

Научная статья

УДК 622.684:629.114

DOI: 10.26730/1816-4528-2025-5-72-80

Глебов Андрей Валерьевич

Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук

* для корреспонденции: glebov@igduran.ru

ОЦЕНКА И ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ ЭКСКАВАТОРНО-АВТОМОБИЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ С УЧЕТОМ УРОВНЯ КАЧЕСТВА И СОВОКУПНОЙ СТОИМОСТИ ВЛАДЕНИЯ НА СТАДИИ ЗАКУПКИ**Информация о статье**

Поступила:

03 июня 2025 г.

Одобрена после
рецензирования:

30 августа 2025 г.

Принята к печати:

01 сентября 2025 г.

Опубликована:

09 октября 2025 г.

Ключевые слова:

недропользователь, горно-транспортное оборудование, конкурентоспособность, экскаватор, автосамосвал, уровень качества, совокупная стоимость владения

Аннотация.

Актуальной практической проблемой для недропользователя является снижение эффективности горнодобывающего предприятия вследствие закономерного роста затрат на экскавацию и транспортирование горной массы, усугубляющегося возникновением несоответствия параметров экскаваторно-автомобильного комплекса (ЭАК) и горнотехнической системы карьера, изменяющегося и накапливающегося по мере развития горных работ. Формирование ЭАК в условиях повышенной конкуренции во взаимосвязи с развитием карьерного пространства с целью исключения их взаимного несоответствия, возникающего при изменении природных, горнотехнических, организационных и экономических условий при разработке крутопадающих глубокозалегающих рудных месторождений, является актуальной научной задачей.

Отсутствие у недропользователя научно обоснованного инструмента для оценки и выбора горнотранспортного оборудования на стадии купли-продажи порождает не самые эффективные управленческие решения по формированию экскаваторно-автомобильных комплексов в условиях высокой конкуренции. Это приводит к снижению эффективности производства за счет увеличения затрат на ТОиР, снижения срока службы отдельных узлов и техники в целом, увеличения расходов на содержание и энергоресурсы.

Выбор оборудования для ЭАК должен осуществляться на основе научно обоснованной методики определения интегрального показателя его потребительских качеств, учитывающего техническое совершенство конструкции автосамосвалов и экскаваторов, эффективность системы сервисного обслуживания в течение всего срока их эксплуатации, степень пригодности к горно-техническим условиям и возможность достижения высоких технико-экономических показателей при работе в карьере или разрезе.

Целью данного исследования является совершенствование методики выбора горнотранспортного оборудования при формировании ЭАК в условиях повышенной конкуренции.

Проведенное исследование позволило разработать методический аппарат для экспресс-оценки и выбора горнотранспортного оборудования при формировании ЭАК, а также для сравнения комплексов оборудования в целом.

Для цитирования: Глебов А.В. Оценка и выбор оборудования экскаваторно-автомобильных комплексов с учетом уровня качества и совокупной стоимости владения на стадии закупки // Горное оборудование и электромеханика. 2025. № 5 (181). С. 72-80. DOI: 10.26730/1816-4528-2025-5-72-80, EDN: JKLYCM

Благодарности

Статья подготовлена в рамках государственного задания по Теме 1 (2025-2027). Методология обоснования перспектив технологического развития комплексного освоения минерально-сырьевых ресурсов твердых полезных ископаемых России (FUWE-2025-0001), рег. номер 1022040200004-9-1.5.1.

Введение

Предприятия горнометаллургической отрасли России являются одними из крупнейших потребителей продукции машиностроения, в первую очередь тяжелого, энергетического и транспортного, значительную часть которого составляют машины и оборудование импортного производства. Эта тенденция сохраняется и в горнодобывающей отрасли.

В 2024 году внешнеэкономическая деятельность России продолжила сталкиваться с проблемами, обусловленными глобальными экономическими и геополитическими изменениями. Импорт претерпел существенные изменения в связи с геополитической обстановкой и введением западных санкций. За первую половину 2024 года объем импорта снизился на 12,8% по сравнению с аналогичным периодом 2023 года, что связано с сокращением поставок из стран ЕС и США [1]. В связи с этим Россия продолжает наращивать сотрудничество с азиатскими странами, такими как Китай и Индия. В условиях санкций и ограниченного доступа к западным технологиям недропользователи ищут новые рынки для приобретения оборудования, активно сотрудничая с производителями из Юго-Восточной Азии.

В настоящее время на рынке представлено множество различных производителей горнотранспортного оборудования. Санкционная политика привела к значительному расширению рынка карьерной техники за счет азиатского региона. Сегодня в мире насчитывается более 20 крупнейших фирм-производителей карьерных автосамосвалов и экскаваторов. Например, количество базовых моделей карьерных автосамосвалов одного класса грузоподъемности разных фирм-производителей варьируется от 3 до 20 единиц, а количество их модификаций от 6 до 33 единиц. Наличие большого количества моделей автосамосвалов одного класса по грузоподъемности привело к значительному разбросу (от 6,5 до 36,2%) их основных параметров, что существенно затрудняет выбор рациональной модели автосамосвала для условий конкретных карьеров (Таблица 1).

