

УДК 629.113

*А. В. ВЕСНИН*, канд. техн. наук., доц., зав. кафедрой, ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

### **ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЭКСКАВАТОРНО-АВТОМОБИЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ В СФОРМИРОВАВШИХСЯ СПЕЦИФИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ КАРЬЕРОВ КРИВОРОЖСКОГО РЕГИОНА**

Представлены результаты анализа работы экскаваторно-автомобильных комплексов эксплуатирующихся в специфических условиях глубоких карьеров Криворожского региона. На основании теоретических исследований обоснованы рациональные параметры грузонесущих емкостей экскаваторов под существующий парк карьерных самосвалов, в зависимости от плотностных и физико-механических свойств горной массы. При использовании элементов теории массового обслуживания установлено количество автосамосвалов, работающих с одним экскаватором, для обеспечения максимальной эффективности выемочно-транспортного оборудования.

**Ключевые слова:** карьер, экскаваторно-автомобильный комплекс, грузонесущие емкости машин, физико-механические свойства горной массы, рациональные параметры.

**Введение.** Характерной особенностью развития современных карьеров является значительное понижение горных работ. Так, на данный момент глубина Первомайского, Анновского карьеров и карьера ЮГОКа составляет 380, 260 и 390 м соответственно, а самого молодого карьера в Криворожском регионе - Ингулецкого - уже превысила 360 м. Увеличение глубины карьеров приводит к ухудшению условий эксплуатации выемочно-транспортного оборудования и, как следствие, к повышению затрат на экскавацию и транспортирование горной массы. Особенно существенно снижается эффективность транспортирования: увеличивается расход топлива карьерными самосвалами, снижается скорость движения, увеличиваются затраты времени на маневрирование в общем времени цикла. При этом доля перемещения горной массы автомобильным транспортом на Криворожских карьерах постоянно увеличивается и на сегодняшний день составляет 80...90% [1].

Высокий процент участия карьерных самосвалов в перемещении горной массы предопределяет их стабильное и достаточно интенсивное обновление. В настоящее время более 80% парка технологического транспорта железорудных предприятий Криворожского региона имеют грузоподъемность 120...160 т и являются продукцией Холдинг «БелАЗ». Парк карьерных экскаваторов обновляется менее интенсивно и состоит из экскаваторов производства МК «Уралмаш», ООО «ИЗ-КАРТЭКС» ЭКГ-8И, ЭКГ-10, ЭКГ-12,5 и их модификаций с ковшами вместимостью 5...12,5 м<sup>3</sup>. Вместимость же ковша среднесписочного экскаватора составляет 8...10 м<sup>3</sup>, что при плотностных и физико-механических свойствах железных руд в регионе не соответствует объему кузова и грузоподъемности самосвалов по кратности загружаемых ковшей.

Значительный (до 60...80%) износ существующего экскаваторного парка и малая вместимость ковша экскаваторов, не соответствующая большой грузоподъемности автосамосвалов, поступающих в карьеры, снижают производительность комплекса и препятствуют развитию горных предприятий [2]. Повышение производительности существующих экскаваторно-автомобильных комплексов (ЭАК) не возможно без обновления морально устаревших экскаваторов на машины с ковшом большей вместимости, а эффективные показатели работы, можно

© А. В. Веснин, 2014

получить только на основе качественного согласования сопряженных рабочих емкостей самосвала и экскаватора с установлением количества транспортных средств в комплексе.

**Анализ основных достижений и литературы.** Установлению эффективных параметров экскаваторно-автомобильных комплексов посвящено достаточное количество теоретических и практических исследований и согласно литературным источникам, рациональное соотношение параметров экскаваторов и автосамосвалов на карьерах колеблется от 3:1 до 6:1 [3]. Минимально допустимым соотношением у одних исследователей выступает 2:1, у других - 4:1, а максимально допустимым от 6:1 до 8:1 [4]. Наиболее совершенными методиками для определения параметров ЭАК считаются использующие экономико-математические модели. Одна из таких разработана СПГГИ (ТУ) и рекомендована для применения в проектных организациях и на производстве по мере изменения горнотехнических и экономических условий [5]. Модель основана на методе статистического моделирования, то есть входные параметры (типы экскаваторов и автосамосвалов, горнотехнические условия) варьируются. В качестве целевой функции эффективности ЭАК принят минимум удельных приведенных затрат на погрузку и транспортирование 1 т горной массы и при одинаковых значениях удельных приведенных затрат по сравниваемым вариантам предпочтение отдается комплексу, обеспечивающему максимальную производительность, маневренность и стабильность. Прототипом данной модели является методика, разработанная А.А. Кулешовым [6].

