

УДК 621.878.447:622.271.4

Ю. Е. Воронов, П. А. Зыков

ОБОСНОВАНИЕ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ КАРЬЕРНЫХ ОДНОКОВШОВЫХ ЭКСКАВАТОРОВ

В настоящее время широкое применение получила методика безэкспертной оценки качества горных машин [1], разработанная под руководством Г. И. Солода. Методика основывается на фундаментальных принципах квалиметрии и позволяет количественно оценивать технический уровень и качество функционально однородных машин разных типов, типоразмеров и конструктивных исполнений. Важным этапом данной методики является установление комплекса показателей технического уровня машины, который представляет собой уровень качества, обеспечиваемый при ее проектировании [2].

Согласно ГОСТ 4.377–85 [3] основными показателями качества экскаваторов являются: теоретическая производительность, установленный ресурс до первого капитального ремонта, удельная масса, удельный расход электроэнергии. Качество экскаваторов оценивается показателями назначения, надежности, экономичного использования сырья, материалов, топлива, энергии и трудовых ресурсов, эргономическими показателями, показателями технологичности изготовления, стандартизации и унификации, патентно-правовыми показателями, показателями безопасности.

Главными показателями технического уровня выемочно-погрузочного оборудования считают производительность, надежность, удельный расход электроэнергии и металлоемкость. Эти показатели тесно взаимосвязаны с такими факторами, как горно-технические и климатические условия эксплуатации [4].

В нормативном документе [5], в качестве основных показателей, определяющих качество карьерных одноковшовых экскаваторов типа «прямая лопата», рассматриваются основные показатели назначения: наибольшая высота копания, наибольшая высота выгрузки; наибольший радиус копания; наибольший радиус выгрузки; конструктивная масса; среднее давление на грунт при передвижении; вместимость ковша; теоретическая продолжительность цикла.

Анализируя данные показатели, можно отметить следующее.

Емкость ковша определяет размерную группу экскаватора. В наибольшей степени влияет на производительность экскаватора, однако сама по себе не может быть показателем качества экскаватора, так как характеризует лишь типо-

размер машины и является при проектировании исходным параметром.

Среднее давление на грунт при передвижении

зависит от эксплуатационной массы экскаватора с рабочим оборудованием, размеров гусеничной ленты, количества гусениц. Низкое значение давления на опорную поверхность необходимо, в первую очередь, при работе на слабых грунтах [6]. Производители, как правило, указывают в технической характеристике экскаваторов несколько значений этого показателя, для того чтобы потребитель мог выбрать машину, с учетом своих условий работы. Давление на опорную поверхность можно снизить за счет увеличения ширины гусеничной ленты и других параметров ходового устройства без существенного усложнения машины и увеличения ее массы. В связи с этим показатель незначительно влияет на качество экскаватора, и рассматривать его в качестве показателя технического уровня экскаваторов нет необходимости.

Наибольшая высота и радиус выгрузки зависят от аналогичных параметров процесса копания, в связи с этим рассматривать их не имеет смысла, так как показатели качества не должны быть согласованы.

Отсюда следует, что из предлагаемых показателей лишь конструктивная масса, наибольшая высота копания, наибольший радиус копания и теоретическая продолжительность цикла могут характеризовать техническое совершенство одноковшового экскаватора.

Номенклатура показателей, в наибольшей степени характеризующих технический уровень машин устанавливается в зависимости от выбранного критерия.

Для оценки технического уровня горных машин широко используют функциональные критерии [1, 2], которые хотя и являются менее общими по сравнению с экономическими [4], однако позволяют достаточно объективно оценивать их техническое совершенство. В этой связи из исходной номенклатуры групп показателей качества первостепенное значение приобретают показатели назначения, надежности и технологичности, и существенно меньшее значение имеют остальные группы показателей.

Функциональный критерий машины, определяющий ее основное назначение, Г. И. Солод предлагает определять в виде произведения производительности горной машины по выполнению своей функции в заданных условиях и удельной энергии процесса выполнения машиной своей функции в этих условиях.

В соответствии с этим, для карьерных экскаваторов функциональный критерий оценки их ка-

чества можно представить в виде (кВт):

$$\lambda = \Pi \cdot W, \quad (1)$$

где Π – расчетно-теоретическая производительность экскаватора, $\text{м}^3/\text{ч}$; W – удельная энергия экскавации горной массы, $\text{kДж}/\text{м}^3$.

При выборе показателей необходимо иметь ввиду следующие принципы [2]:

- параметры, которые использовались при определении функционального критерия, не могут использоваться повторно в качестве единичных показателей;

- выбранные параметры должны быть представительными, что обеспечит достоверность полученных результатов. Представительный критерий (параметр), как гласит одно из положений системотехники, характеризует выполнение простого и четкого правила: большему значению критерия однозначно соответствует лучшая (худшая) система;

- в номенклатуру не должны входить параметры, которые согласованы, т.е. прямо определяют друг друга, поскольку согласованные параметры несут одинаковую информацию.