Широкое применение на открытых горных работах полноприводных самосвалов с шарнирно-сочлененной конструкцией (ШАС), особенно при отработке россыпных месторождений полезных

ископаемых, а также при освоении глубокозалегающих крутопадающих месторождений карьерами, глубиной свыше 500 м создает дополнительную конкуренцию карьерным автосамосвалам. Количество базовых моделей ШАС одного класса грузоподъемности на Российском рынке достигает 10 единиц. Количество модификаций ШСС грузоподъемностью 27-45 т достигает 38 единиц, что также создает проблему выбора рациональной модели особенно в совокупности с карьерными автосамосвалами.

Проблемой формирования экскаваторно-автомобильного комплекса (ЭАК) для недропользователя является в том числе наличие на рынке большого разнообразия экскаваторов (Таблицы 2 и 3). Исследованиями авторов статьи «Особенности рынка карьерных экскаваторов в России» [2] установлено, что парк электрических экскаваторов с канатным напором на карьерах России на 83% состоит из отечественных моделей производства ПАО «Уралмашзавод» и ООО «ИЗ-КАРТЭКС им. П. Г. Коробкова», а парк карьерных гидравлических экскаваторов полностью составляют модели зарубежного производства. Стоит отметить, что к освоению производства гидравлических экскаваторов вплотную подошли БЕЛАЗ и ПАО «Уралмашзавод», выпустив экскаваторы ВХ-20012 с емкостью ковша 12 м³ массой 200 т и УГЭ-300 с емкостью ковша 16 м³ массой 300 т.

Количество моделей гидравлических экскаваторов с эксплуатационной массой свыше 100 т одного класса полезной весовой нагрузки колеблется от 1 до 10 единиц, а их модификаций – от 1 до 23 единиц. Количество моделей электрических экскаваторов с канатным напором эксплуатационной массой свыше 8 т изменяется от 2 до 9 единиц, а их модификаций – от 2 до 11 единиц.

Кроме большого диапазона изменения технических и эксплуатационных характеристик экскаваторов и автосамосвалов одного класса, их цены разнятся между собой в 1,5-4 раза.

Из всего вышеизложенного складывается проблема выбора и рационального расходования материальных ресурсов управленческим персоналом горнодобывающего предприятия на стадии приобретения горнотранспортного оборудования, такого как карьерные экскаваторы и автосамосвалы, с уче-

Таблица 1. Изменение некоторых параметров автосамосвалов по классам грузоподъемности

Table 1. Change in some parameters of dump trucks by load-carrying capacity classes

Грузоподъемность автосамосвала, т	Количество моделей / их модификаций	Разброс параметров, %				
		Мощность двигателя	Ширина самосвала	Радиус поворота	Нагрузка на шины	Коэф. тары
27 – 45	13 / 24	15,8	17,0	12,6	9,1	17,1
46 – 60	10 / 26	10,2	13,7	31,2	12,8	5,2
65 – 110	20 / 33	15,2	33,8	23,2	12,4	17,8
120 – 140	7 / 17	15,6	9,1	19,7	9,1	7,0
150 – 160	3 / 6	21,6	11,4	20,0	13,1	36,2
180 – 190	6 / 10	20,6	8,7	20,0	6,9	25,3
200 – 260	10 / 32	22,7	22,0	9,1	-	25,96
270 – 300	7 / 8	25,95	6,5	25,1	-	10,7
320 – 400	7 / 13	9,1	8,4	20,1	-	11,8

том затрат на их содержание и эксплуатацию до момента списания.

Анализ управленческих решений при проведении торгово-закупочных процедур выявил причины, приводящие к дальнейшему снижению эффективности горнотранспортного оборудования ЭАК, а именно:

1) при проведении конкурсов на поставку автосамосвалов и экскаваторов не учитываются критерии оценки поставщиков, не учитываются затраты по эксплуатации геотехники в долгосрочном периоде. Рейтинг поставщика определяется только исходя из стоимости горнотранспортного оборудования и соответствия основных технических характеристик техническому заданию предприятия;

2) при выборе поставщика горнотранспортного оборудования мало учитывается опыт его использования другими предприятиями, так как большинство технико-экономических показателей на сегодняшний день является коммерческой тайной;

3) по причине санкционной политики многих стран не выполняется унификация приобретаемой геотехники для поддержания фонда оборотных запасных частей, в том числе расходников для оперативной замены и бесперебойной работы автосамосвалов и экскаваторов;

4) время реагирования и качество сервиса выбранного поставщика автосамосвалов и экскаваторов не соответствуют ожидаемым, сроки поставки запасных частей не совпадают с плановыми, время реагирования сервисной службы поставщика большое, что продлевает простой ЭАК.

Таблица 2. Разнообразие карьерных гидравлических экскаваторов основных фирм-производителей
Table 2. Variety of quarry hydraulic excavators of the main manufacturers

Класс экскаватора по полезной нагрузке, т	Вместимость ковша, м ³	Кол-во моделей / модификаций
100-150 т	7-8 м ³	10/23
175-240 т	10-12 м ³	8/17
250-340 т	15-18 м ³	7/12
350-450 т	21-24 м ³	6/12
500-600 т	25-28 м ³	3/6
600-700 т	34-36 м ³	4/8
750-850 т	40-42 м ³	3/8
> 900 т	50-52 м ³	1/1

Таблица 3. Разнообразие карьерных электрических экскаваторов основных фирм-производителей
Table 3. Variety of quarry electric excavators of the main manufacturers

Класс экскаватора по полезной нагрузке, т	Вместимость ковша, м ³	Кол-во моделей / модификаций
8-10 т	4-5 м ³	2/2
18-24 т	10-12 м ³	5/8
30-50 т	15-25 м ³	9/11
60-70 т	30-35 м ³	5/6
80-110 т	45-60 м ³	7/9
120-140 т	70-80 м ³	2/2

Исходя из определенных выше проблем, стоит отметить, что при выборе ЭАК для горнодобывающего предприятия необходимо учитывать не только ценовые критерии, но и множество других, влияющих на качество работы горнотранспортного оборудования в долгосрочной перспективе.

