузоподъемности автосамосвала, коэффициента тары, а также от эмпирических коэффициентов, учитывающих расход топлива груженых и порожних автосамосвалов в тормозных режимах, увеличение коэффициента сопротивления и удельного расхода топлива при номинальной нагрузке двигателя при движении порожних автосамосвалов. На значения коэффициентов приведения при использовании в качестве критерия времени движения, кроме перечисленных факторов, оказывают влияние удельная мощность автосамосвала и использование мощности двигателей на уклонах и горизонтальных участках автодорог.

Таблица 2

**Значения горизонтальных эквивалентов вертикального перемещения горной массы и коэффициентов приведения в условиях карьеров ОАО «Ураласбест» ( $\omega_0=0,020$ ;  $i_n$ ,  $i_c=0,08$ )**

Горизонтальные эквиваленты и коэффициенты приведения		Модель автосамосвала		
		БелАЗ-7540В (G = 30 т, $k_r=0,72$ , $k_r=1,0$ )	БелАЗ-7555В (G = 55 т, $k_r=0,73$ , $k_r=0,93$ )	БелАЗ-75125М, БелАЗ-7512 (G = 120 т, $k_r=0,75$ , $k_r=0,71$ )
Подъем горной массы	$\mathcal{E}_n, \text{м/м}$	$\frac{42,9}{25,4}$	$\frac{42,2}{25,9}$	$\frac{39,8}{23,6}$
	$\mathcal{E}'_n, \text{м/м}$	$\frac{30,4}{12,9}$	$\frac{29,7}{13,4}$	$\frac{27,3}{11,1}$
Спуск горной массы	$\mathcal{E}_c, \text{м/м}$	$\frac{26,0}{17,8}$	$\frac{26,8}{19,1}$	$\frac{29,6}{18,4}$
	$\mathcal{E}'_c, \text{м/м}$	$\frac{13,5}{5,3}$	$\frac{14,3}{6,6}$	$\frac{17,1}{5,9}$

Примечание: в числителе – по расходу дизельного топлива, в знаменателе – по времени движения (производительности) автосамосвалов

Наибольшее влияние на значения коэффициентов приведения оказывает качество дорожного покрытия ( $\omega_0$ ). Так, при изменении  $\omega_0$  с 0,040 до 0,010 при уклоне 8 % коэффициент приведения увеличивается с 13,2 до 64,7 м/м, то есть в 4,9 раза, при движении на подъем горной массы; при движении на спуск с 3,1 до 34,3 м/м, то есть в 11,1 раза (рис. 1).

Таким образом, улучшение качества дорожного покрытия на карьерах должно сопровождаться совершенствованием учета влияния горнотехнических условий эксплуатации (высоты подъема и глубины спуска горной массы) на показатели автотранспорта. На автодорогах со щебеночным покрытием значения эквивалентов при движении на подъем горной массы превышают соответствующие значения эквивалентов при движении на спуск в 2,6 – 3,2 раза.

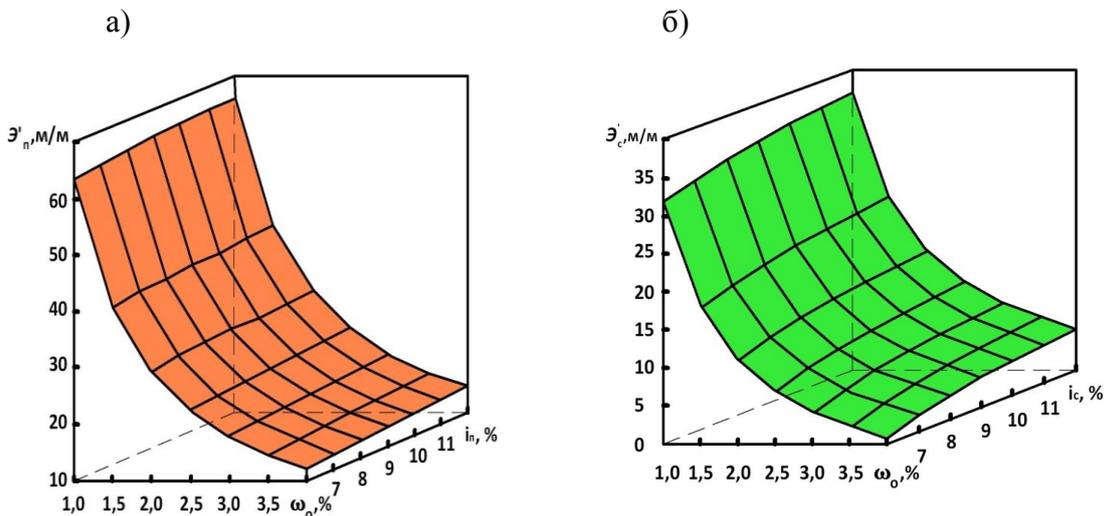


Рис. 1 – Зависимости коэффициентов приведения по расходу топлива ( $\mathcal{E}'_n, \mathcal{E}'_c$ ) для автосамосвалов БелАЗ-7540В от коэффициента сопротивления качению ( $\omega_0$ ) и руководящего уклона автодорог ( $i_n, i_c$ ):

