

**А.А. Хорешок, Е.Ю. Пудов**

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ НОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ КОВШЕЙ ЭКСКАВАТОРОВ**

Рассмотрена актуальность проведения научно-исследовательских изысканий, проектирования и последующего производства ковшей гидравлических экскаваторов на основе имеющихся перспективных конструктивных предложений и запатентованных разработок.

*Ключевые слова:* гидравлический экскаватор, ковш, ремонт, изготовление, восстановление, надежность.

**В** горнодобывающей промышленности используются в основном гидравлические экскаваторы тяжелых и сверхтяжелых типоразмерных групп в связи со сложными эксплуатационными условиями. При проектировании новых конструктивных исполнений ковшей экскаваторов возникает задача по доказательству их эффективности и преимуществ, в сравнении с прототипами.

Рациональность значений расчетных параметров следует подтвердить экспериментальными данными на основе опытных испытаний. Авторами были получены наиболее рациональные угловые значения конструктивного исполнения ковша и его грунторазрушающих элементов, а также предложено перспективное конструктивное исполнение передней кромки ковша, способствующее улучшению прочностных характеристик.

Предполагается, что новое исполнение ковша экскаватора, способно улучшить следующие технико-эксплуатационные показатели:

- увеличение срока службы конструктивных элементов и ковша в целом;
- уменьшение энергозатрат при ведении экскавационных работ.

Первый пункт основан на уменьшении возникающих напряжений в конструктивных элементах ковша с использованием предлагаемой авторами

методики расчета наиболее рациональных конструктивных параметров грунторазрушающих элементов.

Уменьшение же энергозатрат при ведении экскавационных работ будет связано преимущественно с предлагаемым конструктивным исполнением передней кромки, которая должна способствовать:

- уменьшению сопротивления грунту при зачерпывании;
- плавному внедрению ковша в грунт;
- увеличению коэффициента наполняемости ковша.

В свою очередь, за алгоритм доказательств эффективности выберем следующую последовательность действий:

- выбор модели экскаватора для принятия его за прототип;
- создание действующего стенда на основе параметров рабочего оборудования прототипа;
- проведение экспериментальных испытаний в различных режимах работы;
- проведение сравнительного анализа полученных результатов между представленными образцами макетов ковшей по основным технико-эксплуатационным показателям.

В качестве прототипа следует выбрать уже зарекомендовавшего себя на открытых горных работах производи-

теля экскавационной техники. Одним из них является фирма Komatsu.

Экскаватор Komatsu PC-3000 рекомендовал себя как качественная, соответствующая тяжелым эксплуатационным условиям машина. Для экспериментальных испытаний требуется на основе прототипа рабочего оборудования выбранной модели экскаватора создать действующий стенд.

Поскольку задачей исследований является сравнение затрачиваемых на экскавацию мощностей при различных конструктивных исполнениях макетов ковшей, то для изучения принимаем крупномасштабное (1:10) моделирование, при котором более точно осуществляется воспроизводимость модели рабочего оборудования экскаватора с прототипа, упрощается механическая схема явления, а также обеспечивается наблюдение и регистрация интересующих характеристик процесса.

Во время экскавации основными движениями рабочего оборудования являются движения поворота ковша, поворот рукояти, а также совместное сложное перемещение на основе вращения звеньев. Далее будет рассматриваться в качестве основного отдельное вращательное движение ковша. Твердотельная модель рабочего оборудования Komatsu PC-3000 представлена на рис. 1.

Отличительной особенностью исходного образца ковша является то, что это исполнительный орган для тяжелых скальных условий работ, вместимостью «с шапкой» по стандарту ISO, равной  $8,5 \text{ м}^3$ , с клиновидно выступающей передней кромкой. Вместе с тем авторами уже была доказана перспективность скругления профиля торца передней кромки во внутрь, которую стоит учесть в предлагаемом исполнении ковша.

Инженерно-технический состав и руководство предприятий, эксплуатирующих подобную технику, заинтере-

сованы в том, чтобы минимизировать энергоемкость Komatsu PC-3000, а также остального экскаваторного парка. Уже существует ряд разработок и внедрений, но связаны они прежде всего с энергоустановками техники, а не с рабочим оборудованием и его конструктивными особенностями, что вызывает интерес к внедрению предложений.