Основываясь на анализе теоретических источников можно утверждать, что рациональное соотношение, являясь величиной непостоянной, зависит как от технических характеристик погрузочного оборудования (массы экскаватора, его геометрических параметров, длительности цикла экскавации, вместимости ковша), так и от горнотехнических условий работы комплекса (физико-механических свойств горной массы, параметров забоя экскаватора, дальности транспортирования, сложности трасс и параметров автодорог, типа и состояния дорожного покрытия). Горнотехнические условия специфичны для каждого карьера и носят вероятностный характер, а продолжительность цикла экскаватора определяет время погрузки автосамосвала, которое, в свою очередь, влияет на количество транспортных средств, занятых под одним экскаватором. Основными же недостатками существующих методик и моделей являются такие: используя различные методики с одними и теми же начальными данными можно получить противоречивые результаты соотношений параметров экскаваторов и автосамосвалов; найденное эффективное соотношение параметров ЭАК, как правило, представляет собой дробное число, что трудно реализовать на практике, а округленное до наименьшего целого уже не является рациональным по критерию максимальной производительности; большая часть методик разработана для выбора типа ЭАК на стадии разработки и проектирования карьеров, а не в процессе эксплуатации действующих; при определении оптимального соотношения между грузонесущими емкостями горнотранспортного оборудования не рассматриваются возможности применения на карьерных самосвалах кузовов различной вместимости, и соответственно не используются корректировочные коэффициенты учитывающие изменение погрузочной высоты; в методиках оптимизации количества автосамосвалов в комплексе при изменении горно-геологических и горнотехнических условий в качестве целевой функции как правило выступают минимальные затраты от простоев погрузочно-транспортного

оборудования, что не всегда приводит к снижению общих затрат на выемочно-транспортные операции.

**Цель исследования, постановка задачи.** Основываясь на вышеизложенном, целью исследований является проведение анализа работы экскаваторно-автомобильных комплексов находящихся в непосредственной эксплуатации для обоснования параметров экскаваторов, под существующий парк карьерных самосвалов, работающих в специфических условиях глубоких карьеров Криворожского региона. Второй частью вопроса согласования параметров ЭАК выступает нахождение путей определения количества автосамосвалов в комплексе на основе найденного рационального сочетания количества циклов экскавации.

Таким образом, из факторов, определяющих эффективность экскавации, в данной работе учитываются плотностные и физико-механические свойства горной массы, а из группы факторов, влияющих на эффективность транспортирования, - среднее расстояние транспортирования, средневзвешенный уклон и среднетехническая скорость движения, поскольку именно эти факторы в первую очередь определяют совместимость рабочих параметров ЭАК и производительность комплекса в целом.

**Материалы исследований.** Аналитической зависимости между плотностью горной породы в целике и коэффициентами наполнения, разрыхления и экскавации в литературных источниках установлено не было. Поэтому была определена зависимость между плотностью горной породы в целике ( $\text{т/м}^3$ ), коэффициентом наполнения и коэффициентом экскавации для механической лопаты, которая представляет собой аппроксимирующуюся полиномом второй степени кривую (рис. 1).

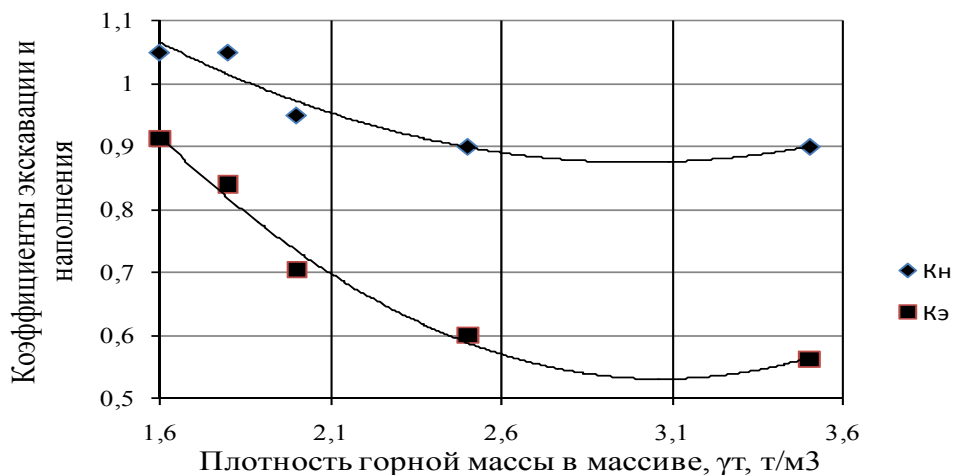


Рисунок 1 – Зависимость коэффициентов наполнения и экскавации от плотности горной породы в массиве

