

Бурый Григорий Геннадьевич¹, кандидат. техн. наук, доцент, **Потеряев Илья Константинович**¹, кандидат. техн. наук, доцент, **Скобелев Станислав Борисович**², кандидат. техн. наук, доцент, **Ковалевский Валерий Федорович**², кандидат. техн. наук, доцент, e-mail: skobelew@rambler.ru

¹Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), 644080, г. Омск, пр. Мира, 5

²Омский государственный технический университет, 644050, г. Омск, пр. Мира, 11

E-mail: poteryaev_ik@mail.ru

СРАВНЕНИЕ ПРОЦЕССА КОПАНИЯ СТАНДАРТНЫМ КОВШОМ ЭКСКАВАТОРА И КОВШОМ НОВОЙ КОНСТРУКЦИИ

Аннотация: В работе рассматривается возможность повышения производительности одноковшовых гидравлических экскаваторов. Представлена конструкция существующего и предлагаемого ковша объемом 0,25 м³. Рассмотрены силы в процессе копания, возникающие на данных конструкциях. Приняты допущения в процессе расчета. Описаны зависимости для расчета сил сопротивления на ковше. Представлены результаты сравнительного расчета моментов сил на ковшах обеих конструкций.

Ключевые слова: ковш, конструкция, момент силы, производительность, гидроцилиндр, сравнение, копание, грунт, экскаватор, сопротивление копанью.

Информация о статье: принята 19 марта 2020 г.

DOI: 10.26730/1816-4528-2020-1-37-44

Одной из самых распространенных строительных машин является одноковшовый гидравлический экскаватор. Для строительства инженерных объектов используется определенное количество экскаваторов, которое зависит от производительности машин. Каждая машина стоит значительных вложений. Повышение производительности экскаваторов позволило бы сократить

время работ либо количество единиц техники, задействованной в строительстве. Это является актуальной задачей на сегодняшний день. В статье будет рассмотрен один из способов повышения производительности одноковшовых гидравлических экскаваторов. Данный способ заключается в изменении конструкции ковша, что позволяет



Рис. 1. Одноковшовый гидравлический экскаватор на тракторе ЮМЗ-6АКЛ
Fig. 1. Single bucket hydraulic excavator on a tractor UMZ-6AKL

