

## МЕТОДИКА СРАВНИТЕЛЬНОЙ ОЦЕНКИ КОМПЛЕКСОВ САМОХОДНОГО ГОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Акашев З.Т., Данияров Н.А., Тогизбаева Б.Б.  
(КарГТУ, г. Караганда, Казахстан)

*The offered methods of the comparative estimation level to efficiency to usages of the selfpropelled mountain equipment on single and complex factors. The brought results of the executed estimation with reference to to condition of the work complex selfpropelled machines in condition Zhezkazgan underground mines (the Republic of Kazakhstan). Analysis got results allows validly to choose type of the introduced machine for concrete conditions of the usages.*

Одним из примеров эксплуатации сложных систем в горной промышленности является добыча руд подземным способом с применением самоходного горного оборудования (СГО). Активное использование самоходного горного оборудования на подземных рудниках началось в мировой горной практике в 50-х годах XX века.

Достижение необходимых объемов подземной добычи на рудных шахтах потребовало активного внедрения дорогостоящей самоходной техники ведущих мировых производителей («Sandvik Mining and Construction» (Швеция), «Caterpillar» и «Vagner» (США), «Hitachi» (Япония и др.), имеющей высокую производительность и надежность в эксплуатации. За последние 25 лет горнодобывающими предприятиями стран бывшего Союза практически обновлена вся номенклатура используемых самоходных машин. В настоящее время на подземных рудниках СНГ и дальнего зарубежья эксплуатируется сложное и разнотипное высокопроизводительное самоходное горное оборудование, оснащенное, во многих случаях, дистанционным управлением и компьютерной системой контроля и, соответственно, имеющее большую первоначальную стоимость.

Изучение опыта внедрения самоходного оборудования на горнодобывающих предприятиях показывает, что оснащение операций технологического процесса добычи горнорудных предприятий современными высокоэффективными самоходными машинами и средствами механизации позволило поднять производительность подземных рудников на новый уровень и на сегодняшний день перед производством стоит не менее сложная задача – получение отдачи от огромных инвестиций в переоснащение, снижение затрат на эксплуатацию дорогостоящих машин за счет повышения эффективности использования и ресурсосбережения [1].

Вопросам создания основ расчета и оптимизации конструктивных и эксплуатационных показателей самоходных машин, применяемых в горнорудной промышленности, исследованию их надежности и ремонтпригодности посвящены работы профессоров Н.В. Тихонова, Я.Б. Кальницкого, В.А. Дьякова, С.С. Музгина, Д.Т. Анкудинова, А.Т. Филимонова, Л.А. Крупника и др. В их трудах подробно рассмотрены актуальные вопросы создания и эксплуатации самоходного горного оборудования, разработаны технологические основы надежности функционирования конструкций машин и их элементов, исследованы методы и способы обоснования и выбора оптимальных параметров эксплуатации и ремонта отдельных видов самоходных машин, однако ряд вопросов, связанных с определением оптимального уровня надежности комплексов СГО, оценкой их эффективной эксплуатации и другие остались вне поля зрения исследователей.

Проблема эффективности использования имеющейся горной техники является на сегодняшний день наиболее актуальной и ее актуальность с течением времени будет

только возрастать, что объясняется множеством причин, к основным из которых можно отнести: постоянное усложнение горно-геологических условий эксплуатации горного оборудования; увеличение единичной мощности и производительности горных машин; постоянный рост уровня механизации и автоматизации производства и т.д. [2]. В настоящее время в Карагандинском государственном техническом университете (Казахстан) ведутся исследования, основной целью которых является разработка теории, математических моделей и алгоритмов для оптимизации конструктивных и эксплуатационных параметров самоходного оборудования, дающих возможность более эффективной его эксплуатации на подземных рудниках. Для решения поставленной цели необходимо, в первую очередь, разработать теоретические основы адаптации комплексов самоходного оборудования, как сложных систем, к конкретным условиям эксплуатации.