Уравнение аппроксимации для коэффициента наполнения имеет вид

$$k_n = 0,0976 \cdot \gamma_m^2 - 0,585 \cdot \gamma_m + 1,7512, \quad (1);$$

для коэффициента экскавации

$$k_{\varepsilon} = 0,1786 \cdot \gamma_m^2 - 1,0958 \cdot \gamma_m + 2,2113, \quad (2)$$

где  $\gamma_m$  – плотность горной породы в целике.

Расчетные физико-механические характеристики горных пород на карьерах Кривбасса, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные физико-механические характеристики горных пород на карьерах Криворожского региона, влияющие на эффективность экскавации

Вид горной массы	Категория пород по крепости	Плотность в целике, $\gamma_m$ , т/м <sup>3</sup>	Коэффициент наполнения, $K_n$	Коэффициент разрыхления, $K_p$	Коэффициент экскавации, $K_s$
Вскрыша	II	1,9	1,05	1,36	0,77
Скальная порода	IV	2,5	0,90	1,5	0,60
Руда	V	3,5	0,90	1,6	0,56

Из конструктивных особенностей, влияющих на совместимость рабочих параметров ЭАК, для автосамосвалов производства «Холдинг БелАЗ» грузоподъемностью 120...136 т, эксплуатируемых на карьерах региона, следует выделить кузова различной вместимости [6] (табл. 2).

Таблица 2 – Вместимость кузова карьерных автосамосвалов БелАЗ-75145 и БелАЗ-7513

Карьерный самосвал	Грузоподъемность, т	Геометрический объем кузова, м <sup>3</sup>	Объем кузова с шайкой 2:1
БелАЗ-75145	120	47,55	63,15
		90*	110*
БелАЗ-7513	130...136	45,5	71,2
		50,1	75,5
		55	80
		59,6	84
		103,8	134,8

\*-углевозная комплектация

Расчеты совместимости рабочих параметров ЭАК были проведены для экскаваторов-мехлопат ЭКГ-8И, ЭКГ-10, ЭКГ-12,5 и ЭКГ-15 производства ООО «ИЗКАРТЭКС». Вес горной массы в ковше экскаватора с учетом горно-геологических условий рассчитывается из объема по коэффициенту наполнения. ЭАК подбирается таким образом, чтобы количество ковшей экскаватора обеспечивало коэффициент использования грузоподъемности автосамосвала в оптимальных пределах, продолжительность погрузки была минимальной, а вместимость платформы автосамосвала позволяла перевозить данный объем горной массы (табл. 3).

При использовании таблицы 3 получены графические зависимости массы и объема груза в кузове самосвала от количества ковшей экскаватора при работе исследуемых комплексов на руде, скальных породах и вскрыше (как пример показана зависимость работы комплекса на скальной породе рис. 2).

**Результаты исследований.** Анализ полученных данных позволил сделать промежуточные выводы. При работе экскаватора ЭКГ-15 с автосамосвалами грузоподъемностью 120...136 т на руде наблюдается наименьшая продолжительность погрузки по сравнению с экскаваторами, эксплуатируемыми в настоящее время. Для карьерного автосамосвала БелАЗ-75145 на руде с любым рассматриваемым экскаватором достаточно вместимости стандартной платформы в 47,55 м<sup>3</sup>, поскольку

объем породы в кузове будет составлять от 50,4 до 57,6 м<sup>3</sup>, что не превышает объема с «шапкой» 2:1, равного 63,15 м<sup>3</sup>.