а) – при работе на подъем горной массы; б) – при работе на спуск горной массы

Значения коэффициентов приведения на автодорогах со щебеночным покрытием по времени движения в 2,4 – 2,9 раза ниже, чем по расходу топлива. Это объясняется неполным использованием мощности двигателей в карьерных условиях и предопределяет различные подходы при учете горнотехнических и дорожных условий эксплуатации при нормировании и планировании производительности и расхода дизельного топлива. Разница между коэффициентами приведения, установленными по времени движения и расходу топлива, сокращается со снижением качества дорожного покрытия. На временных забойных автодорогах без покрытия эта разница почти отсутствует, что объясняется практически полным использованием мощности двигателей в указанных условиях (рис. 2).

Разработанная методика имеет достаточно широкую область практического применения при планировании и нормировании производительности и расхода дизельного топлива карьерных автосамосвалов, обосновании парка машин, режима горных работ, выборе оптимальных трасс и т. п.

В 2007 г. кафедрой РМОС были разработаны дифференцированные нормы расхода дизельного топлива автосамосвалами грузоподъемностью 30 – 120 т для карьеров ОАО «Ураласбест» с использованием экспериментальных замеров приборами FMS [11, 14]. Дифференциация норм производилась по расстоянию откатки и высоте подъема (глубине спуска) горной массы. Произведено сравнение дифференцированных норм, фактических значений расхода за транспортный цикл и норм, рассчитанных с использованием коэффициентов приведения (табл. 3).

Установлено, что расхождение в значениях расхода топлива, рассчитанных с использованием коэффициентов приведения, с фактическими составляет 0,6 – 4,9 %, что не превышает точности расчетов. Таким образом, использование коэффициентов приведения позволяет повысить точность расчетов и значительно упростить процесс нормирования расхода дизельного топлива, особенно в сложных условиях, когда трассы сочетают подъемы и спуски горной массы. В этом случае процесс нормирования будет заключаться в установлении базовых закономерностей изменения расхода топлива от расстояния транспортирования по горизонтальной автодороге с соответствующим покрытием и коэффициента использования грузоподъемности, расчете значений гори-

горизонтальных эквивалентов (коэффициентов приведения) и приведенных расстояний транспортирования [15].

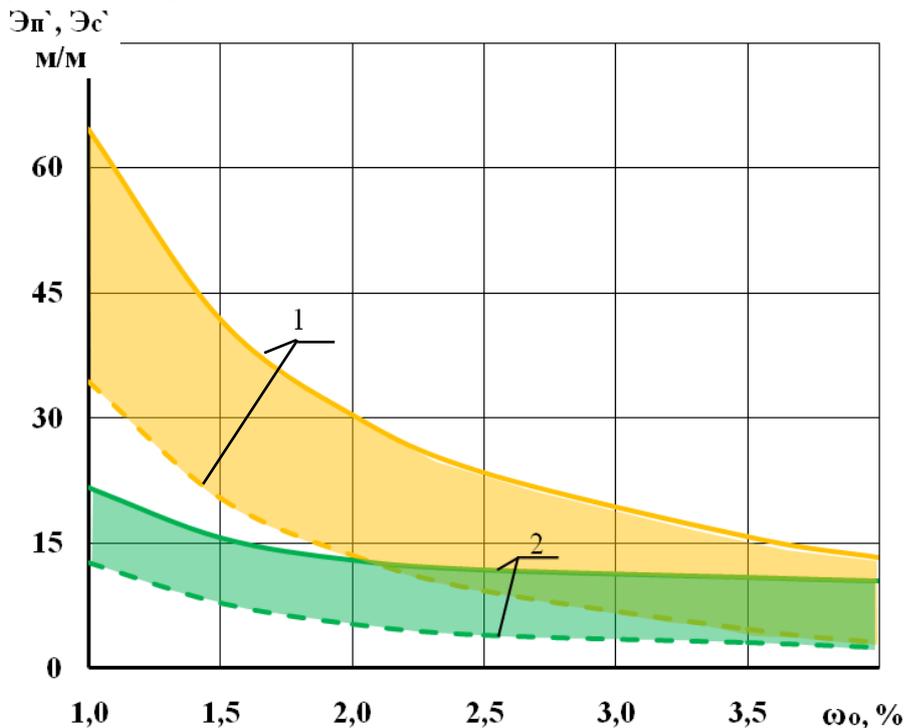


Рис. 2 – Зависимости коэффициентов приведения ( $\mathcal{E}'_п, \mathcal{E}'_с$ ) от коэффициента сопротивления качению ( $\omega_0$ ) (для автосамосвалов БелАЗ-7540В;  $i_п(i_c) = 0,08$ ;  $k_r = 1,0$ ):