При исследовании эффективности сложных систем, как правило, выделяют три группы факторов: качество машин, их рациональное использование и условия эксплуатации. При повышении эффективности использования технических средств показатель эффективности проводимых операций является показателем качества системы. В зависимости от сложности систем, цели исследования признают целесообразным введение нескольких уровней качества, в числе которых: устойчивость, помехоустойчивость, управляемость, способность и самоорганизация [3]. Особо необходимо отметить такую характеристику сложной системы как способность, которая объединяет совокупность свойств, определяющих функциональное назначение сложной системы (производительность, мощность и т.д.). В зависимости от сложности объекта и цели исследования, введение уровней качества технических средств позволяет ограничивать исследования эффективности одним из перечисленных уровней качества, например способностью системы [3]. Очевидно, что для комплексов самоходного оборудования, как сложных систем, оценка эффективности способности выполнять свои функции в соответствии с назначением является наиболее актуальной.

Одним из узловых моментов любой оценки эффективности эксплуатации и ремонта машин является выбор и определение критерия эффективности или функционального критерия сложной системы. В работе [4] в качестве мерила, на основании которого можно количественно оценивать выполнение машиной заданной функции предлагается использовать функциональный критерий, соответствующий ее основному назначению. Функциональный критерий  $\lambda_i$  или конечный результат функционирования машины, в общем виде, представляет собой следующее выражение

$$\lambda_i = V_i(C_{ij}, u)u, \quad (1)$$

где  $V_i$  - производительность машины;  $C_{ij}$  -  $j$ -й конструктивный или режимный параметр, влияющий на производительность  $i$ -й машины;  $u$  - параметр условий эксплуатации.

Комплексы самоходного горного оборудования - это совокупность технических средств или средств механизации, связанных различными видами функциональных связей и представляющих собой сложную иерархическую систему, участвующую в производственном процессе на горнодобывающем предприятии. Совокупный функциональный критерий системы механизации технологического процесса подземной разработки руд можно представить в следующем виде

$$\lambda_p = \{\lambda_o, \lambda_d, \lambda_k -, +, *\}, \quad (2)$$

где:  $\lambda_p$  - функциональный критерий системы механизации технологического процесса подземной разработки руд;  $\lambda_o$ ,  $\lambda_d$  и  $\lambda_k$  - функциональные критерии средств механизации отбойки, доставки и крепления, соответственно;  $(-, +, *)$  - технологическая, кинематическая и конструктивная связи между соответствующими средствами механизации [5].

Функциональные критерии средств механизации будут выглядеть следующим образом

$$\lambda_o = \{\lambda_B, \lambda_3, \lambda_B, -, +, *\}, \quad (3)$$

$$\lambda_d = \{\lambda_{II}, \lambda_T, \lambda_P, -, +, *\}, \quad (4)$$

$$\lambda_k = \{\lambda_{III}, \lambda_H, \lambda_Y, -, +, *\}, \quad (5)$$

где:  $\lambda_B, \lambda_3, \lambda_B$  - функциональные критерии средств механизации бурения, зарядки и взрывания, соответственно;  $\lambda_{II}, \lambda_T, \lambda_P$  - функциональные критерии средств механизации погрузки, транспортирования и разгрузки полезного ископаемого, соответственно;  $\lambda_{III}, \lambda_H, \lambda_Y$  - функциональные критерии средств механизации бурения, нагнетания раствора и оборки кровли, соответственно.

С учетом выражения (1), формулы (3), (4) и (5) можно представить в следующем виде

$$\lambda_o = \{V_B u_B, V_3 u_3, V_B u_B, -, +, *\}, \quad (6)$$

$$\lambda_d = \{V_{II} u_{II}, V_T u_T, V_P u_P, -, +, *\} \quad (7)$$

$$\lambda_k = \{V_{III} u_{III}, V_H u_H, V_Y u_Y, -, +, *\} \quad (8)$$

где:  $V_B, V_3, V_B$  - производительности средств механизации бурения, зарядки и взрывания, соответственно;  $u_B, u_3, u_B$  - параметры, характеризующие условия эксплуатации средств механизации бурения, зарядки и взрывания, соответственно;  $V_{II}, V_T, V_P$  - производительности средств механизации погрузки, транспортирования и разгрузки, соответственно;  $u_{II}, u_T, u_P$  - параметры, характеризующие условия эксплуатации средств механизации погрузки, транспортирования и разгрузки, соответственно;  $V_{III}, V_H, V_Y$  - производительности средств механизации бурения шпуров, устройств для нагнетания раствора и оборки кровли, соответственно;  $u_{III}, u_H, u_Y$  - параметры, характеризующие условия эксплуатации средств механизации бурения шпуров, устройств для нагнетания раствора и оборки кровли, соответственно.

