

Код МРНТИ 52.13.17

О.Г. Хайитов<sup>1</sup>, Л.Ш. Саидова<sup>2</sup>, А.А. Умирозов<sup>1</sup>, Ш.Б. Турсунов<sup>1</sup><sup>1</sup>Ташкентский государственный технический университет им. Ислама Каримова (г. Ташкент, Узбекистан),  
<sup>2</sup>Навоийское отделение академии наук Республики Узбекистан (г. Ташкент, Узбекистан)

## МЕТОДИКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ ГЛУБОКОГО КАРЬЕРА

**Аннотация.** В статье рассмотрены и обоснованы основные направления повышения энергетической эффективности транспортных систем глубоких карьеров при использовании большегрузных карьерных автосамосвалов с грузоподъемностью 220 т. Среди технологических факторов сокращения расхода дизельного топлива в транспортных системах карьеров особое внимание должно уделяться поддержанию объемов и расстояний автоперевозок на минимальном технологически необходимом уровне, а также перераспределению объемов со сборочного на магистральные виды транспорта, характеризующиеся более высокими показателями энергетической эффективности. Это обеспечивается внедрением мобильных комплексов циклично-поточной технологии, крутонаклонных конвейеров, повышенных уклонов (до 60%) и тоннельного вскрытия при железнодорожном транспорте.

**Ключевые слова:** карьер, транспорт, энергоёмкость, расчет, процесс, метод, автоперевозка, оценка, погрузка, разгрузка, маневр, период ожидания, горные работы.

### Терең карьердің көлік жүйелерінің энергетикалық мониторингі әдістемесі

**Аңдатпа.** Мақалада жүк көтергіштігі 220 тонна ауыр карьерлік автосамосвалдарды пайдалану кезінде терең карьерлердің көлік жүйелерінің энергия тиімділігін арттырудың негізгі бағыттары талқыланып, негізделеді. Дизельдік отын мен карьерлік көлік жүйелерін тұтынуды азайтудың технологиялық факторларының ішінде жүк тасымалдау көлемі мен қашықтығын ең аз технологиялық қажетті деңгейде ұстауға, сондай-ақ көлемді құрастырудан негізгі көлік түрлеріне қайта бөлуге ерекше назар аудару қажет жоғары энергия тиімділігімен. Бұл теміржол көлігінде циклдік ағын технологиясы жылжымалы кешендерін, тік көлбеу конвейерлерді, ұлғайтылған еністерді (60%-ға дейін) және туннельдерді ашуды енгізу арқылы қамтамасыз етіледі.

**Түйінді сөздер:** карьер, көлік, энергия сыйымдылығы, есептеу, процесс, әдіс, жүк тасымалдау, бағалау, тиеу, түсіру, маневр, кезең, куту, тау-кен өндіру.

### Methodology for energy monitoring of transport systems of a deep quarry

**Abstract.** The article discusses and substantiates the main directions for increasing the energy efficiency of transport systems of deep pits when using heavy-duty quarry dump trucks with a carrying capacity of 220 tons. Among the technological factors for reducing the consumption of diesel fuel and quarry transport systems, special attention should be paid to maintaining the volume and distance of trucking at the minimum technologically necessary level, as well as redistributing volumes from assembly to main modes of transport, characterized by higher energy efficiency. This is ensured by the introduction of cycle-flow technology mobile complexes, steeply inclined conveyors, increased slopes (up to 60%) and tunnel opening in railway transport.

**Key words:** quarry, transport, energy intensity, calculation, process, method, trucking, assessment, loading, unloading, maneuver, period, waiting, mining.

### Введение

В последние годы энергетический метод оценки открытых горных работ наибольшее отражение получил в трудах проф. И.А. Тангаева. В технологическом процессе метода выделяются три энергетические составляющие.

1. Теоретическая энергоёмкость процесса – расчетное удельное количество энергии, необходимое для заданного изменения физического состояния и пространственного положения объекта.

2. Удельное энергопотребление – полное количество энергии, израсходованной в данном технологическом процессе на единицу продукции.

3. Удельная энергоёмкость процесса – физическое удельное количество энергии, расходуемой в реальном технологическом процессе на изменение физического состояния и пространственного положения единицы массы или объема породы. При этом удельную энергоёмкость процесса  $\mathcal{E}_\phi$  (МДж/т, МДж/м<sup>3</sup>) рекомендуется определять в виде разности:

$$\mathcal{E}_\phi = \mathcal{E} - kN_{xx}T/Q, \quad (1)$$

где  $\mathcal{E}_\phi$  – удельное энергопотребление, МДж/т (МДж/м<sup>3</sup>);

$k$  – коэффициент пропорциональности;

$N_{xx}$  – мощность холостого хода системы, кВт;

$T$  – время проведения измерений, ч;

$Q$  – фактическая производительность, т (м<sup>3</sup>).

Установлено, что под удельной энергоёмкостью понимается разность между полным количеством энергии, израсходованной в данном процессе на единицу продукции, и количеством энергии, затраченной на холостой ход (нулевой пробег) системы. В машинах

циклического действия, наиболее распространенных на карьерах, так называемый холостой ход является неотъемлемой составляющей технологического процесса. Более того, затраты энергии на холостой ход могут быть в ряде случаев преобладающими [1]. В связи с этим, в дальнейшем под удельной энергоёмкостью принято полное количество энергии, израсходованной в данном технологическом процессе на единицу продукции, т. е. то же, что удельное энергопотребление.