Таблица 3 – Количество ковшей экскаватора  $n_k$  в кузове автосамосвала и коэффициент использования грузоподъемности транспортного средства  $K_q$  в зависимости от объема ковша экскаватора  $E$ , м<sup>3</sup> при работе с горной массой различной плотности

Грузоподъемность самосвала, т	Руда							
	E=8		E=10		E=12,5		E=15	
	$n_k$ , ШТ	$K_q$	$n_k$ , ШТ	$K_q$	$n_k$ , ШТ	$K_q$	$n_k$ , ШТ	$K_q$
120	7	0,921	6	0,987	5	1,028	4	0,987
130	8	0,972	7	1,063	5	0,949	4	0,911
136	8	0,929	7	1,016	5	0,907	4	0,871
Грузоподъемность самосвала, т	Скальная порода и вскрыша							
	E=8		E=10		E=12,5		E=15	
	$n_k$ , ШТ	$K_q$	$n_k$ , ШТ	$K_q$	$n_k$ , ШТ	$K_q$	$n_k$ , ШТ	$K_q$
120	10	0,980	8	0,980	6	0,920	5	0,920
130	>10	-	9	1,017	7	0,990	6	1,020
136	>10	-	9	0,973	7	0,947	6	0,975

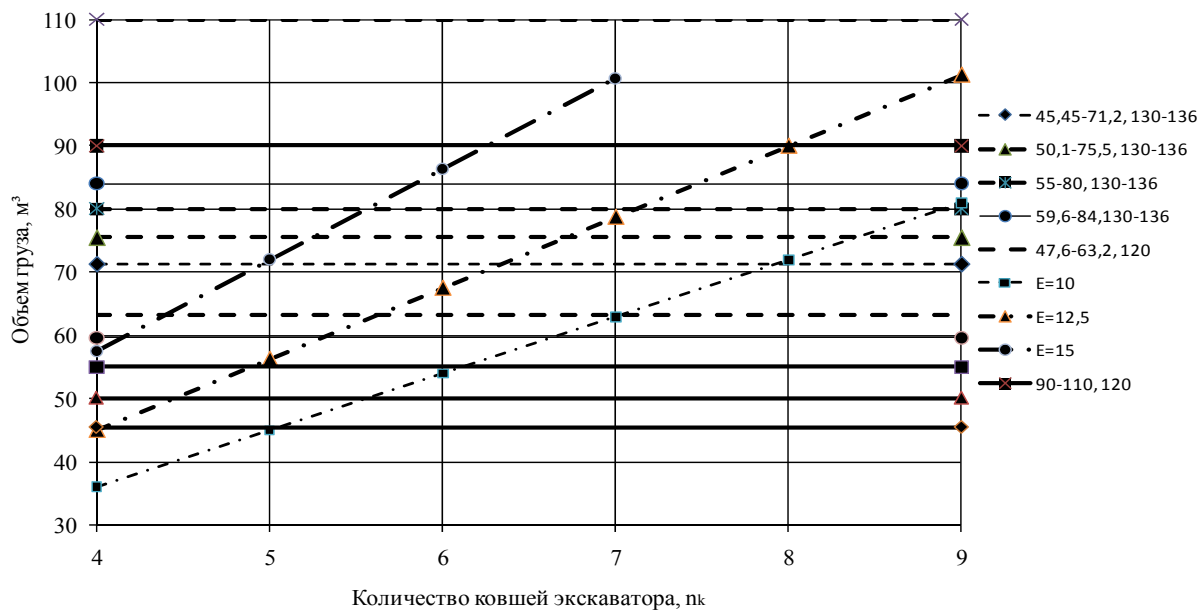


Рисунок 2 – Зависимость объема груза от количества ковшей экскаватора при работе комплекса на скальной породе: - - - - объем платформы самосвала с «шапкой» 2:1; ----- геометрический объем платформы самосвала

Однако в случае использования ЭКГ-15 с автосамосвалом БелАЗ-7513 грузоподъемностью 136 т эффективность комплекса снижается за счет либо недогруза транспортного средства на 13%, либо, при пяти циклах экскавации, перегруза на 8%. Если использовать экскаватор ЭКГ-15 в качестве вскрышного, то в комплексе с автосамосвалами грузоподъемностью 120...136 т коэффициенты использования грузоподъемности и число циклов экскавации будут оптимальными.

При експлуатації кар'єрного автосамосвала БелАЗ-7513 на руді розрахункові об'єми породи в кузові в комплексі з екскаваторами ЕКГ-8И, ЕКГ-10, ЕКГ-12,5 також не перевищують вмістимість стандартної платформи з «шапкою», яка становить  $71,2 \text{ м}^3$ .