Средства механизации соответствующих функциональных процессов представляют собой комплекс последовательно увязанных функциональных машин (в первом случае: буровой установки, зарядной машины и устройства для взрывания взрывчатого вещества; во втором – погрузочной или погрузочно-транспортной машины и транспортного средства; в третьем случае – устройств для бурения шпуров, нагнетания раствора и постоянной оборки кровли). Соответственно, производительность средств механизации во всех случаях будет зависеть от машины, имеющей наименьшую производительность

$$V_O = \min\{V_B, V_3, V_B\}, \quad (9)$$

$$V_D = \min\{V_{II}, V_T, V_P\}, \quad (10)$$

$$V_K = \min\{V_{III}, V_H, V_Y\}, \quad (11)$$

где  $V_O, V_D$  и  $V_K$  – производительности средств механизации отбойки, доставки горной массы и крепления выработанного пространства, соответственно.

Тогда функциональные критерии перечисленных средств механизации можно представить в следующем виде

$$\lambda_O = \min\{V_B, V_3, V_B\} \cdot u_O, \quad (12)$$

$$\lambda_D = \min\{V_{II}, V_T, V_P\} \cdot u_D, \quad (13)$$

$$\lambda_K = \min\{V_{III}, V_H, V_Y\} \cdot u_K, \quad (14)$$

где:  $u_O, u_D$  и  $u_K$  - параметры, характеризующие условия эксплуатации машин, имеющих наименьшую производительность в соответствующих средствах механизации.

Сущность оценки эффективности применения машин по единичным показателям состоит в сравнении удельных значений показателей качества оцениваемой машины  $q_{ij}$  с соответствующими значениями эталонной модели  $q_j^*$ , обладающей совокупностью наилучших показателей

$$k_{ij} = \frac{q_j^*}{q_{ij}}, \quad (15)$$

где:  $k_{ij}$  - эффективность использования машины по единичным показателям.

Для определения эффективности применения машин по обобщенному (комплексному) показателю, необходимо определиться с весомостью единичных показателей качества. Существует достаточно много методов определения коэффициентов весомости (значимости) единичных показателей качества в их совокупности: стоимостной, долевой, ранговый, экспертный и др. Большинство перечисленных способов связано с необходимостью выполнения больших объемов организационных и вычислительных работ, так как все они в той или иной степени зависят от экспертного способа, которому присущи субъективность и большая трудоемкость.

Профессор, д.т.н. Радкевич Я.М. при оценке уровня качества промышленной продукции, с целью отказа от экспертных оценок весомости и дальнейшего использования полученных результатов для прогнозирования, предлагает представить комплексный показатель  $\bar{K}$  в виде модели

$$\bar{K} = \frac{|\bar{k}|}{|\bar{k}_0|}, \quad (16)$$

где:  $\bar{k}$  - вектор, норма которого зависит от исходных значений уровней качества по единичным показателям оцениваемой машины;  $\bar{k}_0$  - вектор, норма которого зависит от

исходных значений уровней качества по единичным показателям базовой (эталонной) машины;  $|\cdot|$  - знак обозначения нормы вектора [8].

Определив  $j$ -ю координату векторов  $\bar{k}$  и  $\bar{k}_j$ , как

$$\bar{k}_j = \gamma_j k_j \text{ и } \bar{k}_{эj} = \gamma_{эj} k_{эj}, \quad (17)$$

где  $\gamma_j$  и  $\gamma_{эj}$  – весомости  $j$ -го уровня качества по единичному показателю соответственно оцениваемой и базовой (эталонной) машины в их совокупности; а  $k_j$  и  $k_{эj}$  – исходные значения уровней качества по  $j$ -му единичному показателю соответственно оцениваемой и базовой (эталонной) машин, в работе [8] предлагается норму вектора  $\bar{k}$  определять по следующей формуле

$$|\bar{k}| = \frac{m}{(m-1) \sum_{j=1}^m k_j} \sqrt{m \sum_{j=1}^m [k_j (\sum_{j=1}^m k_j - k_j)]^2}, \quad (18)$$