Опыт исследований, подкрепленный анализом технической литературы, свидетельствуют о том, что этот критерий действительно является универсальным и может быть применен в самых различных сферах материального производства. Такой подход получил наибольшее распространение в практике открытых горных работ.

Удельная энергоёмкость технологической схемы горных работ определяется суммой удельных энергоёмкостей отдельных технологических процессов:

$$\omega_{mc} = \sum_{i=1}^n \omega_i = \omega_\sigma + \omega_\alpha + \omega_\beta + \omega_m + \omega_{op} + \omega_n + \omega_o, \quad (2)$$

где  $\omega_i$  – удельная энергоёмкость  $i$ -го технологического процесса, кДж/т;

$n$  – количество технологических процессов;

$\omega_\sigma, \omega_\alpha, \omega_\beta, \omega_m, \omega_{op}, \omega_n, \omega_o$  – удельная энергоёмкость, соответственно, процессов бурения, взрывания, экскавации, транспортирования, дробления, перегрузки и отвалообразования, кДж/т.

При энергетической оценке транспортных систем глубоких карьеров возникают два ключевых вопроса, требующих решения.

Первый связан с приведением тепловой энергии дизельного топлива, потребляемой автотранспортом. Второй связан с выбором и обоснованием критерия

Таблица 1

Изменение показателей работы технологического комплекса при перевозке горной массы автосамосвалами различных моделей на карьере Мурунтау во времени

Кесте 1

Мұрынтау қарьерінде тау-кен массасын әртүрлі үлгідегі автосамосвалдармен тасымалдау кезіндегі технологиялық кешен көрсеткіштерінің уақытында өзгеруі

Table 1

Changes in the performance of the technological complex during the transportation of rock mass by dump trucks of various models at the Muruntau quarry in time

Модель а/м	Показатели	январь 2020 г.	февраль 2020 г.	март 2020 г.	1 квартал 2020 г.	апрель 2020 г.	май 2020 г.	июнь 2020 г.	6 мес. 2020 г.	июль 2020 г.	август 2020 г.
<i>всего по Мурунтау</i>											
	Удельный расход топлива, г/т·км	90,2	91,5	90,9	90,8	89,7	86,6	90,9	89,9	91,9	93,1
	Линейный расход топлива, л/100 км	867,1	876,4	872,3	871,8	897,6	871,0	911,2	882,4	918,8	916,0
	Среднее расстояние, км	3,76	3,66	3,80	3,74	3,87	4,11	3,91	3,85	4,08	3,89
	Средняя высота подъема, м	128,2	128,8	143,6	133,7	145,1	144,1	144,6	139,2	159,0	150,1
	Коэффициент использованного пробега	0,483	0,488	0,489	0,486	0,494	0,495	0,494	0,490	0,493	0,490
	Средняя загрузка а/м, т	172,0	173,9	173,8	173,2	172,5	172,4	172,4	172,8	171,3	173,7
<i>в том числе по маркам а/м</i>											
БелАЗ 75310(5) «М»	Удельный расход топлива, г/т·км	94,6	90,8	90,8	92,1	91,3	90,3	96,9	92,4	99,4	99,0
	Линейный расход топлива, л/100 км	1078,1	1075,7	1064,0	1072,5	1104,5	1098,2	1164,4	1097,8	1190,0	1169,5
	Среднее расстояние, км	4,31	4,32	4,26	4,29	4,69	4,93	4,56	4,51	4,88	4,24
	Средняя высота подъема, м	170,1	166,0	171,4	169,3	195,0	203,2	200,6	184,4	224,6	179,5
	Коэффициент использованного пробега	0,491	0,494	0,496	0,494	0,501	0,502	0,500	0,497	0,500	0,500
	Средняя загрузка а/м, т	207,1	208,7	207,6	207,8	208,8	209,1	209,3	208,4	208,3	209,4
БелАЗ 75310 «М»	Удельный расход топлива, г/т·км	95,0	92,0	91,5	93,1	92,9	92,1	97,9	93,5	103,1	97,5
	Линейный расход топлива, л/100км	1112,9	1064,4	1030,0	1073,6	1091,2	1084,8	1171,7	1091,5	1166,8	1133,5
	Среднее расстояние, км	4,19	3,81	3,58	3,88	4,19	4,75	4,49	4,15	4,62	4,20
	Средняя высота подъема, м	154,0	124,5	116,2	133,1	155,6	189,4	194,2	153,8	208,8	174,9
	Коэффициент использованного пробега	0,487	0,481	0,480	0,483	0,490	0,487	0,488	0,486	0,476	0,486
	Средняя загрузка а/м, т	207,6	208,9	208,9	208,4	208,7	208,3	208,8	208,5	209,7	210,7

**Таблица 1**  
**Изменение показателей работы технологического комплекса при перевозке горной массы автосамосвалами различных моделей на карьере Мурунтау во времени (продолжение)**