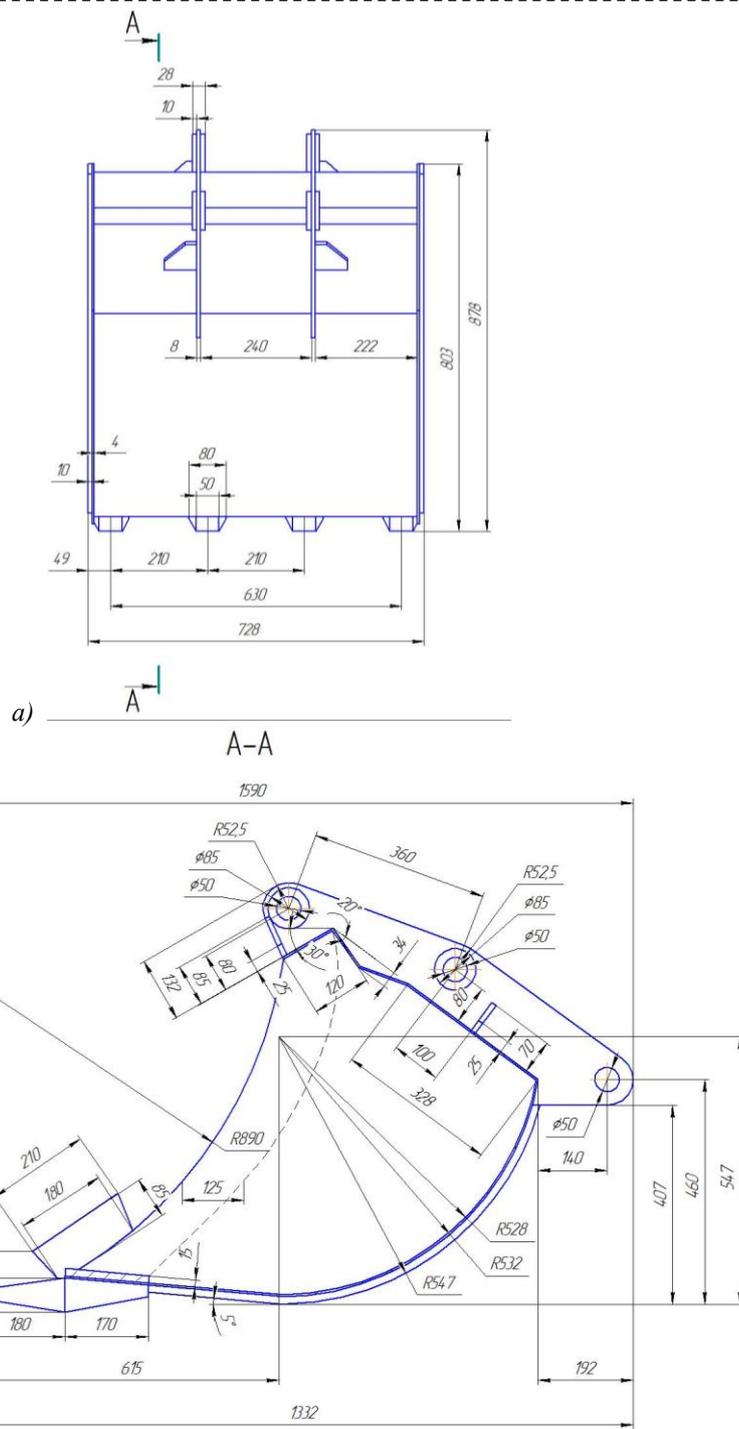


Рис. 2. Чертеж ковша стандартной конструкции объемом $0,25 \text{ м}^3$:
 а) вид сзади; б) вид в разрезе
 Fig. 2. Drawing of a standard design bucket with a volume of $0,25 \text{ м}^3$:
 а) rear view; б) sectional view

увеличить его объем при неизменных характеристиках гидропривода.

Проведем сравнение процессов копания ковшом новой и стандартной конструкции для оценки эффективности первой. Для исследования возьмем экскаваторное оборудование, установленное на тракторе ЮМЗ-6АКЛ (рис. 1). Объем ковша экскаватора составляет $0,25 \text{ м}^3$.

Исследование процессов копания состоит в расчете моментов сил, действующих на ковш.

Для расчета необходимы геометрические размеры ковша стандартной конструкции объемом $0,25 \text{ м}^3$ (рис. 2) и ковша новой конструкции объемом $0,25 \text{ м}^3$ (рис. 3).

Для расчета принято стартовое положение ковша, при котором угол между линией, проходящей через ось поворота и режущую кромку к горизонту, равен 10° . В этом случае угол поворота ковша $\beta=0^\circ$ [1].