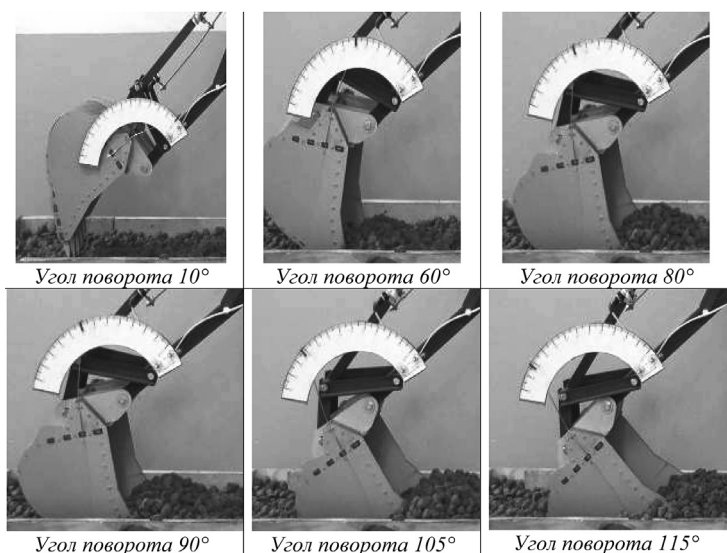
На продолжительность цикла и эксплуатационную производительность экскавационной техники напрямую влияет коэффициент наполняемости ковша при черпании. От того, насколько быстро произойдет заполнение объема ковша, будет зависеть продолжительность и траектория движения звеньев кинематической цепи рабочего оборудования экскаватора. Данный показатель так же требует определения зависимости от конструктивного исполнения.

Одним из главных, способствующих зачерпыванию движений, является поворот ковша вокруг оси его крепления к рукояти. В связи с этим первоначально необходимо провести испытания, направленные на определение основных технико-эксплуатационных показателей моделей ковшей с различными конструктивными исполнениями с учетом только вращательного движения исполнительного органа.

Основными исходными параметрами для проведения эксперимента в данном случае являются:



**Рис. 1** Внешний вид рабочего оборудования экскаватора-прототипа



**Рис. 2. Покадровое считывание параметров со стенда во время проведения эксперимента**

- модель ковша располагается относительно горизонтальной поверхности грунта таким образом, чтобы при максимальном значении угла его раскрытия относительно рукоятки, равном  $159,5^\circ$ , угол между определяющим ковш в кинематической схеме звеном R3 и горизонталью составлял  $45^\circ$ . Это обусловлено особенностями конструкции прототипа;

- передняя кромка модели в начальный момент внедрения в грунт находится на поверхности грунта. Это позволяет исключить холостые ходы и возникновение резких нагрузок в момент соударения;

- для обеспечения требуемого расположения передней кромки на поверхности грунта, рукоятка повернута относительно максимального угла своего раскрытия на  $15^\circ$ , что не оказывает влияния на результаты анализа;

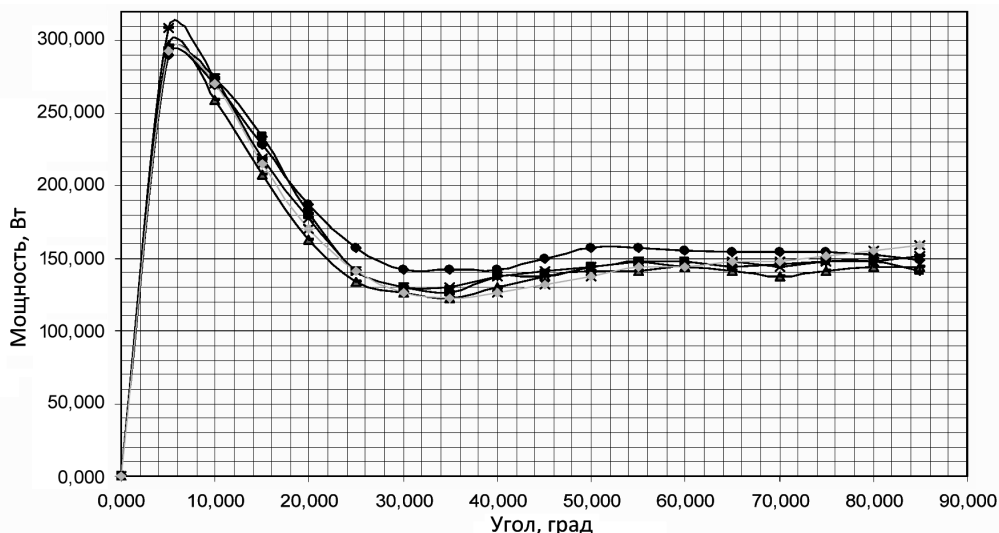
- в целях получения точных результатов проведения эксперимента каждый опыт фиксируется видеосъемкой, которая способствует дальнейшему снятию получаемых значений требуемых параметров с точным соотноше-

нием величин времени, угла поворота, а также характеристик, снимаемых с электропривода.