**Кесте 1**  
**Мұрынтау қарьерінде тау-кен массасын әртүрлі үлгідегі автосамосвалдармен тасымалдау кезіндегі технологиялық кешен көрсеткіштерінің уақытында өзгеруі (жалғастыру)**

**Table 1**  
**Changes in the performance of the technological complex during the transportation of rock mass by dump trucks of various models at the Muruntau quarry in time (continuation)**

Модель а/м	Показатели	январь 2020 г.	февраль 2020 г.	март 2020 г.	1 квартал 2020 г.	апрель 2020 г.	май 2020 г.	июнь 2020 г.	6 мес. 2020 г.	июль 2020 г.	август 2020 г.
БелАЗ 75307 «М»	Удельный расход топлива, г/т·км	81,8	78,5	76,6	78,9	76,8	71,0	76,1	76,5	77,8	76,0
	Линейный расход топлива, л/100 км	857,4	858,2	829,9	847,9	865,0	816,5	857,2	846,6	897,1	886,4
	Среднее расстояние, км	2,73	2,42	2,46	2,53	3,13	3,52	3,48	2,93	3,55	3,37
	Средняя высота подъема, м	77,4	52,1	60,8	63,4	87,3	83,9	89,1	74,5	113,9	110,4
	Коэффициент использованного пробега	0,450	0,464	0,458	0,457	0,479	0,479	0,485	0,470	0,483	0,474
	Средняя загрузка а/м, т	210,3	212,2	213,5	212,1	210,2	209,5	209,9	211,0	213,7	209,6
САТ 789 «М»	Удельный расход топлива, г/т·км	80,4	70,6	75,3	75,4	75,8	70,2	72,9	74,1	75,4	75,5
	Линейный расход топлива, л/100 км	747,7	742,6	794,1	762,8	784,7	676,5	731,4	745,0	762,6	786,3
	Среднее расстояние, км	3,31	3,05	4,26	3,50	3,66	3,79	3,58	3,59	3,65	3,58
	Средняя высота подъема, м	102,4	93,1	166,4	118,4	132,5	88,3	110,6	114,4	128,4	139,2
	Коэффициент использованного пробега	0,481	0,500	0,515	0,499	0,517	0,512	0,512	0,507	0,512	0,498
	Средняя загрузка а/м, т	169,9	174,8	173,0	172,6	170,8	164,2	172,5	170,7	173,7	173,2
БелАЗ 7513 «М»	Удельный расход топлива, г/т·км	87,6	104,2	101,8	97,6	96,6	90,8	90,9	95,1	89,6	95,6
	Линейный расход топлива, л/100 км	638,0	685,2	683,4	669,1	668,1	647,4	652,4	662,6	656,2	683,4
	Среднее расстояние, км	3,49	3,42	3,56	3,49	3,07	3,28	3,23	3,33	3,41	3,64
	Средняя высота подъема, м	95,1	120,0	133,7	115,9	102,1	101,5	94,5	107,3	103,2	123,4
	Коэффициент использованного пробега	0,480	0,483	0,481	0,481	0,482	0,486	0,485	0,483	0,484	0,481
	Средняя загрузка а/м, т	130,3	129,8	128,6	129,6	131,6	133,4	131,6	130,9	132,0	131,9

оценки энергетической эффективности транспортных систем глубоких карьеров.

Исследование зависимости энергоемкости при использовании автомобильного транспорта показало, что в общем виде расход дизельного топлива автосамосвалом за транспортный цикл ( $Q_{ц}$ , л) определяется так:

$$Q_{ц} = Q_{дг} + Q_{дп} + Q_{п} + Q_{р} + Q_{м} + Q_{о}, \quad (3)$$

где  $Q_{дг}$ ,  $Q_{дп}$  – расход топлива, соответственно, на движение с грузом и порожняком, л;

$Q_{п}$ ,  $Q_{р}$ ,  $Q_{м}$ ,  $Q_{о}$  – расход топлива, соответственно, при погрузке, разгрузке, маневровых операциях, а также в период ожидания погрузки, л.

В развернутом виде:

$$Q_{ц} = \sum_{j=1}^n l_j (q_{дгj} + q_{дпj}) + [q_x(t_{п} + t_{о})] = q_{мп} t_{мп} + q_p t_p / 60, \quad (4)$$

где  $n$  – количество участков трассы;

$l_j$  – длина  $j$ -го участка трассы, км;

$q_{дгj}$ ,  $q_{дпj}$  – удельный расход топлива, соответственно, груженых и порожних автосамосвалов на  $j$ -м участке трассы, л/км;

$q_x$ ,  $q_{мп}$ ,  $q_p$  – удельный расход топлива, соответственно, на холостом ходу двигателя, на маневровых операциях и при разгрузке л/км;

$t_{п}$ ,  $t_{о}$ ,  $t_{мп}$ ,  $t_p$  – продолжительность, соответственно, погрузки, ожидания погрузки, маневровых операций и разгрузки, мин.