где

$$m = \sum_{j=1}^m \gamma_j. \quad (19)$$

Основываясь на приведенных выкладках, а также учитывая, что для эталонной машины  $|\bar{k}_j^э| = 1$  (формула 15), получим выражение для оценки эффективности использования функциональных машин по обобщенному (комплексному) показателю

$$K_i = \frac{m}{(m-1) \sum_{j=1}^m k_{ij}} \sqrt{m \sum_{j=1}^m [k_{ij} (\sum_{j=1}^m k_{ij} - k_{ij})]^2}. \quad (20)$$

Таким образом, по формуле (20) определяется обобщенный (комплексный) показатель эффективности использования машин, имеющих наименьшую производительность в соответствующих средствах механизации, т.е. являющихся лимитирующими звеньями в данной системе механизации технологического процесса подземной разработки руд.

Выполненная структурная систематизация систем и средств механизации [7] показала, что эффективность работы отдельных функциональных машин определяет эффективность использования состоящих из этих машин комплектов, комплексов, агрегатов и систем механизации в целом, соответственно, совокупный комплексный показатель эффективности эксплуатации комплекса оборудования, как системы механизации технологического процесса подземной разработки руд  $K_p$  можно представить как

$$K_p = \min \{K_o; K_d; K_k\}, \quad (21)$$

где:  $K_o, K_d, K_k$  - обобщенные показатели эффективности использования лимитирующих машин (имеющих наименьший комплексный показатель) в соответствующих средствах механизации отбойки, доставки горной массы, а также крепления выработанного пространства, соответственно.

Для сравнительной оценки эффективности использования парка основного технологического оборудования на основе приведенной выше методики были выполнены соответствующие расчеты, результаты которых приведены ниже. В качестве примера были рассмотрены горнотехнические условия эксплуатации одной из крупнейших шахт Южножезказганского рудника – шахты № 65. Шахтное поле шахты № 65 является медно-свинцовым месторождением. Мощность рудных тел колеблется от 1,5 до 20 м и более. Типичные составы комплексов, используемых на проходке и в очистных забоях представлены в таблице 1.

Таблица 1. Составы комплексов СГО на горно-проходческих работах и очистной выемке

Наименование операций	Составы комплексов самоходного оборудования	
	горно-проходческие работы	очистная выемка
- бурение шпуров	буровые установки: «Paramatic H205T», «Unimaster Mk 2», «Boomer 281», УБШ 312 Г, «Axera D05», «Monomatic DH105-40», «Supermatic 315-150»	
- зарядка шпуров	зарядно-доставочные машины: ПМЗШ-2, ПМЗШ-5К	
- погрузка и доставка горной массы	погрузочно-доставочные машины: «LK-4», «LK-4DD», «Toro-501DL», «Toro-0010», «Toro 400», «Toro 650»	погрузочные машины: «Cat-980G», «Volvo L180C»; атосамосвалы: «Toro 40D, 40DM, 50D»
- крепление, осмотр, оборка кровли и обезопасивание забоев	самоходные полки СП-8А, СП-8, СП-24; навесное устройство для оборки кровли и обезопасивания забоев – ОКНТ; торкрет установки «Spraymec-7110 WPC»	

Технологическая связь, существующая между обособленными функциональными машинами, входящими в комплекс СГО, характеризуется необходимостью согласования действий, главным образом, организационных, между средствами механизации процессов (операций) во времени и по производительности. Производительность таких комплексов определяется функциональной машиной, имеющей в данных условиях наименьшую производительность.

Как показал опыт эксплуатации комплексов СГО, лимитирующими функциональными машинами (по производительности), с учетом продолжительности операции (машинного времени работы установки) в соответствующих средствах механизации, используемых при проходческих работах и очистной выемке, являются: буровые установки, погрузочно-доставочные машины (ПДМ) и автосамосвалы. На рисунках 1-6 представлены значения уровней эффективности эксплуатации различных моделей буровых установок, ПДМ и подземных автосамосвалов, принятых для сравнительной оценки.