Результатом подобного считывания требуемых параметров и использования специальных программ по работе с видео является получение характерных покадровых данных внедрения модели в грунт, как показано на рис. 2.

Покадровая съемка позволяет не только с высокой точностью фиксировать значения угловых положений и параметров электропривода, но также и оценивать характер взаимодействия конкретного конструктивного исполнения ковша с грунтом. В данном случае представляется удобным наблюдать возникновение и особенности призмы волочения экскавируемой массы, что будет способствовать возможности анализа геометрии передней кромки с точки зрения решения одной из поставленных задач – уменьшение энергозатрат при ведении экскавационных работ.

В результате проведения серии экспериментов по внедрению модели ковша в грунт при помощи рабочего



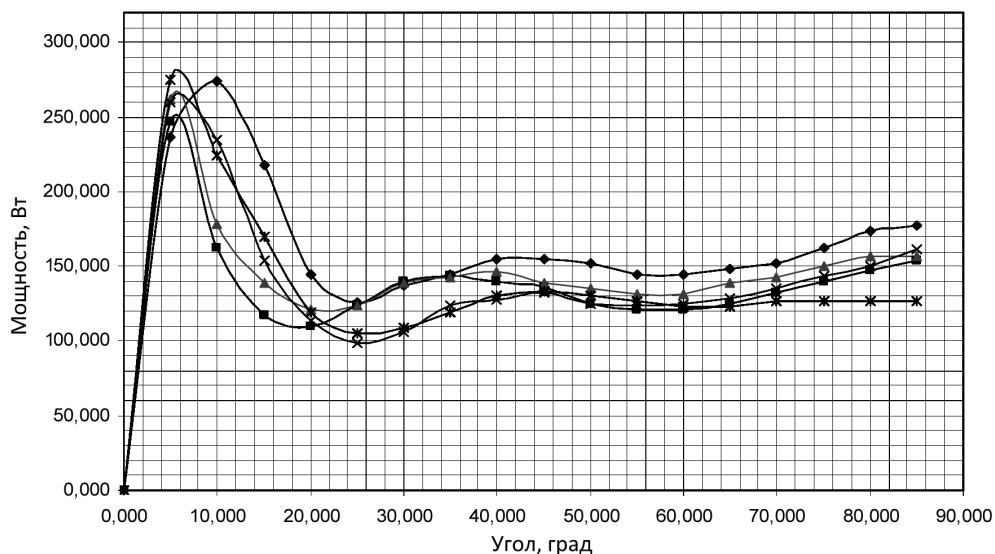
**Рис. 3. Графики зависимостей возникающих затрат мощности на электроприводе в стандартном конструктивном исполнении от угла поворота ковша**

движения поворота ковша, были получены значения требуемых параметров.

Значения мощности  $P$  вычислялись в данном случае по формуле

$$P = I \cdot U \cdot \cos\varphi,$$

где  $I$  – значение силы тока, соответствующее конкретному углу поворота ковша при внедрении;  $U$  – значение напряжения;  $\cos\varphi = 0,85$  – величина, характеризующая особенности электрической составляющей, согласно ГОСТ 13109-97.



**Рис. 4. Графики зависимостей возникающих затрат мощности на электроприводе в предлагаемом конструктивном исполнении от угла поворота ковша**

Значение  $V$  характеризует объем зачерпанного ковшем грунта в определенном опыте при условии равенства геометрической вместимости обоих конструктивных исполнений по стандарту ISO.

Затраченные на внедрение модели ковша в грунт мощности во время каждого повторения опыта показаны на сводных графиках: рис. 3 – для стандартного конструктивного исполнения; рис. 4 – для предлагаемого.

Уже из данных графиков наблюдается тенденция сокращения значений затраченных на внедрение ковша мощностей приводов.