Удельный расход топлива груженых и порожних автосамосвалов (л/км) при движении на  $j$ -м горизонтальном участке трассы или на подъем ( $i \geq 0$ ) и работе двигателей в тяговом режиме рассчитывается:

$$g_{дг(п)_o} = [g_H(G_a + k_r G)(\omega_{oj} + i_j)k_{пj}] / (3,67 \times 10^2 \times \eta_a \rho), \quad (5)$$

где  $g_H$  – удельный расход топлива при номинальной нагрузке двигателя, г/кВт·ч;

$G_a$  – собственная масса автосамосвала, т;

$G$  – грузоподъемность автосамосвала, т;

$\omega_{oj}$  – коэффициент сопротивления качению на  $j$ -ом участке трассы;

$i_j$  – уклон  $i$ -го участка трассы;

$k_{пj}$  – поправочный коэффициент, учитывающий изменение величины  $g_H$  в реальных условиях на  $j$ -м участке трассы;

$\eta_a$  – коэффициент полезного действия трансмиссии автосамосвала;

$\rho$  – плотность дизельного топлива ( $\rho = 0,825-0,865$  кг/л).

Для наиболее объективного сравнения энергетической эффективности транспортных средств карьерного автотранспорта и оценки их технического уровня в качестве дополнительного критерия может быть принято удельное действие. Эту величину можно выразить как удельное действие, равное удельному расходу топлива на время транспортирования 1 т горной массы на высоту 1 м [2, 3].

Таким образом, время подъема 1 т горной массы на высоту 1 м можно рассчитать:

$$t = L/V, \text{ с.} \quad (6)$$

$L$  (м) – путь, пройденный карьерным автосамосвалом при транспортировании 1 т горной массы на высоту 1 м:

$$L = H/i = 1/1000i. \quad (7)$$

$V$  (км/ч) – скорость движения автосамосвала на подъеме – может быть определена как:

$$V = 0,367 \times N \times \eta_a \times k_N / [(G_a + k_r G)(\omega_o + i)]. \quad (8)$$

Подставив в выражение (6) значение скорости  $V$  и расстояния транспортирования  $L$  при подъеме 1 т горной массы на высоту 1 м, получим формулу для расчета времени транспортирования:

$$t = [(G_a + k_r G)(\omega_o + i)] / (0,367 \times N_{д} \times 1000i \times \eta_a \times k_N), \text{ с.} \quad (9)$$

где  $N_{д}$  – полная мощность двигателя автосамосвала, кВт;

$N_{yo}$  – удельная мощность двигателя автосамосвала, кВт/т.

Пусть  $k_r = 1$ ,  $k_N = 1$ ,  $G_a/G = k_r$ ,  $N_{д} = N_{yo} \times (G_a + G) = N_{yo} \times G(k_r + 1)$ , то время подъема 1 т горной массы на высоту 1 м определится из выражения:

$$t = (\omega_o/i + 1) / (0,367 \times N \times \eta_a). \quad (10)$$

Тогда выражение для определения удельного действия (гс/тм) примет вид:

$$G_a = [2,673 \times 10^{-2} \times g_H(k_r + 1)(\omega_o/i + 1)^2] / (N_{yo} \times \eta_a^2). \quad (11)$$

Вследствие влияния различных горнотехнических, горнотехнологических, конструктивных и организационных условий эксплуатации автосамосвалов на глубоких карьерах, теоретическое значение удельного действия значительно отличается от фактического [4, 5]. При этом следует учесть такие факторы, как технологические перерывы, нулевые пробеги, ожидание автосамосвала под погрузкой и разгрузкой, заправка автосамосвалов и прочие. Критериями учета этих факторов могут быть средняя эксплуатационная скорость и коэффициент, учитывающий нулевой пробег автосамосвалов  $k_o$ , который можно определить с помощью формулы:

$$k_o = (1 - \beta) / \beta, \quad (12)$$

где  $\beta$  – коэффициент использования пробега.

Фактические значения удельного действия могут быть определены следующим образом. Условия эксплуатации автосамосвалов на карьере Мурунтау характеризовались следующими средневзвешенными показателями:  $L_{cp}$  – среднее расстояние транспортирования (км);  $H_{п}$  – средневзвешенная высота подъема (м);  $k_o$  – коэффициент, учитывающий нулевой пробег автосамосвалов;  $q_{ф}$  – средний расход топлива (г/т·км);  $V_{э}$  – средняя эксплуатационная скорость движения (км/ч).

Исходя из горнотехнических условий эксплуатации автосамосвалов, определим фактический удельный расход топлива при подъеме 1 т на высоту 1 м ( $q$ ) и максимально возможную высоту подъема горной массы на 1 км автодороги ( $h_a$ ):

$$h_a = H_{п} / L_{cp}, \quad (13)$$

где  $H_{п}$ ,  $L_{cp}$  – соответственно, средневзвешенная высота подъема (м) и среднее расстояние транспортирования горной массы (км) в конкретных условиях эксплуатации.

При определении предельного расхода энергии высота подъема горной массы на 1 км автодороги рассчитывается по формуле:

$$h_{amax} = 10i_p / k_{p.a}, \quad (14)$$

где  $i_p$  – руководящий уклон автодороги, %;

$k_{p.a}$  – коэффициент развития трассы.

Удельный расход топлива (г/ткм) принимается в соответствии с установленной высотой подъема и расстоянием транспортирования по разработанным нормативам<sup>1</sup> (нормы расхода топлива и ГСМ) [6].