Необходимо отметить также, что в настоящее время применение показателей, построенных на их стоимостном измерении, имеет ограничения. Как правило, эксплуатационные затраты в условиях рынка являются коммерческой тайной. Цена машины зачастую не отражает ее реальную стоимость и в значительной степени диктуется рыночным спросом на нее. Поэтому эффективность техники в основном определяют по натуральным показателям [4].

Проанализировав вышеизложенное, можно сделать вывод о том, что основными показателями, характеризующими процесс экскавации горной массы карьерным одноковшовым экскаватором, являются следующие.

1. Мощность привода, N_{np} , кВт. Параметр характеризует энерговооруженность экскаватора, определяется типом и параметрами двигателя, а также привода (гидравлического или электрического), влияет на транспортную скорость, усилие копания, продолжительность цикла.

2. Вместимость ковша, E_k , м^3 . Параметр экскаватора, определяющий его размерную группу. В наибольшей степени влияет на производительность экскаватора.

3. Эксплуатационная масса экскаватора с рабочим оборудованием, G_s , т. Основной параметр, который, как и вместимость ковша, определяет размерную группу экскаватора. В зависимости от эксплуатационной массы, при проектировании экскаватора, выбираются основные его параметры, такие как наибольший радиус копания и выгрузки, наибольшая высота копания и выгрузки, ширина гусеничной ленты.

4. Удельное усилие копания, k_f^3 , МПа. Усилие копания, развиваемое на кромке рабочего органа, является одним из основных технических ха-

рактеристик экскаваторов, зависящих от их конструктивных особенностей [7]. На сегодняшний день удельное усилие копания является также одним из основных резервов повышения производительности экскаваторной техники [8], так как именно на процесс копания горной массы приходится около трети продолжительности рабочего цикла. Параметр зависит от геометрии режущего органа, толщины и ширины стружки, траектории рабочего хода ковша, мощности привода.

5. Расчетная продолжительность цикла, t_{cp} , с. Продолжительность цикла – один из важнейших факторов, влияющих на производительность экскаватора [9]. Расчетная продолжительность цикла характеризует конструктивное совершенство механизмов, отвечающих за копание горной массы и поворот платформы экскаватора.

6. Срок эксплуатации, ресурс, T_p , ч. Срок эксплуатации карьерных экскаваторов определяется по нормативной, конструкторской и эксплуатационной документации, а также по стандартам и правилам безопасности.

7. Параметры, характеризующие совершенство кинематики копания экскаватора:

- наибольший радиус копания, R_k , м, наибольшее расстояние от оси вращения экскаватора до зубьев ковша, при врезании его в грунт;

- наибольшая высота копания, h_k , м, наибольшая глубина выемки, которая может быть образована экскаватором с одной стоянки.

В номенклатуру показателей назначения входят также транспортная скорость, давление на опорную поверхность, производительность, наибольший радиус и высота копания, однако в качестве показателей технического уровня экскаваторов их рассматривать не будем по следующим причинам.

Транспортная скорость незначительно влияет на производительность экскаватора, это вызвано тем, что передвижки экскаватора в забое невелики, а переходы его из забоя в забой крайне редки. Коэффициент использования экскаватора с учетом потерь времени на передвижки по забою при расчетах производительности принимают $K = 0,92\dots 0,98$.

Производительность экскаватора, которая определяется емкостью ковша и расчетной продолжительностью цикла, является, как говорилось выше, одним из главных показателей технического уровня выемочно-погрузочного оборудования, однако используется при расчете функционального критерия, поэтому в качестве единичного показателя использовать не может.

Давление на опорную поверхность, на больший радиус и высоту копания в качестве показателей технического уровня экскаваторов рассматривать не имеет смысла, о чем было сказано выше.

Чтобы уменьшить число показателей, некоторые из указанных параметров можно привести к удельному виду (достоинством любых удельных

показателей является то, что они объединяют в себе несколько абсолютных), что вполне соответствует принципам квалиметрии. Кроме того, для параметров, с уменьшением значений которых качество машины ухудшается, в качестве единичных показателей должны быть взяты их обратные величины [1].

Мощность привода и эксплуатационная масса экскаватора как абсолютные показатели не могут применяться для оценки технического уровня карьерных экскаваторов, поскольку они напрямую зависят от вместимости ковша. Техническое совершенство экскаваторов в большей степени характеризуют такие показатели как удельная материалоемкость и энергоёмкость машины, которые представляют собой соответственно отношение массы машины и мощности установленных на ней двигателей (двигателя) к единице часовой производительности или к ее главному параметру.