Применительно для предлагаемого конструктивного исполнения существенно сказываются особенности геометрии, которые, как предполагалось, способствуют более плавному внедрению ковша в грунт, тем самым снижая в значительной степени затраченную мощность на внедрение ковша на первых  $40^\circ$  его поворота.

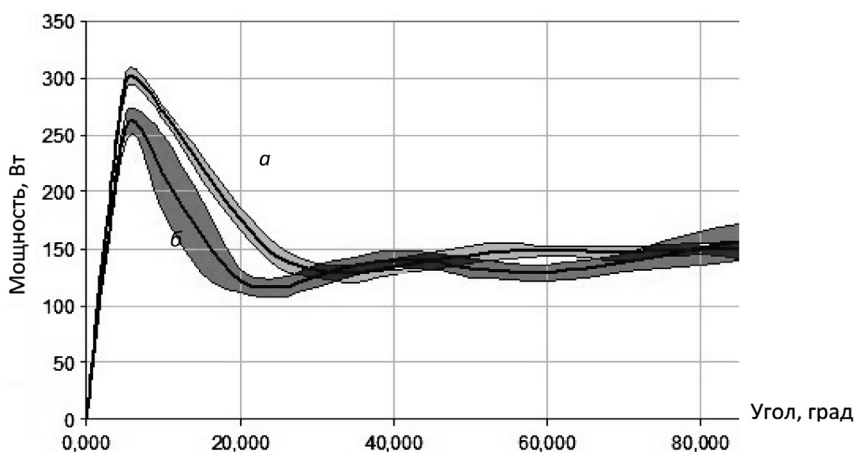
Для более общего представления о затратах мощности на внедрение макета ковша, проанализируем аппроксимированные значения полученных результатов с достоверными интерва-

лами при 5%-ном уровне значимости, как показано на рис. 5. Полученные графики свидетельствуют о преимуществе предлагаемого конструктивного исполнения ковша над стандартным по критерию затраченной на внедрение ковша мощности при прочих равных условиях.

Для количественного сравнения полученных результатов необходимо измерить общую затраченную мощность при внедрении ковша его поворотом на  $85^\circ$  относительно исходного положения. Воспользуемся для этого подсчетом площадей, характеризующих мощность на графиках и ограниченных соответствующей линией аппроксимации, осями  $X$  и  $Y$ , а также граничным значением угла поворота, равным  $85^\circ$ . С помощью среды T-flex CAD определим относительные площади требуемых участков.

В результате рассчитаем, насколько уменьшились затраты мощности с использованием предлагаемого конструктивного исполнения относительно исходного  $P_{и-п}$  по формуле

$$P_{и-п} = \frac{\Delta P}{P_i} \cdot 100\%,$$



**Рис. 5. Графики аппроксимации полученных результатов и их достоверные интервалы при внедрении исходного (а) и предлагаемого (б) конструктивных исполнений ковша**

$$\Delta P = P_{и} - P_{п};$$

где  $P_{и}$  – мощность, затрачиваемая на внедрение ковша в исходном конструктивном исполнении;  $P_{п}$  – мощность, затрачиваемая на внедрение ковша в предлагаемом конструктивном исполнении.

С учетом доверительных интервалов и 5%-ного уровня значимости при использовании нового исполнения сокращение затрат мощности доходит до 21% с математическим ожиданием в районе 10%.

Подобный результат в значительной степени предопределен вогнутым вырезом на передней кромке, способствующей плавному ходу внедрения ковша в грунт при зачерпывании, а также этим подтверждается целесообразность использования результатов расчетов рациональных угловых параметров грунторазрушающих элементов ковшей экскаваторов.

Графики аппроксимации на рис. 5 могут быть описаны уравнениями следующего вида:

- характеристика нагрузок стандартного конструктивного исполнения

$$y = -2E - 07x^6 + 5E - 05x^5 - 0,005x^4 + 0,293x^3 - 7,573x^2 + 78,90x + 15,01;$$

величина достоверности аппроксимации  $R^2 = 0,927$ ;

- характеристика нагрузок предлагаемого конструктивного исполнения

$$y = -2E - 07x^6 + 5E - 05x^5 - 0,005x^4 + 0,281x^3 - 6,807x^2 + 66,25x + 17,31;$$

величина достоверности аппроксимации  $R^2 = 0,773$ .