За годы эксплуатации карьера Мурунтау осуществлено практически полное и глубокое техническое перевооружение горных машин, что позволило увеличить объем добычи руды в 2 раза. С начала эксплуатации карьера использовались различные типы автосамосвалов, при этом производился анализ эффективности каждого типа и дальнейшее обновление парка [7, 8].

<sup>1</sup>Slope Stability in Surface Mining. – Littleton (Colorado, USA). / Publ. by SME. – 2001.

Таблица 2

Показатели работы автосамосвалов карьера Мурунтау для расчета

кесте 2

Есепке алу үшін Мұрынтау карьеріндегі самосвалдардың жұмыс көрсеткіштері

Table 2

Performance indicators of dump trucks in the Muruntau quarry for calculation

Грузоподъемность автосамосвалов, т	$L_{cp}$ , км	$H_{II}$ , м	$k_0$	$q_\phi$ , г/т·км
220	4,51	184,4	1,1	92,4
136	3,33	107,3	1,1	95,1

Рост производительности ГМЗ-2 позволил увеличить объемы перерабатываемой руды с меньшим содержанием золота, что расширило минерально-сырьевую базу предприятия. Вместе с тем, это привело к снижению объема горной массы для ЦПТ, обусловленного исключением поточного звена части балансовой руды.

В соответствии с технической политикой развития горнодобывающих отраслей, направленной на комплексное освоение месторождений, обеспечение экологической эффективности производства и безопасных условий труда, необходимо ориентироваться на увеличение энергопотребления при рекультивации и восстановлении нарушенных земель, раздельную выемку и складирование полезных ископаемых, нормализацию атмосферы карьеров<sup>1</sup> [8, 9].

Исследованиями установлено, что параметры работы силовой установки карьерного автосамосвала напрямую влияют на производительность и эффективность процесса транспортирования горной массы. С увеличением высоты подъема горной массы возрастает продолжительность работы силовой установки карьерного автосамосвала при максимальных нагрузках, что приводит к увеличению удельного расхода топлива, интенсивному износу деталей основных агрегатов и, как следствие, снижению их ресурса, увеличению простоя на ремонте и техническом обслуживании, снижению КТГ и росту затрат на ремонт и запасные части (табл. 1, рис. 1).

Разработана методика энергетической оценки транспортных систем глубокого карьера с учетом таких факторов, как технологические перерывы, нулевые пробеги, ожидание автосамосвала под погрузкой и разгрузкой, заправка автосамосвалов. Удельный расход топлива (г/т·км) принимается в соответствии с установленной высотой подъема и расстоянием транспортирования по разработанным нормативам:

▪ для карьерных самосвалов грузоподъемностью 220 т при средней высоте подъема  $H_{II} = 184,4$  м и среднем расстоянии транспортирования  $L = 4,51$  км удельный расход топлива составил  $q_\phi = 92,4$  г/т·км;

▪ для карьерных самосвалов грузоподъемностью 136 т при средней высоте подъема  $H_{II} = 107,3$  м и среднем расстоянии транспортирования  $L = 3,33$  км удельный расход топлива составил  $q_\phi = 95,1$  г/т·км (табл. 2).

Фактическими данными установлено, что, несмотря на большую высоту подъема и расстояние транспортировки, карьерные автосамосвалы грузоподъемностью 220 т расходуют меньше топлива и энергетически эффективнее автосамосвалов грузоподъемностью 136 т.

Следовательно, на нижних горизонтах карьера Мурунтау энергетически эффективно эксплуатировать автосамосвалы грузоподъемностью 220 т с максимально допустимой шириной не более 7,6 м.

### Выводы

Таким образом, обоснование энергетической эффективности технологических процессов и транспортных систем глубоких карьеров при использовании автосамосвалов с большой грузоподъемностью показывает эффективность принятых решений.

### Заключение

1. Исследованы энергетические затраты подъема горной массы и выбора параметров карьерного технологического транспорта, в результате которого установлено, что недостаточно обоснована критериальная база оценки энергетической эффективности различных видов, в частности, большегрузных автосамосвалов при ведении работ на нижних горизонтах.

2. В результате математического моделирования работы технологического транспорта с учетом его показателей при использовании метода наименьших

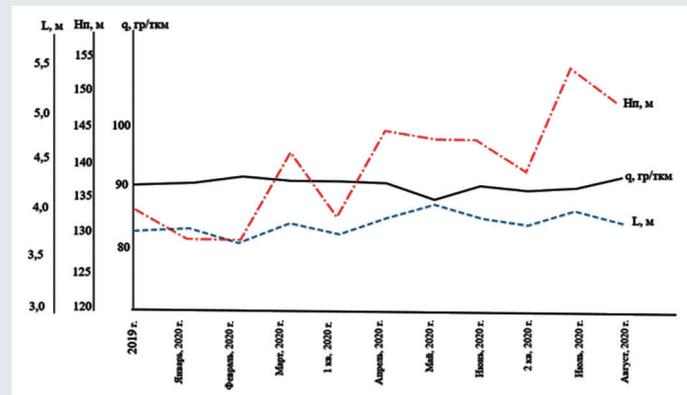


Рис. 1. Динамика фактических данных удельного расхода топлива (г/т·км); высоты подъема горной массы (м); среднего расстояния транспортирования (км) за 8 мес. 2020 г. по карьеру Мурунтау.