Проблема выбора горнотранспортного оборудования периодически активно анализируется в научно-технической литературе. Подходы к оценке ЭАК, изложенные в литературе [3, 4], основаны на опыте эксплуатации и использовании статистической информации, накапливаемой на предприятии по мере использования той или иной единицы техники, что не позволяет принимать обоснованное управленческое решение по выбору и приобретению новой либо модернизированной модели экскаватора либо автосамосвала, особенно в условиях увеличивающегося насыщения рынка и повышения конкуренции.

Отсутствие комплексной оценки, основанной на современной научно обоснованной методике формирования ЭАК, порождает не самые эффективные управленческие решения по выбору горнотранспортного оборудования в условиях высокой конкуренции. С точки зрения потребителя основную роль при выборе нового горнотранспортного оборудования играет показатель конкурентоспособности, включающий в себя два основных компонента: качество объекта, совокупная стоимость владения им (ССВ). Обоснование методического подхода оценки и выбора оборудования ЭАК с учетом уровня качества и совокупной стоимости владения является актуальной научной задачей и целью настоящего исследования.

Методы

Количественная мера качества горнотранспортного оборудования должна определяться уровнем потребительских качеств (УПК), то есть степенью соответствия требованиям потребителя, который должен отражать достигнутый уровень технического совершенства (ТУ), эффективность системы сервисного, технического обслуживания и ремонта (УСО), а также пригодность выбранного оборудования к конкретным условиям эксплуатации (УП) и эффективность его использования в этих условиях (УПЭ). Это позволит обоснованно выбирать оборудование, находящееся в одном классе по основным параметрам, таким как грузоподъемность для автосамосвалов и полезная весовая нагрузка для экскаваторов [5].

В общем виде УПК каждой единицы оборудования, составляющего ЭАК, определяется по формуле [6]:

$$\text{УПК}_i = (\lambda_{i \text{ ту}} \times k_{i \text{ ту}}) + (\lambda_{i \text{ усо}} \times k_{i \text{ усо}}) + (\lambda_{i \text{ уп}} \times k_{i \text{ уп}}) + (\lambda_{i \text{ упэ}} \times k_{i \text{ упэ}}),$$

где $\lambda_{i \text{ ту}}$, $\lambda_{i \text{ усо}}$, $\lambda_{i \text{ уп}}$, $\lambda_{i \text{ упэ}}$ – относительные значения показателей ТУ, УСО, УП и УПЭ соответственно, определяемые в соответствии с методикой, разработанной автором [6];

$k_{i \text{ ту}}$, $k_{i \text{ усо}}$, $k_{i \text{ уп}}$, $k_{i \text{ упэ}}$ – коэффициенты значимости ТУ, УСО, УП и УПЭ соответственно, определяемые потребителем методом экспертного ранжирования [7].

Понятие совокупной стоимости владения (ССВ) используется достаточно давно и может быть применимо к любому активу или объекту длительного пользования: зданиям, сооружениям, оборудованию и т. д. Несмотря на это, однозначного определения этого понятия нет. Впервые его использовала компания Gartner Group, которая в конце 80-х годов стала широко применять это понятие в своих исследованиях. В последние десятилетия ССВ все чаще стали применять как на западе [8-11], так и в России в качестве критерия сравнения различных типов оборудования на различных этапах его жизненного цикла, в том числе при оценке эффективности использования горнотранспортной техники.

ССВ за период жизненного цикла горнотранспортного оборудования, как правило, составляют затраты на владение (Z_b) конкретной единицей техники либо парком такой техники (автосамосвалы, экскаваторы), затраты на эксплуатацию этой техники ($Z_{\text{эксп}}$) и затраты на техническое обслуживание (сервисное обслуживание) и ремонт (ТОиР) ($Z_{\text{ТОиР}}$):

$$ССВ = Z_b + Z_{\text{ТОиР}} + Z_{\text{эксп, усл. ед.}} \quad (1)$$

При этом затраты на владение техникой разные авторы [12-14] определяют одинаково как сумму затрат на приобретение техники (Z_n), на оплату налогов (Z_n), кредита ($Z_{\text{кр}}$) и страхования ($Z_{\text{ст}}$):

$$Z_b = Z_n + Z_n + Z_{\text{кр}} + Z_{\text{ст}}, \text{ усл. ед.}$$

Учет эксплуатационных затрат и затрат на ТОиР разные авторы осуществляют по-разному, одни их разделяют, другие включают затраты на ТОиР в эксплуатационные.

С учетом разработанных ранее методических положений [5, 6] выбор горнотранспортного оборудования одного класса для формирования ЭАК в конкретных условиях карьера может быть произведен на разных этапах жизненного цикла по нескольким критериям конкурентоспособности:

1. «Затраты на приобретение (цена) – ТУ» – конкурентоспособность по техническому уровню.