В целом, анализ результатов сравнительной оценки эффективности эксплуатации буровых установок, погрузочно-доставочных машин и подземных автосамосвалов позволил сделать следующие выводы:

- результаты проведенных исследований позволяют составить эталонную (гипотетическую) модель, обладающую наиболее совершенной конструкцией из числа сравниваемых машин, для данных условий эксплуатации (эталонная модель имеет единичные показатели, уровни эффективности которых  $k_{ij}=1$ );

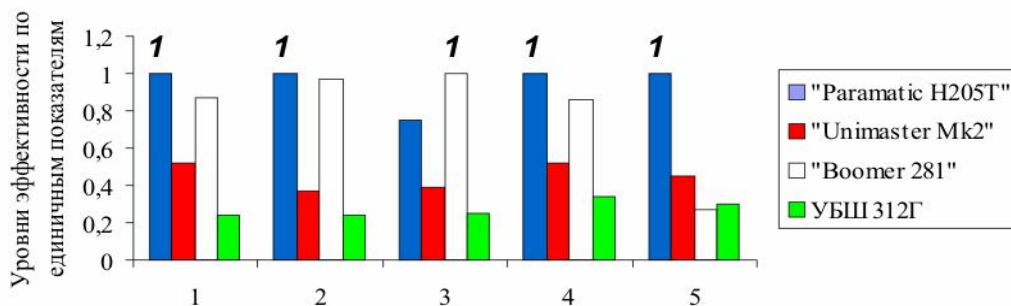


Рис. 1. Уровни эффективности буровых установок по единичным показателям: 1 – глубина шпура; 2 – мощность перфоратора; 3 – максимальный диаметр шпуров; 4 – максимальный диаметр штанги; 5 – масса перфоратора

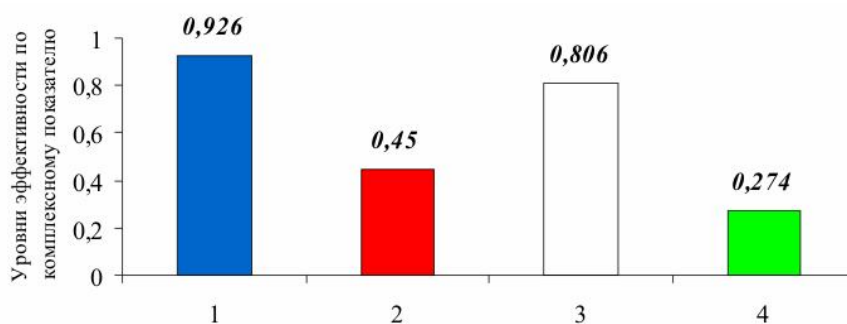


Рис. 2. Уровни эффективности эксплуатации буровых машин по комплексному показателю: 1- «Paramatic H205T»; 2 - «Unimaster Mk 2»; 3 - «Boomer 281»; 4 – УБШ 312Г

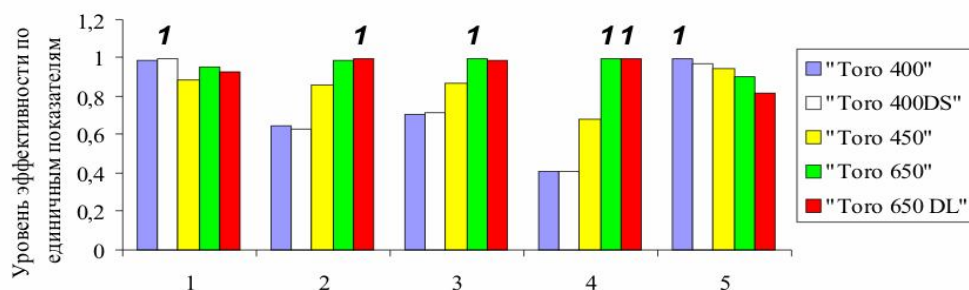


Рис.3. Уровни эффективности погрузочно-доставочных машин по единичным показателям: 1- эксплуатационная масса; 2 и 3 – внутренний и внешний радиусы поворота, соответственно; 4 мощность двигателя; 5 – габаритные размеры