Для скальних порід і вскріши вмістимість стандартної платформи автосамосвала БелАЗ-75145 навіть з «шапкою» недостатньо для перевезення розрахункових об'ємів, незважаючи на недогрузи. Однак і використання углевозної платформи на БелАЗ-75145 не раціонально т.к. її геометрична вмістимість значительно перевищує фактичні об'єми породи і вскріши.

Комплекс «екскаватор ЕКГ-15 - автосамосвал БелАЗ-7513» на скальних породах буде працювати з недогрузом автосамосвала на 2,5%. На вскріші щільністю  $1,9 \text{ т/м}^3$  можливо застосування автосамосвалів БелАЗ-7513 з геометричним об'ємом платформи  $103,8 \text{ м}^3$ , так як об'єм породи становить від  $91,7$  до  $94,8 \text{ м}^3$  в залежності від типу екскаватора.

Остаточно вибір вироблявся за критерієм максимальної продуктивності ЕАК при розв'язанні задачі визначення кількості кар'єрних автосамосвалів в комплексі, з допомогою елементів теорії масового обслуговування. Отримані на основі вирахувань залежності коефіцієнтів використання екскаваторів і автосамосвалів при роботі на руді, скальних породах і вскріші від кількості автосамосвалів в комплексі представлені графічно (як приклад показані зміни коефіцієнтів використання екскаваторів і самосвалів в залежності від кількості машин закріплених за одним екскаватором і відстані транспортування рис. 3).

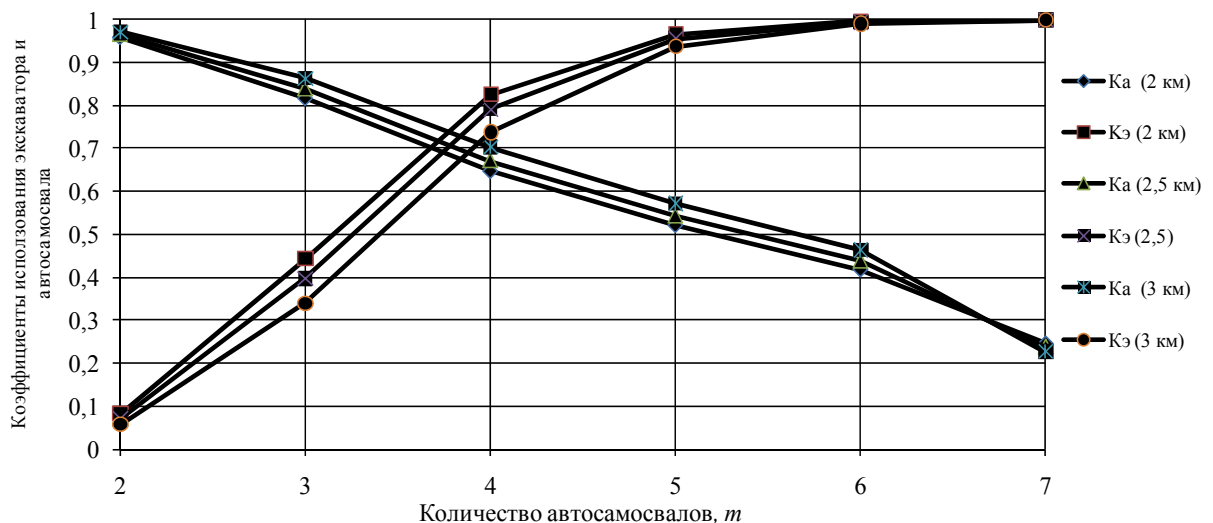


Рисунок 3 – Зміна коефіцієнтів використання екскаваторів і самосвалів БелАЗ-7513/75145, що працюють на добувці, в залежності від кількості машин закріплених за одним екскаватором ЕКГ-12,5 і відстані транспортування гірної маси

Для ЕАК, зайнятих на руді, породі і вскріші, оптимальна кількість автосамосвалів  $m$ , закріплених за одним екскаватором, рівно чотирьом, оскільки простой екскаваторної техніки порівняно з простоями автотранспорту призводять до великих втрат. З збільшенням відстані транспортування коефіцієнт використання календарного часу екскаватора зменшується, а коефіцієнт використання автосамосвала збільшується. З переходом від руди до вскріши коефіцієнт використання екскаватора збільшується.