Конкурентоспособность ($K_{\text{ту}}$) сравниваемых моделей оборудования ЭАК по техническому уровню оценивается на расчетный период времени по формуле

$$K_{\text{ту}} = \lambda_{\text{ту}} / \mathcal{E}_{\text{ту}},$$

где $\lambda_{\text{ту}}$ – относительный показатель ТУ i -ой модели автосамосвала или экскаватора;

$\mathcal{E}_{\text{ту}}$ – относительный показатель экономичности i -ой модели автосамосвала или экскаватора по цене

$$\mathcal{E}_{\text{ту}} = Z_{\text{п min}} / Z_{\text{п } i},$$

где $Z_{\text{п } i}$ – цена i -ой модели автосамосвала или экскаватора, усл. ед.;

$Z_{\text{п min}}$ – минимальная цена i -ой модели автосамосвала или экскаватора среди сравниваемых, усл. ед.

Относительное значение коэффициента конкурентоспособности автосамосвала или экскаватора по техническому уровню (ξ) определяется по формуле

$$\xi_{\text{ту}} = K_{\text{ту}} / K_{\text{ту max}},$$

где $K_{\text{ту max}}$ – максимальное значение среди всех значений $K_{\text{ту}}$ сравниваемых моделей автосамосвалов или экскаваторов.

Выбирается та модель автосамосвала или экскаватора, которая имеет относительное значение ко-

эффициента конкурентоспособности $\xi_{\text{ту}} = 1,0$, при остальных значениях $\xi < 1,0$.

2. «Затраты на ТОиР – УСО» – конкурентоспособность по уровню сервисного обслуживания.

Затраты на техническое обслуживание (сервисное обслуживание) и ремонт включают затраты на: заработную плату работников ($Z_{\text{зп}}$), приобретение запасных частей и материалов ($Z_{\text{зч}}$), оказание услуг по сервисному обслуживанию фирмой за год на одну единицу техники ($Z_{\text{усо}}$), стоимость технического обслуживания ($Z_{\text{то}}$) и ремонтов ($Z_{\text{р}}$) одного автосамосвала или экскаватора в год, стоимость обучения работников ($Z_{\text{ор}}$). Поэтому коэффициент конкурентоспособности по УСО определяется по формуле

$$K_{\text{усо}} = \lambda_{\text{усо}} / \mathcal{E}_{\text{усо}},$$

где $\lambda_{\text{усо}}$ – относительный показатель УСО i -ой модели автосамосвала или экскаватора;

$\mathcal{E}_{\text{усо}}$ – относительный показатель экономичности i -ой модели автосамосвала или экскаватора по затратам на ТОиР

$$\mathcal{E}_{\text{усо}} = Z_{\text{min}} / Z_{\text{ТОиР}},$$

где $Z_{\text{ТОиР}} = Z_{\text{зп}} + Z_{\text{зч}} + Z_{\text{усо}} + Z_{\text{то}} + Z_{\text{р}} + Z_{\text{ов}} + Z_{\text{ор}}$ – затраты на ТОиР i -ой модели автосамосвала или экскаватора, усл. ед.;

Z_{min} – минимальное значение $Z_{\text{ТОиР}}$ среди сравниваемых моделей, усл. ед.

Относительное значение коэффициента конкурентоспособности по УСО ($\xi_{\text{усо}}$) определяется по формуле

$$\xi_{\text{усо}} = K_{\text{усо}} / K_{\text{max}},$$

где K_{max} – максимальное значение среди всех значений $K_{\text{усо}}$ сравниваемых моделей.

Выбирается та модель автосамосвала или экскаватора, которая имеет относительное значение коэффициента конкурентоспособности $\xi_{\text{усо}} = 1,0$, при остальных значениях $\xi_{\text{усо}} < 1,0$.

3. «ССВ – УПК» – конкурентоспособность по уровню потребительских качеств.

Для обеспечения возможности оценки горнотранспортного оборудования, составляющего ЭАК, по одному или нескольким критериям конкурентоспособности необходимо иметь расчетные значения цены, затрат на владение, планируемых эксплуатационных затрат и затрат на ТОиР по каждой единице оборудования.

В качестве экспресс-оценки на стадии приобретения (закупки) конкурентоспособность горнотранспортного оборудования можно оценить исходя из показателей технического уровня и сервисных услуг, предоставляемых фирмой – производителем по формуле

$$K_{\text{упк}} = [(\lambda_{\text{ту}} \times k_{\text{ту}}) + (\lambda_{\text{усо}} \times k_{\text{усо}})] / (\mathcal{E}_{\text{ту}} + \mathcal{E}_{\text{усо}}).$$

Это позволит недропользователю вести более аргументированные переговоры о допустимой цене приобретаемой геотехники и стоимости ее сервисного обслуживания при заключении контракта с фирмой – поставщиком, но это не позволит оценить эффективность эксплуатации автосамосвала или экскаватора в течение всего жизненного цикла. Поэтому оценивать конкурентоспособность горнотранспортного оборудования необходимо по критерию «ССВ – УПК» за весь планируемый срок

службы ЭАК. Оптимальным является период оценки 23 года, так как он включает в себя жизненный цикл электрического экскаватора с тремя капитальными ремонтами, а также три жизненных цикла гидравлического экскаватора со средним сроком службы 8 лет (столько декларируют производители). Карьерные автосамосвалы также имеют средний срок службы 7-8 лет, что при 2-разовой замене сопоставимо с выбранным периодом эксплуатации ЭАК.