1 – при использовании в качестве критерия расхода дизельного топлива;  
2 – при использовании в качестве критерия времени движения (производительности) автосамосвалов;  
— при работе на подъем горной массы; — при работе на спуск горной массы

Таблица 3

**Оценка методов расчета норм расхода дизельного топлива карьерными автосамосвалами в условиях карьеров ОАО «Ураласбест»**

Маршрут	Модель автосамосвала	Параметры трассы				Расход топлива, л/рейс		
		L, км	H <sub>п</sub> , м	H <sub>с</sub> , м	L <sub>пр</sub> , км	факт	норма	
							дифференцированная	на основе эквивалентов
336–308*	БелАЗ-7512М	2,7	85,0	42,0	5,7	32,5	33,1/1,8**	32,0/–1,5
336–309		3,3	45,0	37,0	5,2	30,8	30,3/–1,6	29,3/–4,9
336–338		2,9	90,4	54,4	6,3	34,7	35,7/2,9	34,5/–0,6
274–309	БелАЗ-7555В	2,8	80,0	43,0	5,8	14,2	15,0/5,6	14,5/2,1
303–309		2,4	43,0	33,0	4,2	11,8	11,2/–5,1	11,5/–2,5
336–309		3,3	43,0	33,0	5,1	13,3	13,3/0	12,9/–3,0
274–262		1,4	82,0	0	3,8	10,0	10,9/9,0	10,3/3,0
276–262		3,6	225,0	8,0	10,3	26,1	25,8/–1,1	25,5/–2,3
Средняя относительная ошибка, %							3,4	2,5

\* 336-308 – движение от экскаватора № 336 к перегрузочному пункту № 308;

\*\* в числителе – норма расхода топлива, л; в знаменателе – относительная ошибка расчета, %

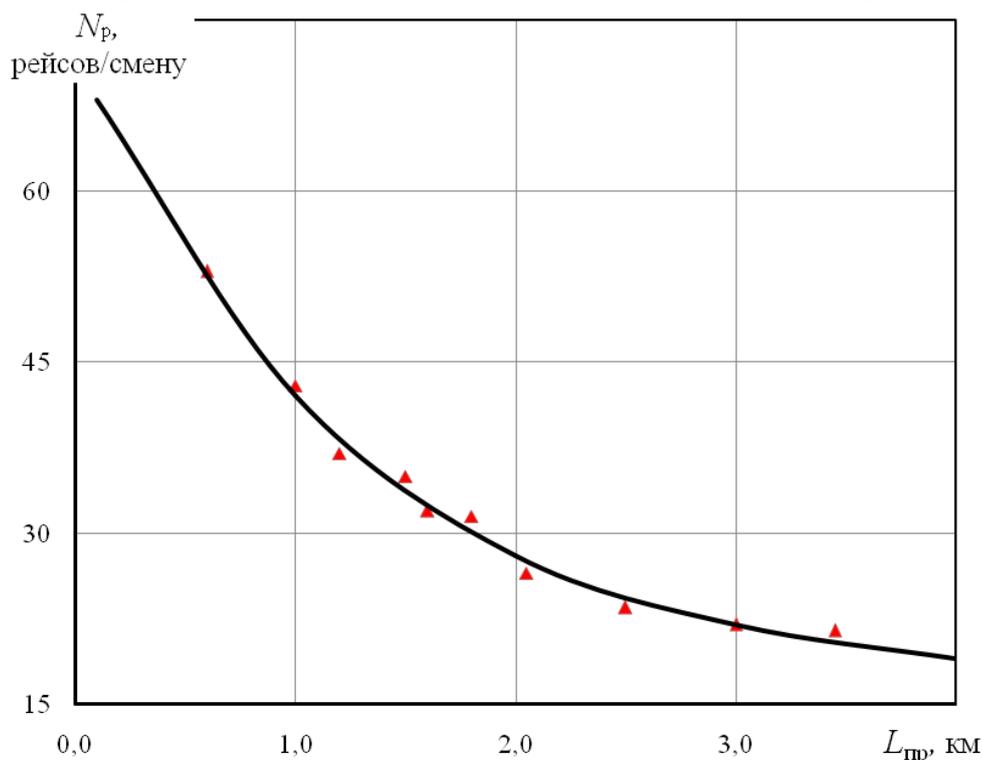


Рис. 3 – Зависимость производительности автосамосвалов БелАЗ -7540В от приведенного расстояния транспортирования (ОАО «Ураласбест»):

— расчетные данные; ▲ – фактические показатели

Апробация методики расчета нормативов производительности автосамосвалов с использованием коэффициентов приведения по времени движения в условиях карьеров ОАО «Ураласбест» также показала высокую сходимость расчетных и фактических значений производительности ( $\varepsilon < 5\%$ ) (рис. 3).