Удельную энергоёмкость определяем по формуле, ($\text{kBt}/(\text{m}^3/\text{ч})$):

$$E_y = \frac{N_{np}}{\Pi}. \quad (2)$$

Показатель характеризует затраты энергии на единицу производительности. Снижение удельной энергоёмкости экскаваторов позволяет получить более экономичную, а значит и более технически совершенную машину [10]. В качестве единичного показателя принимаем абсолютное значение удельной энергоёмкости E_y .

Удельную металлоемкость экскаватора можно определить по формуле, ($\text{t}/(\text{m}^3/\text{ч})$):

$$k_M = \frac{G_3}{\Pi}. \quad (3)$$

Параметр характеризует массу, приходящуюся на единицу производительности. Снижение удельной металлоемкости позволяет применить более широкий ассортимент материалов, легированных сталей, обеспечить устойчивость машины, повысить усилие копания [11], а также снизить стоимость машины. Поскольку с уменьшением k_M качество экскаватора улучшается, в качестве единичного показателя принимаем абсолютное значение коэффициента металлоемкости k_M .

Удельное усилие копания экскаватора определяем по формуле [12], (MPa):

$$k_f^3 = \frac{P_{kon}}{C \cdot W_k}, \quad (4)$$

где P_{kon} – усилие копания наибольшее, kH ; W_k – ширина ковша, m ; C – толщина снимаемой стружки, m .

Так как наполнение ковша происходит на высоте равной наибольшей высоте копания экскаватора, толщину снимаемой стружки определяем по формуле, (m):

$$C = \frac{E_k}{W_k \cdot h_k}. \quad (5)$$

Подставляем выражение (5) в (4) и получаем, (MPa):

$$k_f^3 = \frac{P_{kon} \cdot h_k}{E_k}. \quad (6)$$

В качестве единичного показателя принимаем величину, обратную удельному усилию копания

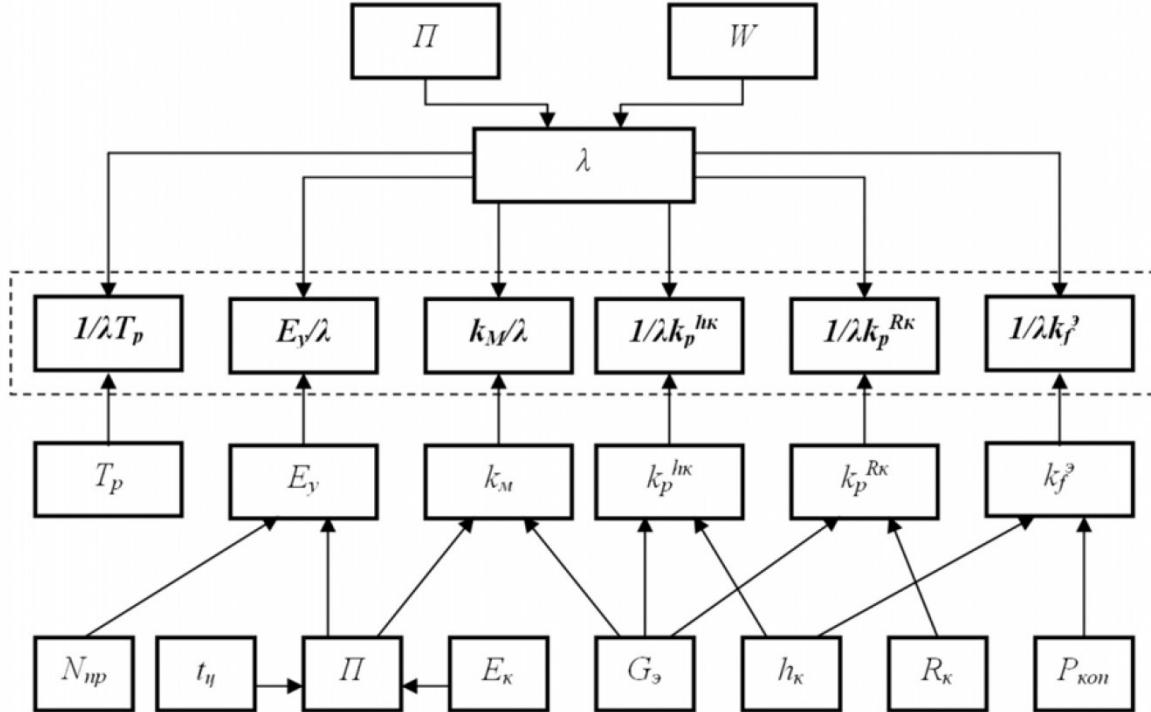


Рис. 1. Комплекс показателей технического уровня карьерных экскаваторов

$1/k_f^3$.