**Выводы.** Описанный выбор типа ЭАК учитывает плотностные и физико-механические свойства горной массы, обеспечение максимальной производительности оборудования и его технологическую согласованность, наличие устойчивого парка автосамосвалов на Криворожских ГОКах, а также возможность эксплуатировать однотипную технику.

В ходе исследований аналитически установлено, что для работы на руде в условиях глубоких карьеров Криворожского региона оптимальным типом ЭАК является автосамосвал грузоподъемностью 120...136 т - БелАЗ-7513/75145 и карьерный экскаватор с емкостью ковша 12,5 м<sup>3</sup> (ЭКГ-12,5), для работы на скальных породах - БелАЗ-7513 - ЭКГ-12,5, на вскрыше - БелАЗ-7513 и экскаватор с емкостью ковша 15 м<sup>3</sup> (ЭКГ-15). На основании исследований с использованием методов теории массового обслуживания, позволяющих представить ЭАК в виде модели замкнутой системы массового обслуживания с ожиданием, при критерии целевой функции - оптимальное использование календарного фонда времени установлено, что для рассматриваемых условий - четыре карьерных самосвала, занятых под одним экскаватором, являются рациональной величиной.

**Список литературы:** 1. *Мариев П.Л.* Карьерный автотранспорт стран СНГ в XXI веке / П.Л. Мариев [и др.] /- М.: Недра, 2006.- 392с. 2. [www.ukrrudprom.ua/digest/dm270505.html](http://www.ukrrudprom.ua/digest/dm270505.html). 3. *Васильев М.В.* Автомобильный транспорт карьеров / М.В. Васильев, З.Л. Сироткин, В.П. Смирнов. - М.: Недра, 1973. - 280с. 4. *Кулешов А.А.* Мощные экскаваторно-автомобильные комплексы карьеров / А.А. Кулешов. - М: Недра, 1980. 5. *Мариев П.Л.* Карьерный автотранспорт: состояние и перспективы / П.Л. Мариев, А.А. Кулешов, А.Н. Егоров, И.В. Зырянов – СПб: Наука, 2004. - 429 с. 6. *Кулешов А.А.* Выбор оптимальной типажной структуры экскаваторно-автомобильных комплексов для условий конкретного карьера / А.А. Кулешов МВиССР РСФСР, Лен. горн. ин-т им. Плеханова, 1989. – 70с. 7. Справочник эксплуатационных характеристик БелАЗ. - «ПО Белорусский автомобильный завод», 2004.

*Поступила в редколлегию 03.03.2014*

УДК 629.113

**Пути повышения эффективности работы экскаваторно-автомобильных комплексов в сформировавшихся специфических условиях карьеров Криворожского региона / А. В. Веснин // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Автомобіле- та тракторобудування. – Х. : НТУ «ХПІ», 2014. – № 9 (1052). – С. 113-119. – Бібліогр.: 7 назв. – ISSN 2078-6840.**

Представлено результати аналізу роботи экскаваторно-автомобільних комплексів, що експлуатуються в специфічних умовах глибоких кар'єрів Криворізького регіону. На підставі теоретичних досліджень обґрунтовані раціональні параметри вантажних ємностей экскаваторів під існуючий парк кар'єрних самоскидів, залежно від щільнісних та фізико-механічних властивостей гірничої маси. При використанні елементів теорії масового обслуговування встановлена кількість автосамоскидів, що працюють із одним экскаватором, для забезпечення максимальної ефективності вільно-транспортного встаткування.

**Ключові слова:** кар'єр, экскаваторно-автомобільний комплекс, вантажні ємності машин, фізико-механічні властивості гірничої маси, раціональні параметри.

**Ways of increasing to efficiency of the work shovel-truck complex in ed specific condition quarry Krivorozhskogo region / A. V. Vesnin // Bulletin of NTU «KhPI». Series: Car- and tractorbuilding. – Kharkiv : NTU «KhPI», 2014. – № 9 (1052). – P. 113-119. – Bibliogr.: 7. – ISSN 2078-6840.**

The results of analysis of shovel-truck complexes operating in specific conditions of deep pits on Krivoy Rog region are presented. The rational load capacities of excavators according to the existing fleet of pit trucks are substantiated on the basis of theoretical studies depending on the density and physical- mechanical properties of the rock mass. The numbers of pit trucks operating with one shovel are determined by using the elements of queuing theory to ensure the maximum excavator and transport equipment efficiency.

**Key words:** open pit, shovel-truck complex, load capacity of machines, physical-mechanical properties of the rock mass, rational parameters.