Сурет 1. Меншікті отын шығыны бойынша нақты деректер динамикасы (г/т·км); тас массасын көтеру биіктігі (м); Мұрынтау карьері бойынша 2020 жылдың 8 айындағы орташа тасымалдау қашықтығы (км).

Figure 1. Dynamics of actual data on specific fuel consumption (g/t·km); rock mass lifting height (m); average transportation distance (km) for 8 months of 2020 for the Muruntau quarry.

квадратов выполнены расчеты с использованием корреляционного и регрессионного анализов.

3. Исследовано влияние объемов извлекаемой из карьера горной массы на выбор горнотранспортного оборудования. Установлено, что при добыче руды из глубоких карьеров и максимально больших объемах перемещения горной массы на год отработки, значительно возрастают работы по их перевозке.

4. Определена ширина транспортной бермы для автосамосвала марки БелАЗ грузоподъемностью 220 т, которая позволяет сделать вывод о влиянии ее на конструкцию борта глубокого карьера и, соответственно, объемы извлекаемой горной массы.

5. Разработан метод энергетической оценки транспортных систем глубокого карьера, в результате которого установлено, что для условий карьера Мурунтау трассы движения автосамосвалов при среднем расстоянии транспортирования 3,73 км характеризуются высоким средневзвешенным уклоном (6,1%) и высокой сложностью (до 3-4 поворотов на 1 км радиусом 30 м).

6. Разработана рациональная технологическая схема транспортирования горной массы при развитии глубоких карьеров в плане и на глубину, показывающая, что с увеличением глубины работ внедрение автосамосвалов грузоподъемностью 180-220 т при техническом перевооружении экскаваторно-автомобильного комплекса позволит совершенствовать систему ее управления.

7. По результатам расчетов норм выработки и времени на транспортирование горной массы от экскаватора

обосновано применение технологического приема, которое возможно только за счет компактных гидравлических экскаваторов.

8. Установлено, что для оценки влияния горнотехнических условий карьеров на работу автотранспорта принят показатель приведенного (эквивалентного) расстояния транспортирования, учитывающий затраты труда на горизонтальное перемещение и подъем горной массы из карьера.

9. Разработана методика энергетической оценки транспортных систем глубокого карьера с учетом таких факторов, как технологические перерывы, нулевые пробеги, ожидание автосамосвала под погрузкой и разгрузкой, заправка автосамосвалов и пр. Установлено, что удельный расход топлива (г/т·км) принимается в соответствии с установленной высотой подъема и расстоянием транспортирования по разработанным нормативам.

10. Установлено, что параметры работы силовой установки карьерного автосамосвала напрямую влияют на производительность и эффективность процесса транспортирования горной массы. С увеличением высоты подъема горной массы возрастает продолжительность работы силовой установки карьерного автосамосвала при максимальных нагрузках, что приводит к увеличению удельного расхода топлива, интенсивному износу деталей основных агрегатов и, как следствие, снижению их ресурса, увеличению простоя на ремонте и техническом обслуживании, снижению КТГ и росту затрат на ремонт и запасные части.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ахмедов Н.А. Проблемы геологии и развития минерально-сырьевой базы. // Труды междунар. науч.-практ. конференции «Проблемы рудных месторождений и повышение эффективности геологоразведочных работ». – Ташкент, 2003. – С. 8-11 (на русском языке)
2. Мельников Н.Н., Решетняк С.П. Перспективы решения научных проблем при отработке мощных глубоких карьеров. // Горное дело: ИГД СО РАН. – Якутск, 1994. – С. 14-23 (на русском языке)
3. Аристов И.И., Снитка Н.П. Совершенствование методики нормирования и учета потерь и разубоживания руды. // Горный журнал. – М., 2007. – №5. – С. 73-77 (на русском языке)
4. Fang N., Ji C., Crusoe G.E. Анализ устойчивости процесса оползания западного склона карьера Бужаоба. // Международный журнал горной науки и техники. – 2016. – Т. 26. – Вып. 5. – С. 869-875 (на английском языке)
5. Раирова О., Катахара Н., Goto N. Оценка физической экономики посредством анализа материальных потоков в масштабах всей экономики в развивающемся Узбекистане. // Ресурсы, сохранение и переработка. – 2014. – Т. 89. – С. 76-85 (на английском языке)
6. Сытенков В.Н., Шеметов П.А. Повышение эффективности управления экскаваторно-автомобильным комплексом в глубоких карьерах. // «Экология и природопользование»: сб. научных трудов Института проблем природопользования и экологии НАН Украины. – Днепрпетровск, 2003. – Вып. 5. – С. 153-159 (на русском языке)
7. Braun T., Hennig A., Lottermoser B.G. Необходимость устойчивого распространения технологий в горнодобывающей промышленности: достижение использования систем ленточных конвейеров в немецкой горнодобывающей промышленности. // Журнал по устойчивой добыче полезных ископаемых. – 2017. – Т. 16. – Вып. 1. – С. 24-30 (на английском языке)