Состав затрат на владение техникой и затрат на ТОиР описан выше, что касается затрат на эксплуатацию в планируемый период оценки, то они включают в себя оплату труда водителей и машинистов ($Z_{\text{зп}}$), оплату энергоресурсов (дизельное топливо, газ, электроэнергия) ($Z_{\text{эр}}$), оплату расходных материалов (шины, траки и пальцы гусениц, зубья ковша и т. д.) ($Z_{\text{рм}}$)

$$Z_{\text{эксп}} = Z_{\text{зп}} + Z_{\text{эр}} + Z_{\text{рм}}, \text{ усл. ед.}$$

Окончательно конкурентоспособность модели горнотранспортного оборудования с учетом совокупной стоимости владения определяется по формуле

$$K_{i \text{ унк}} = \text{УПК}_i / G_i,$$

где G_i – относительный уровень экономичности i -ой модели автосамосвала или экскаватора по ССВ

$$G_i = \text{ССВ}_{\text{min}} / \text{ССВ}_i,$$

где ССВ_i – совокупная стоимость владения i -ой моделью автосамосвала или экскаватора, усл. ед.; ССВ_{min} – минимальная стоимость владения i -ой моделью автосамосвала или экскаватора среди сравниваемых, усл. ед.

Окончательный выбор производится по отно-

сительному значению коэффициента конкурентоспособности по УПК

$$\xi_{i \text{ унк}} = K_{i \text{ унк}} / K_{i \text{ min}},$$

где $K_{i \text{ min}}$ – минимальное значение показателя УПК среди сравниваемых моделей.

Выбирается та модель, которая имеет меньшее относительное значение коэффициента конкурентоспособности, т. е. $\xi_{i \text{ унк}} = 1,0$, при остальных значениях $\xi_{i \text{ унк}} > 1,0$.

Результаты исследования

При проведении торговых процедур применительно к условиям одного из ГОКов была проведена оценка карьерных автосамосвалов грузоподъемностью 45 т. Для формирования ЭАК с определенными моделями экскаваторов были подобраны 5 моделей автосамосвалов разных производителей, максимально соответствующих требованиям недропользователя. По представленным предприятием исходным данным была проведена оценка УПК каждой модели и их конкурентоспособности с учетом ССВ (Таблица 4).

Данные Таблицы 4 показывают, что УПК подобранных моделей отличается незначительно (0,6-8,8%), что подтверждает качество предварительного отбора, но одновременно с этим усложняет принятие решения о выборе автосамосвала для конкретного карьера.

Предварительная оценка конкурентоспособности автосамосвалов показала, что на первый взгляд дешевая модель № 1, имеющая достаточно высокий УПК, оказалась достаточно затратной в обслуживании, и наоборот, модель № 4, имеющая наименьший УПК среди сравниваемых, оказалась менее затратной в обслуживании. Средний уровень

Таблица 4. Оценка некоторых моделей автосамосвалов грузоподъемностью 45 т с учетом ССВ

Table 4. Evaluation of some models of dump trucks with a load capacity of 45 tons taking into account the TCO

Показатель	Модель автосамосвала				
	1	2	3	4	5
УПК	0,992	0,91	0,995	0,909	0,998
Затраты на приобретение, усл. ед.	250000	400000	524700	354000	412000
Относительный показатель экономичности по цене	1,000	0,625	0,476	0,706	0,607
Затраты на ТОиР, усл. ед./год	42048	41820	51660	36160	36160
Относительный показатель экономичности по затратам на ТОиР	0,860	0,865	0,700	1,000	1,000
Экспресс-оценка конкурентоспособности					
$K_{i \text{ унк}}$	0,533	0,611	0,846	0,533	0,622
Относительное значение коэффициента конкурентоспособности ($\xi_{i \text{ унк}}$)	1,001	1,147	1,588	1,000	1,168
Оценка конкурентоспособности с учетом ССВ					
Планируемые затраты на эксплуатацию, усл. ед./год	53548	52105	61863	54986	57933
Относительное значение затрат на эксплуатацию	0,973	1,000	0,842	0,948	0,899
ССВ, усл. ед./год	1014768	1151400	1432884	1083168	1164744
Относительное значение ССВ (G_i)	1,000	0,881	0,708	0,937	0,871
$K_{i \text{ унк}}$	0,992	1,033	1,405	0,970	1,145
Относительное значение коэффициента конкурентоспособности ($\xi_{i \text{ унк}}$)	1,022	1,064	1,448	1,000	1,181

цены и затрат на ТОиР привели к тому, что модель № 4 стала конкурентоспособной наравне с моделью автосамосвала № 1.

Расчет планируемых эксплуатационных затрат показал, что лучшим для данных условий карьера является автосамосвал № 2. При этом нужно отметить незначительную разницу между моделями № 1, 2 и 4, которая составила 2,7 и 5,2%. После оценки ССВ автосамосвал № 1 вновь занял лидирующие позиции, но комплексный учет всех коэффициентов привел к тому, что автосамосвал № 4 лучше № 1 на 2,2%, № 2 – на 6,4%. Значительная разница конкурентоспособности получена между автосамосвалом № 4 и автосамосвалами № 3 и № 5 (44,8% и 18,1% соответственно).