Рабочие размеры экскаваторов определяют совершенство кинематики копания экскаватора, но в абсолютном виде использоваться не могут, так как напрямую зависят от массы экскаватора. Поэтому для оценки технического уровня карьерных экскаваторов будем использовать удельные рабочие размеры экскаватора. Рабочие размеры экскаваторов при его проектировании определяют по формуле [12], (м):

$$L = k_p \cdot \sqrt[3]{G_3}, \quad (7)$$

где L – рабочие размеры, м; k_p - коэффициент размеров, определяет рабочие размеры в зависимости от веса машины.

Исходя из формулы (7), получим:

– удельная наибольшая высота копания:

$$k_p^{hk} = \frac{h_k}{\sqrt[3]{G_3}}; \quad (8)$$

– удельный наибольший радиус копания:

$$k_p^{Rk} = \frac{R_k}{\sqrt[3]{G_3}}. \quad (9)$$

Рабочие размеры экскаватора определяют высоту и ширину забоя. Следовательно, их увеличение сокращает передвижки экскаватора и число горизонтов. С уменьшением коэффициентов качество экскаватора ухудшается, в качестве единичных показателей примем величины $1/k_p^{hk}$ и $1/k_p^{Rk}$.

В качестве единичного показателя примем величину $1/T_p$, где T_p – установленный ресурс экскаватора, как интегральный показатель надежности. Повышение надежности горного оборудования относится к числу наиболее актуальных проблем, связанных с развитием новой техники [4].

В итоге получаем комплекс из шести показателей, определяющих технический уровень карьерных одноковшовых экскаваторов (рис. 1).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Солод, Г. И. Основы квадратиметрии [Текст] / Г. И. Солод. – М. : МГИ, 1991. – 84 с.
2. Солод, Г. И. Повышение долговечности горных машин [Текст] / Г. И. Солод, К. И. Шахова, В. И. Русихин. – М. : Машиностроение, 1979. – 184 с.
3. ГОСТ 4.377–85. Система показателей качества продукции. Экскаваторы одноковшовые. Номенклатура показателей [Текст]. – Введ. 1987–01–01. – М. : Изд-во стандартов, 1987. – 8 с.
4. Безвзрывные технологии открытой добычи твердых полезных ископаемых [Текст] : научное издание / А. Р. Маттис [и др.] ; ред. В. Н. Опарин ; Ин-т горного дела СО РАН ; Ин-т горного дела УрО РАН. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2007. – 337 с.
5. ОСТ 24.008.39–83. Методика оценки технического уровня и качества одноковшовых экскаваторов [Текст]. – Введ. 1983–07–01. – М. : Изд-во стандартов, 1983. – 26 с.
6. Беляков, Ю. И. Совершенствование экскаваторных работ на карьерах [Текст] / Ю. И. Беляков, В. М. Владимиров. – М. : Недра, 1974. – 303 с.
7. Кантемиров, В. Д. Оценка эксплуатационных факторов и параметров выемочно-погрузочного оборудования рудных карьеров [Текст] / В. Д. Кантемиров, А. А. Чиркин // Горные машины и автоматика. – 2003. – № 7. – С. 10-13.
8. Одноковшовые полноповоротные экскаваторы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.uralstroyportal.ru/articles/article369.html> (дата обращения: 25.01.2011). – Загл. с экрана.
9. Савченко, А. Я. Анализ производительной работы одноковшовых экскаваторов на основе показателей качества [Текст] / А. Я. Савченко // Горное оборудование и электромеханика. – 2009. – № 3. – С. 15-22.
10. Савченко, А. Я. Анализ энергоемкости и энергоэкономичности одноковшовых экскаваторов с использованием показателей качества [Текст] / А. Я. Савченко // Горное оборудование и электромеханика. – 2010. – № 3. – С. 9-15.
11. Концепция разработки и изготовления карьерных гидравлических экскаваторов типа LB [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://investtek.narod.ru/konsep.html> (дата обращения: 27.01.2011). – Загл. с экрана.
12. Домбровский, Н. Г. Экскаваторы. Общие вопросы теории, проектирования, исследования и применения [Текст] / Н. Г. Домбровский. – М. : Машиностроение, 1969. – 319 с.

□ Авторы статьи:

Воронов
Юрий Евгеньевич,
докт. техн. наук, проф.,
зав. каф. «Автомобильные
перевозки» КузГТУ,
тел.: (+7-384-2) 39-69-76

Зыков
Петр Анатольевич,
ст. преп. каф.«Автомобили и
автомобильные перевозки»
филиала КузГТУ
в г. Новокузнецке.
тел.: (+7-384-3)52-80-52,
e-mail: ZykVPetr@yandex.ru