8. Вуе А.Р., Жерту С.А., Белл F.G. Оптимизация уклона и анализ инженерно-геологических условий на карьере Sandsloot. // *Материалы Девятого Международного конгресса по горным породам. Механика.* – Роттердам, 1999. – Т. 2: Прикладная механика горных пород – безопасность и контроль окружающей среды. – С. 77-82 (на английском языке)
9. Санакулов К.С., Шеметов П.А. Карьер Мурунтау на пути к рекордной глубине: основные этапы развития и модернизации горных работ. // *Горный журнал.* – М., 2009. – №11. – С. 98-102 (на русском языке)

## ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Ахмедов Н.А. Геология және минералдық-шикізат базасын дамыту мәселелері. // *Халықаралық ғылыми-практикалық конференция еңбектері «Кенді кен орындарының мәселелері және геологиялық барлау тиімділігін арттыру».* – Ташкент, 2003. – Б. 8-11 (орыс тілінде)
2. Мельников Н.Н., Решетняк С.П. Қуатты терең карьерлерді игерудегі ғылыми мәселелерді шешу перспективалары. // *Тау-кен ісі: Ресей Ғылым академиясының Сібір бөлімшесінің тау-кен ісі институты.* – Якутск, 1994. – Б. 14-23 (орыс тілінде)
3. Аристов И.И., Снитка Н.П. Шығындар мен кеннің кедейленуін нормалау және есепке алу әдістемесін жетілдіру. // *Тау-кен журналы.* – М., 2007. – №5. – Б. 73-77. (орыс тілінде)
4. Fang N., Ji C., Crusoe G.E. Бұжаоба карьерінің батыс беткейінің шөгу процесінің тұрақтылығын талдау. // *Тау-кен ғылымы мен технологиясының халықаралық журналы.* – 2016. – Т. 26. – Шығ. 5. – Б. 869-875 (ағылшын тілінде)
5. Раирова О., Катаһара Н., Goto N. Дамушы Өзбекстандағы материалдық ағынды жалпы шаруашылық талдау арқылы физикалық экономиканы бағалау. // *Ресурстар, сақтау және өңдеу.* – 2014. – Т. 89. – Б. 76-85 (ағылшын тілінде)
6. Сытенков В.Н., Шеметов П.А. Терең карьерлердегі экскаватор-автокөлік кешенін басқару тиімділігін арттыру // *«Экология және табиғатты пайдалану»: Украина ҰҒА табиғатты пайдалану және экология мәселелері институтының ғылыми еңбектерінің жинағы.* – Днепрпетровск, 2003. – Т. 5. – Б. 153-159 (орыс тілінде)
7. Braun T., Hennig A., Lottermoser V.G. Тау-кен өнеркәсібінде технологияның тұрақты диффузиясының қажеттілігі: Германияның тау-кен өнеркәсібінде конвейерлік таспа жүйелерін қолдануға қол жеткізу. // *Тұрақты тау-кен ісі журналы.* – 2017. – Т. 16. – Шығ. 1. – Б. 24-30 (ағылшын тілінде)
8. Вуе А.Р., Жерту С.А., Белл F.G. Құмды шұңқырдағы еңістерді оңтайландыру және геотехникалық талдау. // *Тоғызыншы халықаралық тау жыныстары конгресінің материалдары. Механика.* – Роттердам, 1999. – Т. 2: Қолданбалы тау жыныстары механикасы – қауіпсіздік және қоршаған ортаны бақылау. – Б. 77-82 (ағылшын тілінде)
9. Санақұлов Қ.С., Шеметов П.А. Мұрынтау карьері рекордтық тереңдікке жету жолында: тау-кен ісін дамыту мен жаңғыртудың негізгі кезеңдері. // *Тау-кен журналы.* – М., 2009. – №11. – Б. 98-102 (орыс тілінде)

## REFERENCES

1. Akhmedov N.A. Problemy geologii i razvitiya mineral'no-syr'evoy bazy [Problems of geology and development of the mineral resource base]. // *Trudy mezhd. nauch.-prakt. konferencii «Problemy rudnykh mestorozhdenij i povysheniya e'ffektivnosti geologorazvedochnyx rabot» = Proceedings of the International Scientific and Practical Conference «Problems of ore deposits and improving the efficiency of geological exploration».* – Tashkent, 2003. – P. 8-11 (in Russian)
2. Melnikov N.N., Reshetnyak S.P. Perspektivy resheniya nauchnykh problem pri otrabotke moshhnykh glubokix kar'erov [Prospects for solving scientific problems in the development of powerful deep quarries]. // *Gornoe delo: IGD SO RAN = Mining: Institute of mining of the Siberian branch of the Russian Academy of Sciences.* – Yakutsk, 1994. – P. 14-23 (in Russian)
3. Aristov I.I., Snitka N.P. Sovershenstvovanie metodiki normirovaniya i ucheta poter' i razubozhivaniya rudy [Improving the methodology of rationing and accounting for losses and impoverishment of ore]. // *Gornyj zhurnal = Mining Journal.* – M., 2007. – №5. – P. 73-77 (in Russian)