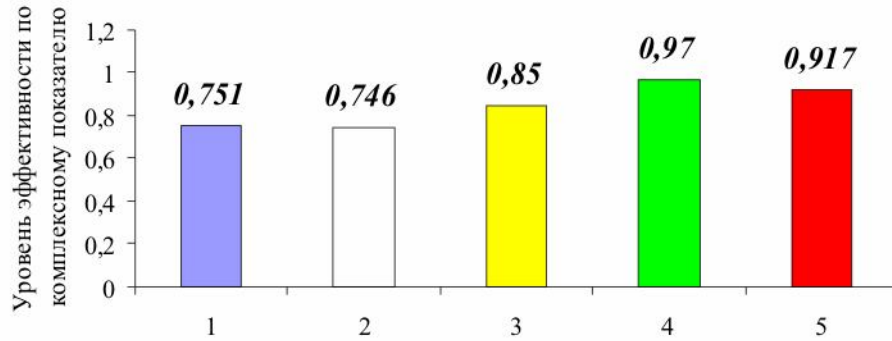


Рис. 4. Уровни эффективности эксплуатации ПДМ по комплексному показателю  
1 - «Toro 400»; 2 - «Toro 400DS»; 3 - «Toro 450»; 4 - «Toro 650»; 5 - «Toro 650DL»

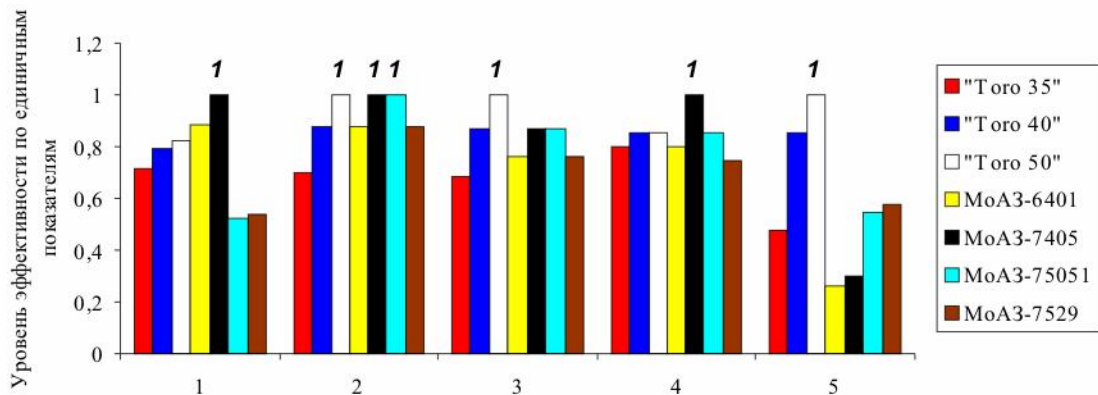


Рис. 5. Уровни эффективности подземных автосамосвалов по единичным показателям: 1- эксплуатационная масса; 2 и 3 – внутренний и внешний радиусы поворота, соответственно; 4 - габаритные размеры; 5 – мощность двигателя

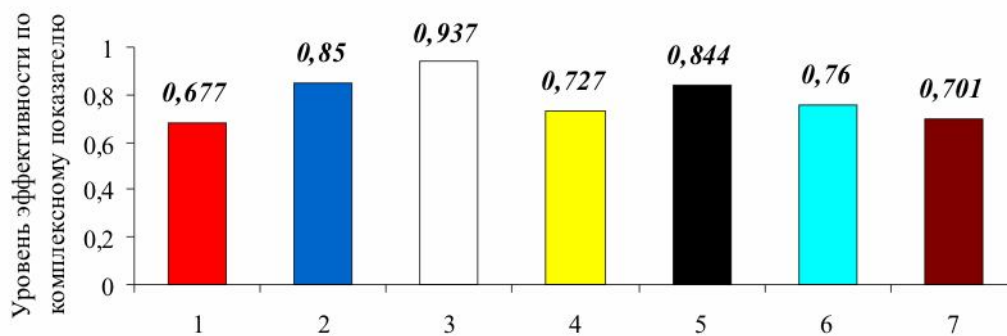


Рис. 6. Уровни эффективности использования автосамосвалов по комплексному показателю: 1- «Toro 35»; 2- «Toro 40»; 3 - «Toro 50»; 4 – МоА3-6401; 5 – МоА3-7405; 6 – МоА3-75051; 7 – МоА3-7529