Данный пример показывает, что принятие решения о приобретении той или иной модели автосамосвала для конкретного карьера не может быть основано только на опыте его работы в аналогичных условиях, оно должно быть подтверждено соответствующими расчетами.

В результате расчетов из 5 отобранных для приобретения автосамосвалов различных фирм для принятия решения отобрано 2 модели – № 1 и № 4. По ним недропользователь провел более детальную оценку и принял соответствующее решение о покупке.

На примере одного из угольных разрезов проведена оценка УПК экскаваторов с емкостью ковша 30 м³ и их конкурентоспособности с учетом ССВ (Таблица 5).

Для оценки и выбора экскаватора во взаимодей-

ствии с действующим на разрезе парком карьерных автосамосвалов было отобрано три модели разных фирм-производителей.

Из Таблицы 5 видно, что модели отличаются по уровню потребительских качеств в пределах 10%, значительно разнятся по цене и затратам на ТОиР. Экспресс-оценка конкурентоспособности показала, что экскаватор № 1, имеющий низкий УПК, но при этом значительно дешевле и экономичнее в обслуживании, занял первое место. При этом разница по коэффициенту конкурентоспособности составила 48,8% с экскаватором № 3 и 37,4% с экскаватором № 2.

Данная тенденция сохранилась при расчете конкурентоспособности экскаваторов с учетом ССВ. В итоге была выбрана модель экскаватора № 1.

Выводы

1. Новизна разработанной методики заключается в том, что:

- выбор параметров и показателей для оценки УПК ЭАК производится исходя из характера влияния их на себестоимость транспортирования горной массы, объемы дополнительной вскрыши, уровень травматизма на предприятии, на величину затрат от простоя карьера, а также на другие показатели работы автосамосвалов и экскаваторов в комплексе и карьера в целом;

- выбор горнотранспортного оборудования одного класса для формирования ЭАК в конкретных условиях карьера может быть произведен по трем критериям: «Затраты на приобретение (цена) – ТУ», «Затраты на ТОиР – УСО», «ССВ – УПК», в

Таблица 5. Оценка некоторых моделей экскаваторов с емкостью ковша 30 м³ с учетом ССВ

Table 5. Evaluation of some models of excavators with a bucket capacity of 30 m³ taking into account the TCO

Показатель	Модель экскаватора		
	1	2	3
УПК	0,899	0,910	1,000
Затраты на приобретение, млн усл. ед.	404	638	540
Относительный показатель экономичности по цене	1,000	0,633	0,748
Затраты на ТОиР, млн усл. ед./год	18,3	29,9	25,3
Относительный показатель экономичности по затратам на ТОиР	1,000	0,612	0,723
Экспресс-оценка конкурентоспособности			
Конкурентоспособность ($K_{i \text{ унк}}$)	0,450	0,731	0,680
Относительное значение коэффициента конкурентоспособности ($\xi_{i \text{ унк}}$)	1,000	1,626	1,512
Оценка конкурентоспособности с учетом ССВ			
Планируемые затраты на эксплуатацию, млн усл. ед./год	16,400	17,500	18,500
Относительный показатель экономичности по затратам на эксплуатацию	1,000	0,937	0,886
Затраты на владение, усл. ед./год	121,2	191,4	162,0
Относительное значение затрат на владение	1,000	0,633	0,748
ССВ, млн усл. ед. за 23 года	3989,7	6130,4	5273,4
Относительное значение ССВ (G_i)	1,000	0,651	0,757
Конкурентоспособность ($K_{i \text{ унк}}$)	0,899	1,308	1,287
Относительное значение коэффициента конкурентоспособности ($\xi_{i \text{ унк}}$)	1,000	1,455	1,432

зависимости от поставленной недропользователем задачи.

2. Разработанная методика оценки и выбор оборудования ЭАК с учетом уровня качества и совокупной стоимости владения на стадии закупки позволяет:

- определять как отдельные уровни (ТУ, УСО, УП и УПЭ), так и обобщающие, включающие в себя несколько отдельных уровней (2-4) в различном их сочетании;

- осуществлять ежегодный мониторинг за изменением УПК и конкурентоспособности применяемых моделей горнотранспортного оборудования и использовать эти данные при обосновании целесообразности замены их на новые модели и зон рационального их применения в карьере, особенно при применении в карьере техники более 2-3 производителей;

- вести при заключении контракта более аргументированные переговоры о допустимой цене на покупаемую модель автосамосвала или экскаватора, а также о стоимости ее сервисного обслуживания;

- оценить обоснованность принятых проектным институтом решений по выбору наиболее конкурентоспособной модели горнотранспортного оборудования из большого их разнообразия на разные периоды работы карьера;

- проектным институтам при проектировании новых, реконструкции и техническом перевооружении действующих карьеров производить предварительный отбор 2-3 конкурентоспособных моделей горнотранспортного оборудования из числа нескольких одного класса для выполнения последующих трудоемких технико-экономических расчетов с целью выбора рациональной модели в проекте.