### Литература

1. Васильев М.В. Научные основы проектирования карьерного транспорта / М.В. Васильев; под ред. Н.В. Мельникова. – М.: Наука, 1972. – 202 с.
2. Яковлев В.Л. К вопросу учета влияния глубины карьера на эффективность автомобильного транспорта / М.В. Васильев, В.Л. Яковлев // Горнорудное производство. Совершенствование транспорта рудных карьеров. – Свердловск, 1977. – С. 8-13. – (Сб. науч. тр. / ИГД МЧМ СССР– Вып 54.).
3. Яковлев В. Л. Теория и практика выбора транспорта глубоких карьеров / В.Л. Яковлев. - Новосибирск: Наука, 1989. – 230 с.
4. Яковлев В. Л. Новый взгляд на карьерный автомобильный транспорт / В.Л. Яковлев и др. // Изв. вузов. Горный журнал. – 2006. - № 6. – С. 97-107.
5. Яковлев В. Л. Новые специализированные виды транспорта для горных работ / В.Л. Яковлев, П.И. Тарасов, А.Г. Журавлев. – Екатеринбург: УрО РАН, 2011. – 375 с.
6. Качан А.Ф. Определение зависимости грузооборота карьерного транспорта от глубины карьера при помощи эквивалента вертикального тонно-километра / А.Ф. Качан // Горный журнал. – 1975. – № 11. – С. 29-30.
7. Кучерский Н.И. Современные технологии при освоении коренных месторождений золота. / Н.И. Кучерский – М.: Издательский дом «Руды и металлы», 2007. – 696 с.

8. Галкин В.А. Горизонтальный эквивалент вертикального перемещения горной массы карьерными автосамосвалами / В.А. Галкин, Г.А. Караулов, В.Н. Сидоренков // Изв. вузов. Горный журнал – 1983. – № 7. – С. 14-18.
9. Вашлаев И.И. Определение горизонтального эквивалента перемещения горной массы автомобильным транспортом по энергетическому критерию при движении на уклонах / И.И. Вашлаев, А.В. Селиванов // Изв. вузов. Горный журнал. – 1997. – № 9-10. – С. 78-80.
10. Единые нормы выработки на открытые горные работы для предприятий горнодобывающей промышленности. Ч. IV. Эскавация и транспортирование горной массы автосамосвалами: утв. 03.02.1988 Госком СССР по труду и соц. вопросам. – М.: НИИ труда, 1989. – 82 с.
11. Ильбульдин Д.Х. Оценка эффективности систем контроля расхода топлива на горной и автомобильной технике / Д.Х. Ильбульдин, Ю.И. Лель, Э.В. Горшков // Геотехнологические проблемы комплексного освоения недр. - Екатеринбург, 2009. – С. 363-372.- (Сб. науч. тр./ИГД УрО РАН. – Вып. 5(95).
12. Обоснование оптимальных уклонов автодорог при разработке нагорно-глубинных карьеров / Ю.И. Лель, Э.В. Горшков, А.И. Ермолаев, Г.А. Ворошилов, Д.Г. Неволин, А.С. Довженок // Изв. вузов Горный журнал, 2012. – № 2. – С. 5-13.
13. Смирнов В. П. Теория карьерного большегрузного автотранспорта / В.П. Смирнов, Ю. И. Лель. – Екатеринбург: УрО РАН, 2002. – 355 с.
14. Разработать удельные нормы расхода топлива для карьерных технологических авто самосвалов и линейные нормы для вспомогательных машин на шасси БелАЗ в условиях ОАО «Ураласбест»: отчет о НИР (закл.). Части I, II./ ООО «НПО УГГУ». рук. Лель Ю. И. – Екатеринбург, 2007. – 107 с.
15. Совершенствование нормирования расхода топлива карьерными автосамосвалами на основе горизонтальных эквивалентов вертикального перемещения горной массы / Ю.И. Лель и др. // Изв. вузов. Горный журнал. – 2014. – № 2. – С. 107-116.
16. Планк М. Единство физической картины мира/ М. Планк. – М.: Наука. 1966. – 288 с.
17. Пригожин И. Современная термодинамика: от тепловых двигателей до диссипативных структур / И. Пригожин, Д. Кондепуки; пер. с англ. – М.: Мир, 2002. – 461 с.