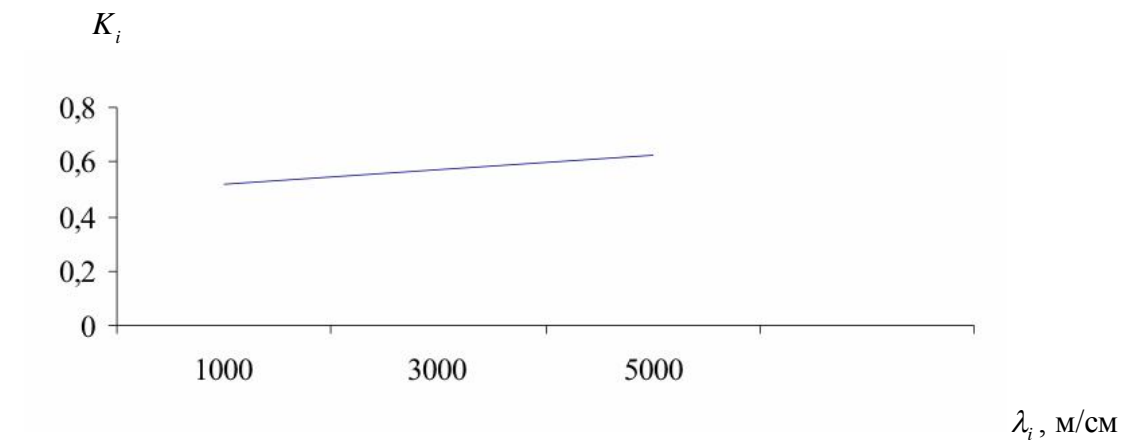


- с другой стороны, полученные результаты позволяют выявить «узкие» места в конструкциях сравниваемых машин с целью их дальнейшего технического совершенства (путем переноса удачных конструктивных решений на совершенствуемую модель);

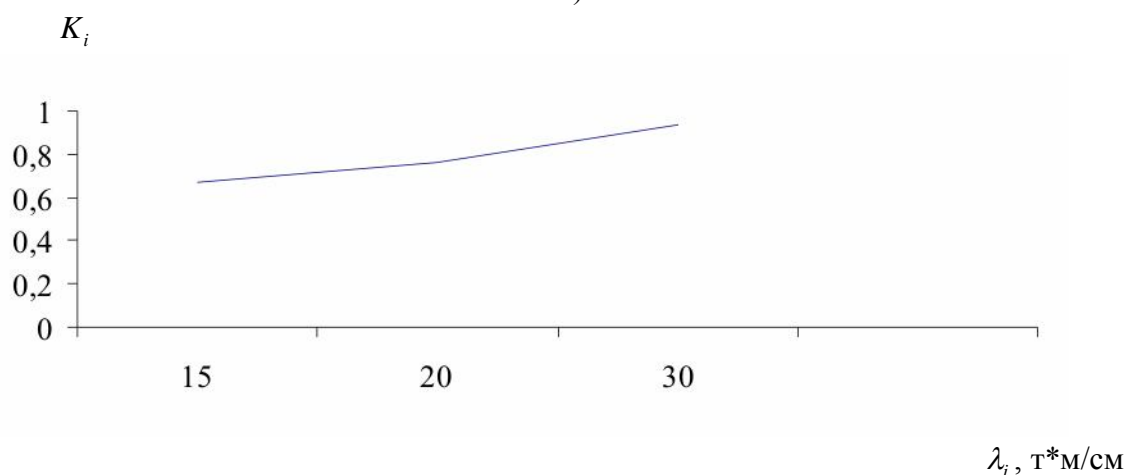
- в то же время результаты исследований показали, что уровень эффективности одних и тех же конструктивных решений может варьироваться в достаточно широких пределах, что говорит о том, что улучшением одного параметра трудно добиться значительного повышения комплексного показателя эффективности;

- полученные значения обобщенного показателя эффективности средств механизации позволяют констатировать, что наиболее эффективными в эксплуатации являются те конструкции, которые в данных условиях имеют большую производительность и, соответственно, большее значение конечного результата функционирования  $\lambda_i$ ;

- функциональный критерий  $\lambda_i$  является тем комплексным параметром, улучшая который, можно достаточно существенно повысить значение обобщенного показателя уровня эффективности горной техники (при увеличении  $\lambda_i$  в 2-5 раз,  $K_i$  увеличивается в 1,2-2 раза, рисунок 7).