3. Методика может быть использована инженерными и научными работниками проектных институтов, горнодобывающих предприятий и фирм-производителей горнотранспортной техники.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Статистика экспорта и импорта России 2024 [Электронный ресурс]. URL: <https://digitalved.ru/newspage/statistika-eksporta-i-importa-rossii-2024> (дата обращения: 20.01.2025).

2. Анистратов К. Ю., Шибанов Д. А., Донченко Т. В. Особенности рынка карьерных экскаваторов в России // XIII Международная научно-техническая конференция «Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений», г. Екатеринбург, 4-5 апреля 2024 г. (Уральская горнопромышленная декада, г. Екатеринбург, 1-10 апреля 2024 г.): сборник докладов / Оргкомитет: Н. Г. Валиев (отв. за выпуск) и др.; Урал. гос. горный ун-т. Екатеринбург : Изд-во УГГУ, 2024. С. 65–79.

3. Андреева Л. И. Методический подход к определению сроков эксплуатации и цены владения карьерными экскаваторами в условиях горнорудных карьеров // Горное оборудование и электромеханика. 2023. № 5 (169). С. 61–67. DOI: 10.26730/1816-4528-2023-5-61-67.

4. Воронов А. Ю., Хорешок А. А., Воронов Ю. Е., Буянкин А. В., Воронов А. Ю. Оценка качества работы экскаваторно-автомобильных комплексов разрезов Кузбасса // Горное оборудование и электромеханика. 2020. № 2 (148). С. 19–26.

5. Глебов А. В. Методология адаптации параметров горнотехнической системы глубоких карьеров с автомобильно-конвейерным транспортом : специальность 25.00.22 "Геотехнология (подземная, открытая и строительная)" : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Глебов Андрей Валерьевич. 2022. 322 с. EDN AWSXOO.

6. Глебов А. В. Методика определения уровня потребительских качеств и конкурентоспособности карьерных автосамосвалов Saarbrücken : LAP LAMBERT, 2012. 65 с. ISBN 978-3-659-00011-9. EDN RCJRJP.

7. Глебов А. В. Определение значимости показателей при оценке уровня качества геотехники // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2021. № 1. С. 123–137. DOI: 10.25635/s4974-2813-4981-k. EDN DSHNFP.

8. Pump life cycle costs: A guide to LCC analysis for pumping systems / Edited by Lars Frenning..., First edition, Published by: Hydraulic Institute Euro-pump, 2001, 194 p.

9. Ellram L. Total cost of ownership: Elements and implementation // International Journal of Purchasing and Materials Management. 1993. № 29. Pp. 3–11.

10. Total Cost of Ownership (TCO) Calculator [Электронный ресурс]. URL: <http://tco.microsoft.com/Home/Calculator> (дата обращения: 25.01.2025).

11. Total Cost Ownership Calculator [Электронный ресурс]. URL: <https://volvoceb.com/tco-calculator/> (дата обращения: 25.01.2025).

12. Бушуев В. В. Совокупная стоимость владения – современный метод оценки экономической эффективности использования оборудования (на примере конвейерных лент) // Горная Промышленность. 2013. № 1. С. 32.

13. Анистратов Ю. И., Анистратов К. Ю., Зырянов И. В. [и др.] Открытые горные работы – XXI век: справочник. Т. 1 Под ред. К. Ю. Анистратова. М. : Система максимум, 2019. 640 с.

14. Анистратов Ю. И., Анистратов К. Ю., Зырянов И. В. [и др.] Открытые горные работы – XXI век: справочник. Т. II. Под ред. К. Ю. Анистратова. М. : Система максимум, 2019. 872 с.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Глебов Андрей Валерьевич, заместитель директора по научным вопросам, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук (ИГД УрО РАН), (620075, Россия, г. Екатеринбург, ул. Мамина-Сибиряка, 58), д-р техн. наук, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5039-8422>, e-mail: glebov@igduran.ru

Заявленный вклад авторов:

Глебов Андрей Валерьевич – постановка исследовательской задачи, научный менеджмент, концептуализация исследования, сбор и анализ данных, обзор соответствующей литературы, выводы.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

DOI: 10.26730/1816-4528-2025-5-72-80

Andrey V. Glebov

Institute of Mining of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences

* for correspondence: glebov@igduran.ru

ASSESSMENT AND SELECTION OF EXCAVATOR AND AUTOMOBILE EQUIPMENT COMPLEXES BASED ON THE QUALITY LEVEL AND TOTAL COST OF OWNERSHIP AT THE PURCHASE STAGE

Abstract.

An urgent practical problem for a subsoil user is the decrease in the efficiency of a mining enterprise due to the natural growth of costs for excavation and transportation of rock mass, aggravated by the emergence of a discrepancy between the parameters of the excavator-automobile complex (EAC) and the mining and technical system of the quarry, changing and accumulating as mining operations develop. Formation of the EAC in conditions of increased competition in conjunction with the development of quarry space in order to eliminate their mutual discrepancy arising from changes in natural, mining, organizational and economic conditions during the development of steep deep-lying ore deposits is an urgent scientific task.

The absence of a science-based tool for the subsoil user to evaluate and select mining and transport equipment at the stage of purchase and sale gives rise to less than effective management decisions on the formation of excavator-vehicle complexes in the conditions of high competition. This leads to a decrease in production efficiency due to an increase in maintenance and repair costs, a decrease in the service life of some units and equipment as a whole, an increase in maintenance and energy costs...