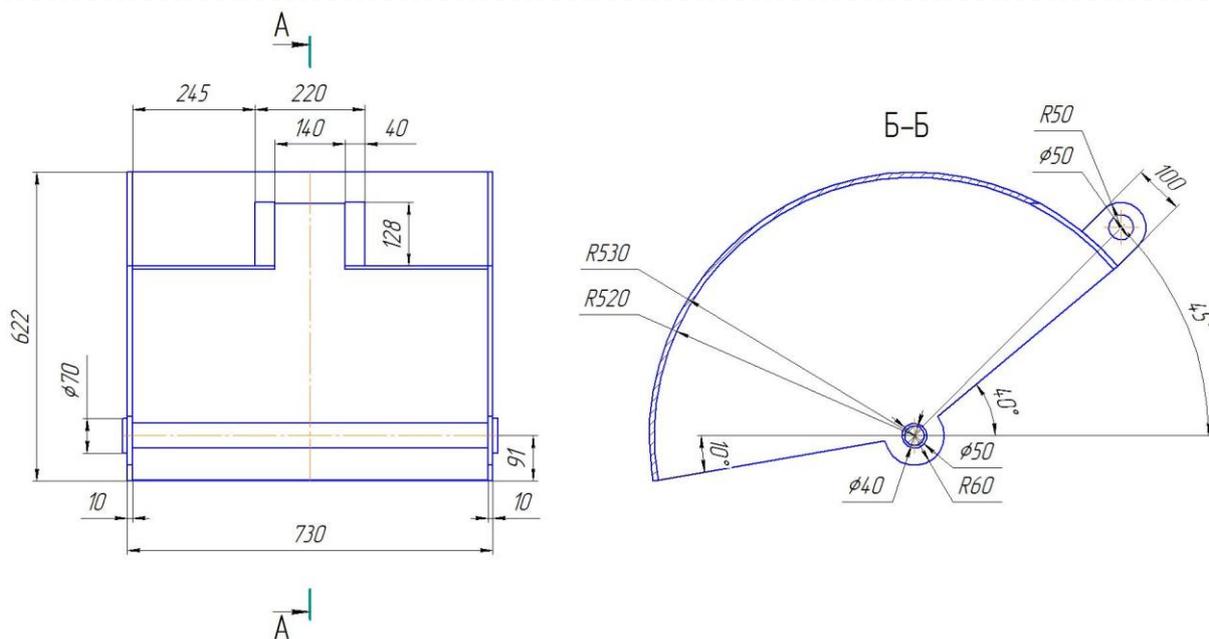


Рис. 3. Чертеж предлагаемой конструкции ковша объемом 0,25 м³
 Fig. 3. Drawing of the proposed design of the bucket with a volume of 0,25 m³

Рассмотрим схему моментов сил, действующих на ковш стандартной и предлагаемой конструкции (рис. 4).

Схемы моментов сил на рис. 4 не отображают воздействие гидроцилиндров поворота рукоятки. В процессе копания гидроцилиндры поворота рукоятки создают дополнительный момент сил на преодоление сил сопротивления.

На рис. 4 представлены следующие обозначения: P_{ψ} – сила гидроцилиндра поворота ковша, Н; P_{κ} – сила тяжести ковша, Н; $P_{p\kappa}$ – сила сопротивления копанью на режущей кромке, Н; P_{η} – сила сопротивления на поверхности зуба, Н; $P_{\eta\kappa}$ – сила сопротивления на стенке ковша, Н; $P_{\eta\delta}$ – боковая сила сопротивления на ковше, Н; $P_{m\delta}$ – сила трения на боковых стенках ковша, Н; l_1 – длина расстояния XB , м; l_2 – длина расстояния XE , м; l_3 – длина расстояния XO (центра тяжести призмы грунта), м; l_4 – длина расстояния XD , м; l_5 – длина расстояния XC , м; l_6 – длина расстояния XK , м; l_7 – длина расстояния XA , м [7, 13].

Сопротивления копанью создают моменты сил, для определения которых воспользуемся зависимостями для ковша новой конструкции (1), стандартной конструкции (2)

$$M_p = P_{\eta} \cdot l_4 + P_{p\kappa} \cdot l_4 + P_{p\delta} \cdot \frac{l_4 + l_5}{2} + P_{m\delta} \cdot l_3; \quad (1)$$

$$M_p = P_{\eta\kappa} \cdot \frac{l_4 + l_6}{2} + P_{\eta} \cdot \frac{l_6 + l_7}{2} + P_{p\kappa} \cdot l_4 + P_{p\delta} \cdot \frac{l_5 + l_6}{2} + P_{m\delta} \cdot l_3; \quad (2)$$

Точки воздействия силы $P_{p\kappa}$ на ковши обеих конструкций будут удалены на расстояние l_4 от оси поворота. Точки воздействия силы P_{η} для ковша новой конструкции удалены от оси поворота на расстояние l_4 , а в стандартной расположены на отрезке AZK . Таким образом, плечо воздействия силы P_{η} в стандартной конструкции найдем как среднее арифметическое расстояний

l_6 и l_7 . Точки приложения силы $P_{\eta\kappa}$ расположены на линии DK , поэтому плечо силы будет равно среднему арифметическому длин l_4 и l_6 . Точки воздействия силы $P_{p\delta}$ в новой конструкции расположены на линии CD , поэтому плечо силы будет равно среднему арифметическому длин l_4 и l_5 . Точки воздействия силы $P_{p\delta}$ в стандартной конструкции расположены на линии $СК$, поэтому плечо силы будет равно среднему арифметическому длин l_5 и l_6 . Точки приложения силы $P_{m\delta}$ в обеих конструкциях ковшей расположены на расстоянии l_3 от оси поворота ковша.