Так, рассчитаем, насколько увеличивается объем зачерпанного грунта с использованием предлагаемого конструктивного исполнения относительно исходного  $V_{и-п}$  по формуле

$$V_{и-п} = \frac{\Delta V}{V_{и}} \cdot 100\%,$$

где

$$\Delta V = V_{п}cp - V_{и}cp;$$

$$V_{и}cp = \frac{\sum_{i=1}^n V_{и}}{n}; \quad V_{п}cp = \frac{\sum_{i=1}^n V_{п}}{n}$$

В приведенных формулах:  $V_{и}$  – объем грунта в  $1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ , зачерпанный ковшем в исходном конструктивном исполнении;  $V_{п}$  – объем грунта в  $1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ , зачерпанный ковшем в предлагаемом конструктивном исполнении;  $n$  – количество измерений для расчета среднего объема, тогда

$$V_{и-п} = 53\%$$

Подобный результат говорит о значительном преимуществе предлагаемых конструктивных решений, способствующих плавному и легкому наполнению объема ковша.

В целях описать вышеуказанные преимущества с точки зрения энергозатрат на приводах во время внедрения исполнительного органа в грунт, введем коэффициент энергозатрат экскавации на единицу объема грунта  $k_{э,э}$ :

$$k_{э,э} = \frac{P_p}{V_p},$$

где  $P_p$  – затрачиваемая на внедрение ковша в грунт мощность, принимаем равной  $P_{п}$  (для предлагаемого) или  $P_{и}$  (для исходного) соответственно;  $V_p$  – объем зачерпнутого грунта во время рабочего движения, в данном случае принимаем его равным  $V_{п}cp$  (среднее для предлагаемого исполнения) или  $V_{и}cp$  (среднее для исходного исполнения). Расчет производится с учетом наличия доверительных интервалов распределения затрачиваемых на внедрение макета ковша мощностей.

Тогда во время движения единичного звена, в данном случае – поворота ковша, приведенный коэффициент для нового конструктивного исполнения оказывается меньше на 34–48%, то есть при подобном рабочем движе-



нии предлагаемая конструкция оказывается рациональнее по критерию минимизации затрачиваемой на внедрение ковша в грунт мощности.

Результаты исследований указывают на целесообразность перспективной геометрии и предлагаемой методики по расчету конструктивных параметров в целях энергосбережения при ведении экскавационных работ, в частности – рабочего движения ковша и его внедрения в грунт.

Таким образом, в режиме внедрения макета ковша посредством рабочего движения ковша, предлагаемое конструктивное исполнение позволяет при сопоставимых затратах мощности на внедрение сократить энергозатраты экскавации на единицу зачерпнутого объема грунта в среднем на 41%. Это обусловлено качественно лучшей наполняемостью предложенной конструкции при рабочем движении в среднем на 53%.

---

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Справочник по техническим характеристикам и применению. KO-MATSU. 24-е изд. – Токио, Япония. – 2003. – 880 с.

2. Esco corporation [Электронный ресурс] / ESCO. – Режим доступа <http://www.escocorp.com/index.html>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. англ. **ГИАБ**

---

## КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Хорешок Алексей Алексеевич – доктор технических наук, профессор, директор Горного института,

Кузбасский государственный технический университет (КузГТУ),

Пудов Евгений Юрьевич – кандидат технических наук, доцент,

e-mail: pudov\_evgen@mail.ru, Филиал КузГТУ в г. Прокопьевске.

---

UDC 621.371.392

## DEFINITION OF PERFORMANCE INDICATORS NEW DESIGNS EXCAVATOR BUCKETS

Khoreshok A.A., Doctor of Technical Sciences, Professor, Director of Mining Institute, Kuzbass State Technical University named after T. Gorbachev,

650000, Kemerovo, Russia, e-mail: rector@kuzstu.ru,

Pudov E.Yu., Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor,

Prokopyevsk branch of Kuzbass State Technical University,

653033, Prokopyevsk, Russia.

---

*We consider the relevance of the research survey, design and subsequent manufacture buckets of hydraulic excavators based on existing promising constructive proposals and patented innovations.*

*Key words: hydraulic excavator, bucket, repair, production, recovery, reliability.*

## REFERENCES

1. *Spravochnik po tekhnicheskim kharakteristikam i primeneniyu. KO-MATSU. 24-e izd. (Manual on technical performance and application. KO-MATSU, 24th edition), Tokyo, Japan, 2003, 880 p.*

2. *Esco corporation / ESCO, available at: <http://www.escocorp.com/index.html>*