The selection of equipment for the EAC should be based on a scientifically grounded methodology for determining the integral indicator of its consumer qualities, taking into account the technical perfection of the design of dump trucks and excavators, the efficiency of the service system throughout their service life, the degree of suitability for mining and technical conditions and the possibility of achieving high technical and economic indicators when working in a quarry or open pit.

The purpose of this study is to improve the methodology for selecting mining and transport equipment when forming EACs in conditions of increased competition. The conducted research allowed to develop a methodological apparatus for express assessment and selection of mining and transport equipment when forming the EAC, as well as for comparison of equipment complexes as a whole



Article info

Received:

03 June 2025

Accepted for publication:

30 August 2025

Accepted:

01 September 2025

Published:

09 October 2025

Keywords: subsoil user, mining and transport equipment, competitiveness, excavator, dump truck, quality level, total cost of ownership

For citation: Glebov A.V. Assessment and selection of excavator and automobile equipment complexes based on the quality level and total cost of ownership at the purchase stage. *Mining Equipment and Electromechanics*, 2025; 5(181):72-80 (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1816-4528-2025-5-72-80, EDN: JKLYCM

Acknowledgements: The authors express their gratitude and deep appreciation to E.T. Voronov, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Zabaikalsky State University for his advice and valuable comments while working on this article.

REFERENCES

1. Statistics of exports and imports of Russia 2024 [Electronic resource]. URL: <https://digitalved.ru/newspage/statistika-eksporta-i-importa-rossii-2024> (date of access: 20.01.2025).
2. Anistratov K.Yu., Shibanov D.A., Donchenko T.V. Features of the market of quarry excavators in Russia. *XIII International Scientific and Technical Conference "Innovative Geotechnologies in the Development of Ore and Non-Metallic Deposits"*. Ekaterinburg, April 4-5, 2024 (Ural Mining Decade, Ekaterinburg, April 1-10, 2024): collection of reports / Organizing Committee: N.G. Valiev (responsible for the release) et al.; Ural State Mining University. Yekaterinburg: Publishing House of USMU; 2024. Pp. 65–79.
3. Andreyeva L.I. Methodological approach to determining the service life and cost of ownership of quarry excavators in open-pit mining conditions. *Mining equipment and electromechanics*. 2023; 5(169):61–67. DOI: 10.26730/1816-4528-2023-5-61-67.
4. Voronov A.Yu., Khoreshok A.A., Voronov Yu.E., Buyankin A.V., Voronov A.Yu. Assessment of the quality of operation of excavator-automobile complexes of Kuzbass open-pit mines. *Mining equipment and electromechanics*. 2020; 2(148):19–26.
5. Glebov A.V. Methodology for adapting the parameters of the mining and technical system of deep quarries with automobile-conveyor transport: specialty 25.00.22 "Geotechnology (underground, open and construction)": dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences / Glebov Andrey Valerievich. 2022. 322 p. EDN AWSXOO.
6. Glebov A.V. Methodology for determining the level of consumer qualities and competitiveness of quarry dump trucks. Saarbrücken: LAP LAMBERT; 2012. 65 p. ISBN 978-3-659-00011-9. EDN RCJRJP.
7. Glebov A.V. Determination of the significance of indicators in assessing the quality level of geotechnics. *Bulletin of Tula State University. Earth Sciences*. 2021; 1:123–137. DOI: 10.25635/s4974-2813-4981-k. EDN DSHNFP.
8. Pump life cycle costs: A guide to LCC analysis for pumping systems / Edited by Lars Frenning..., First edition, Published by: Hydraulic Institute Europump, 2001, 194 p.
9. Ellram L. Total cost of ownership: Elements and implementation. *International Journal of Purchasing and Materials Management*. 1993; 29:3–11.
10. Total Cost of Ownership (TCO) Calculator [Electronic resource]. URL: <http://tco.microsoft.com/Home/Calculator> (date of access: 25.01.2025).
11. Total Cost Ownership Calculator [Electronic resource]. URL: <https://volvoceblogger.com/tco-calculator/> (date of access: 25.01.2025).
12. Bushuev V.V. Total cost of ownership – a modern method for assessing the economic efficiency of equipment use (on example of using conveyor belts). *Mining Industry*. 2013; 1:32.
13. Anistratov Yu.I., Anistratov K.Yu., Zyryanov I.V. [et al.] Opencast mining – the 21st century: reference book. Vol. I. Edited by K.Yu. Anistratov. M.: Sistema Maksimaks; 2019. 640 p.
14. Anistratov Yu.I., Anistratov K.Yu., Zyryanov I.V. [et al.] Open-pit mining – the 21st century: reference book. Vol. II. Edited by K.Yu. Anistratov. M.: Sistema Maksimaks; 2019. 872 p.

© 2025 The Author. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).
The authors declare no conflict of interest.

About the author:

Andrey Valeryevich Glebov, Doctor of Technical Sciences, Deputy Director, Federal State Budgetary Institution of Science – Institute of Mining of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (IGD UrO RAN), (58 Mamina-Sibiriyak str., Yekaterinburg, 620075, Russia), , ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5039-8422>, e-mail: glebov@igduran.ru

Contribution of the authors:

Andrey V. Glebov – formulation of a research problem, scientific management, conceptualization of research, data collection and analysis, review of relevant literature, conclusions.

Authors have read and approved the final manuscript.