Для расчета сил сопротивления копанью ковшем новой конструкции наиболее подходящими являются зависимости В.И. Баловнева. В сравнении с другими исследованиями зависимости имеют невысокую погрешность, что позволяет использовать их на практике. В зависимостях отсутствуют эмпирические коэффициенты, полученные на стандартном оборудовании. Ковш новой конструкции имеет сечение в виде прямоугольного периметра (рис. 5), рассмотрим зависимости для определения сил сопротивления.

$$P_{\eta} = (1 + ctg\alpha_{\eta} \cdot tg\delta) \cdot A_1 \cdot B_{\kappa} \cdot l_{\eta} \cdot \sin\alpha_{\eta} \cdot g \cdot \left[\frac{\rho \cdot l_{\eta} \cdot \sin\alpha_{\eta}}{2} + c_{\omega} \cdot ctg\phi \cdot \left(1 - \frac{1}{A_1}\right) + \frac{1 + \sin\phi}{1 - \sin\phi} \cdot \rho \cdot (h_p - l_{\eta} \cdot \sin\alpha_{\eta}) \right]; \quad (2)$$

$$P_{\eta\kappa} = (1 + ctg\alpha_{\eta\kappa} \cdot tg\delta) \cdot A_{13} \cdot B_3 \cdot l_{\eta\kappa} \cdot \sin\alpha_{\eta\kappa} \cdot g \cdot \left[\frac{\rho \cdot l_{\eta\kappa} \cdot \sin\alpha_{\eta\kappa}}{2} + c_{\omega} \cdot ctg\phi \cdot \left(1 - \frac{1}{A_{13}}\right) + \frac{1 + \sin\phi}{1 - \sin\phi} \cdot \rho \cdot (h_p - l_{\eta\kappa} \cdot \sin\alpha_{\eta\kappa}) \right]; \quad (3)$$

$$P_{p\kappa} = (1 + ctg\alpha_{3m} \cdot tg\delta) \cdot A_2 \cdot B_3 \cdot h_{3m} \cdot g \cdot \left[\frac{\rho \cdot h_{3m}}{2} + c_{\omega} \cdot ctg\phi \cdot \left(1 - \frac{1}{A_2}\right) + \frac{1 + \sin\phi}{1 - \sin\phi} \cdot \rho \cdot h_p \right]; \quad (4)$$

$$P_{p\delta} = 2 \cdot A_3 \cdot a \cdot h_p \cdot g \cdot \left[\frac{\rho \cdot h_p}{2} + c_{\omega} \cdot ctg\phi \cdot \left(1 - \frac{1}{A_3}\right) + \frac{1 + \sin\phi}{1 - \sin\phi} \cdot \rho \cdot (h_p - l_{\eta} \cdot \sin\alpha_{\eta}) \right]; \quad (5)$$