4. Fang N., Ji C., Crusoe G. E. *Stability analysis of the sliding process of the west slope in Buzhaoba Open-Pit Mine.* // *International Journal of Mining Science and Technology.* – 2016. – Vol. 26. – Iss. 5. – P. 869-875 (in English)
5. Raupova O., Kamahara H., Goto N. *Assessment of physical economy through economy-wide material flow analysis in developing Uzbekistan.* // *Resources, Conservation and Recycling.* – 2014. – Vol. 89. – P. 76-85 (in English)
6. Sytenkov V.N., Shemetov P.A. *Povyshenie e'ffektivnosti upravleniya e'kskavatorno-avtomobil'nym kompleksom v glubokix kar'erax [Improving the management efficiency of the excavator-automobile complex in deep pits].* // «E'kologiya i prirodopol'zovanie»: Sb. nauchnyx trudov Instituta problem prirodopol'zovaniya i e'kologii NAN Ukrainy = «Ecology and nature management»: a collection of scientific papers of the Institute of problems of nature management and ecology of the National Academy of Sciences of Ukraine. – Dnepropetrovsk, 2003. – Vol. 5. – P. 153-159 (in Russian)
7. Braun T., Hennig A., Lottermoser B.G. *The need for sustainable technology diffusion in mining: Achieving the use of belt conveyor systems in the German hard-rock quarrying industry.* // *Journal of Sustainable Mining.* – 2017. – Vol. 16. – Iss. 1. – P. 24-30 (in English)
8. Bye A.R., Jermy C.A., Bell F.G. *Slope optimization and review of the geotechnical conditions at Sandsloot open pit.* // *Proceedings of Ninth International Congress on Rock Mechanics.* – Rotterdam, 1999. – Vol. 2: Applied rock mechanics – Safety and control of the environment. – P. 77-82 (in English)
9. Sanakulov K.S., Shemetov P.A. *Kar'er Muruntau na puti k rekordnoj glubine: osnovnye e'tapy razvitiya i modernizacii gornyx rabot [The Muruntau quarry on the way to a record depth: the main stages of development and modernization of mining].* // *Gornyj Zhurnal = Mining Journal.* – M., 2009. – №11. – P. 98-102 (in Russian)

#### Сведения об авторах:

**Хайитов О.Г.**, д-р геол.-минерал наук, доцент, академик Академии наук Турон, заведующий кафедрой «Горное дело» Ташкентского государственного технического университета им. Ислама Каримова (г. Ташкент, Узбекистан), [o\\_haitov@mail.ru](mailto:o_haitov@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0002-7735-5980>

**Саидова Л.Ш.**, PhD, старший научный сотрудник Навоийского отделения академии наук Республики Узбекистан (г. Навои, Узбекистан), <https://orcid.org/0000-0001-6236-0288>

**Умирзоков А.А.**, докторант Ташкентского государственного технического университета им. Ислама Каримова (г. Ташкент, Узбекистан), [a\\_umirzoqov@mail.ru](mailto:a_umirzoqov@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0002-9609-179X>

**Турсунов Ш.Б.**, магистр 2 курса специальности «Разработка месторождений полезных ископаемых» кафедры «Горное дело» Ташкентского государственного технического университета им. Ислама Каримова (г. Ташкент, Узбекистан), [shahzodtursunov5260@gmail.com](mailto:shahzodtursunov5260@gmail.com); <https://orcid.org/0000-0003-0801-504X>

#### Авторлар туралы мәліметтер:

**Хайитов О.Г.**, геология-минералогия ғылымдарының докторы, доцент, Турон Ғылым академиясының академигі, Ислам Каримов атындағы Ташкент мемлекеттік техникалық университетінің, тау-кен ісі кафедрасының меңгерушісі (Ташкент қ., Өзбекстан)

**Саидова Л.Ш.**, PhD, Өзбекстан Республикасы Ғылым академиясы Навои филиалының аға ғылыми қызметкері (Навои қ., Өзбекстан)

**Умирзоков А.А.**, Ислам Каримов атындағы Ташкент мемлекеттік техникалық университетінің докторанты (Ташкент қ., Өзбекстан)

**Турсунов Ш.Б.**, Ислам Каримов атындағы Ташкент мемлекеттік техникалық университетінің, «Тау-кен ісі» кафедрасының, «Пайдалы қазбалар кен орындарын игеру» мамандығының 2 курс магистрі (Ташкент қ., Өзбекстан)

#### Information about authors:

**Khayitov O.G.**, Doctor of Geological and Mineral Sciences, Associate Professor, Academician of the Academy of Sciences of Turon, Head at the Mining Department of the Tashkent State Technical University named after Islam Karimov (Tashkent, Uzbekistan)

**Saidova L.Sh.**, PhD, Senior Researcher of the Navoi Branch of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan (Navoi, Uzbekistan)

**Umirzokov A.A.**, Doctoral Student of the Tashkent State Technical University named of Islam Karimov (Tashkent, Uzbekistan)

**Tursunov S.B.**, Master of the Second Course in the Specialty «Development of Mineral Deposits» at the Department of «Mining» at the Tashkent State Technical University named of Islam Karimov (Tashkent, Uzbekistan)