а)



б)

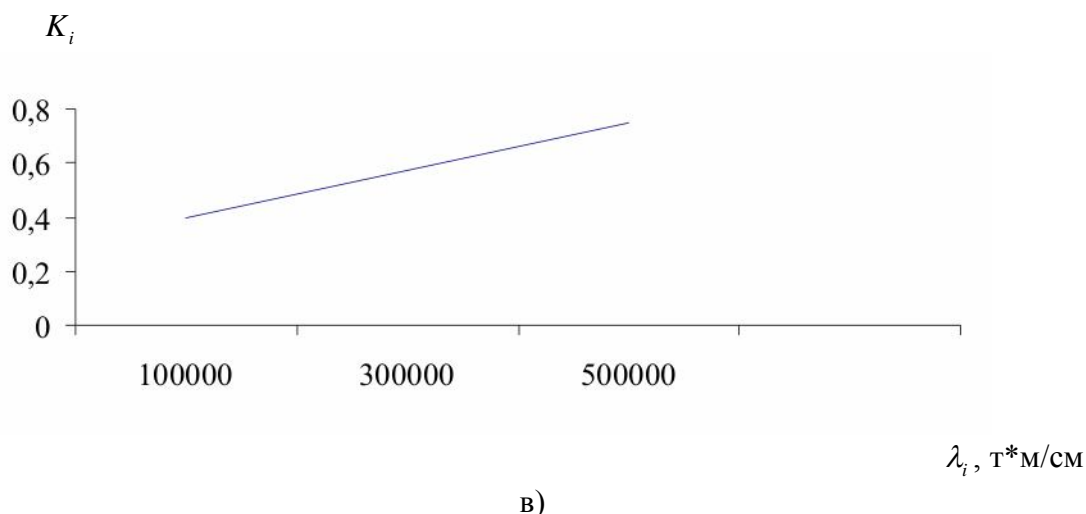


Рис. 7. Зависимости уровней эффективности по комплексному показателю от значения функционального критерия: а) – буровые установки; б) – погрузочно-доставочные машины; в) – подземные автосамосвалы

Таким образом, выполненная сравнительная оценка, по предлагаемой методике, технико-экономического уровня эксплуатируемых машин, позволяет обоснованно, с учетом анализа их основных конструктивных и эксплуатационных параметров, подойти к выбору типа внедряемой машины, а также выработать требования к конструкциям самоходного горного оборудования, применяемым в конкретных условиях эксплуатации.

**Список литературы:** 1. Бегляров М.А., Литвинов Ю.Н., Авальян В.Г. Техническое перевооружение подземных рудников Жезказгана. – М.: Горный журнал. Цветные металлы, Спец. выпуск, 2005. - С. 18-21. 2. Акашев З.Т., Данияров Н.А., Жалгасбеков А.З. Опыт механизации процесса добычи руд самоходным оборудованием. – Жезказган: Вестник ЖезУ. Науч. журнал, № 2, 2007. - С. 96-103. 3. Торбин В.У., Охотников Г.Н. и др. Надежность и эффективность в технике. - М.: Машиностроение, Т.3, 1988. - 328 с. 4. Солод Г.И., Радкевич Я.М. Управление качеством горных машин. Учебное пособие. - М.: МГИ, 1985. - 92 с. 5. Малыбаев С.К., Данияров Н.А., Хамитова Б.Ж. Эффективность использования продукции горного машиностроения. Материалы междунар. науч. конф. – Алматы: КазНТУ им. К.И.Сатпаева, 2007. - С. 264-269. 6. Данияров Н.А. Структурный анализ средств и систем механизации технологического процесса подземной разработки руд. Труды междунар. науч.-практической конф. – Караганда: КарГТУ, 2007. - С. 121-124. 7. Радкевич Я.М. Оценка качества промышленной продукции. - М.: Горное оборудование и электромеханика, № 1, 2007. - С. 20-25.

Сдано в редакцию 11.12.07