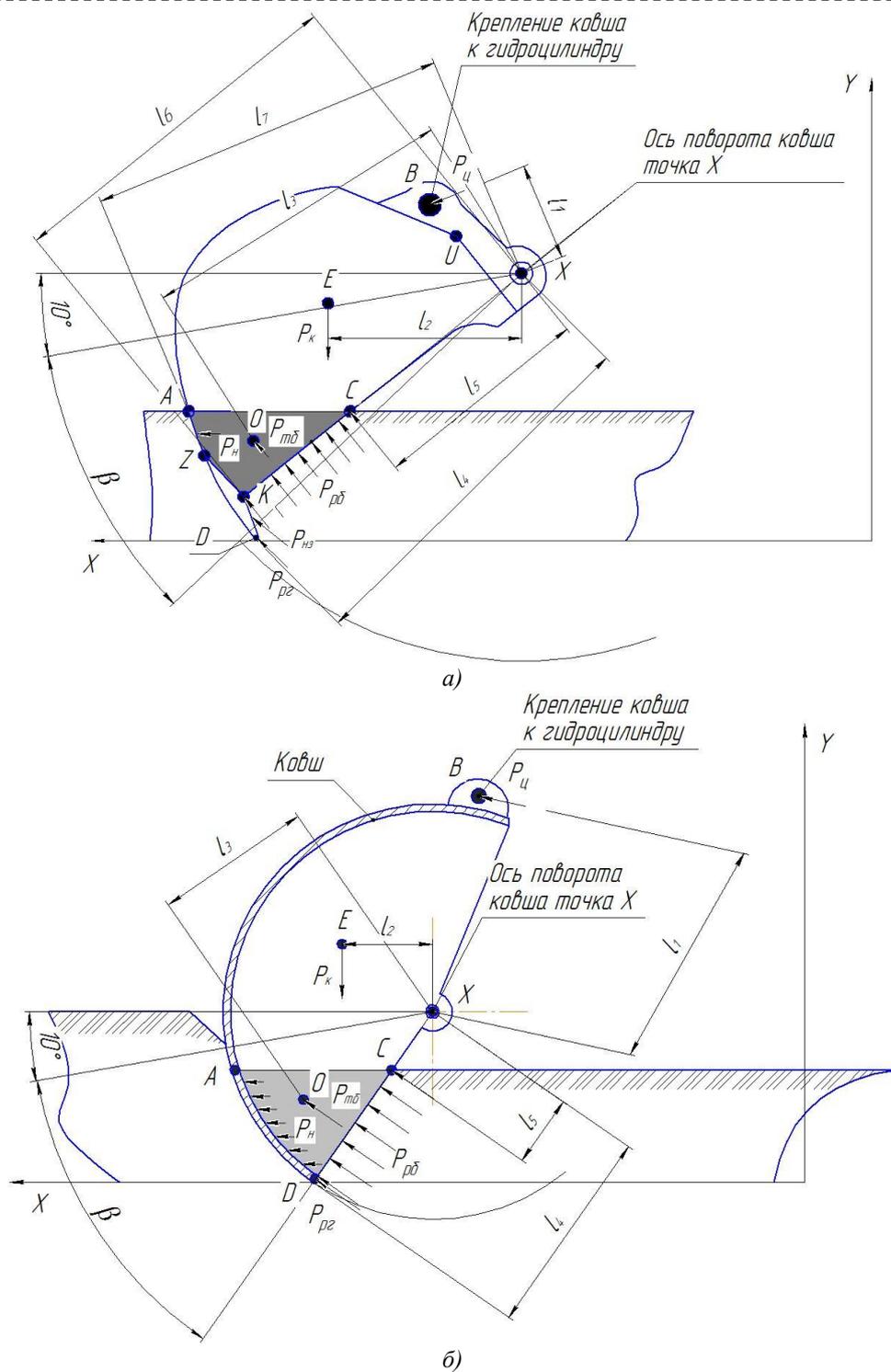


Рис. 4. Моменты сил в процессе копания на ковше:
 а) стандартной конструкции; б) предлагаемой конструкции
 Fig. 4. The moments of forces in the process of digging on the bucket:
 а) standard design; б) the proposed design

$$P_{m\delta} = 4 \cdot \operatorname{tg} \delta \cdot A_4 \cdot l_6 \cdot h_p \cdot g \cdot \left[\frac{\rho \cdot h_p}{2} + c_w \cdot \operatorname{ctg} \phi \cdot \left(1 - \frac{1}{A_4} \right) + \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} \cdot \rho \cdot (h_p - l_n \cdot \sin \alpha_n) \right]; \quad (6)$$

$$A_1 = \frac{1 - \sin \phi \cdot \cos 2\alpha_n}{1 - \sin \phi}; \quad (7)$$

$$A_{13} = \frac{1 - \sin \phi \cdot \cos 2\alpha_{n3}}{1 - \sin \phi}; \quad (8)$$

$$A_2 = \frac{\cos \delta \cdot (\cos \delta + \sqrt{\sin^2 \phi - \sin^2 \delta})}{1 - \sin \phi} \cdot 2,718^{(\pi - 2\alpha_{em} + \delta + \arcsin \frac{\sin \delta}{\sin \phi})} \cdot \operatorname{tg} \phi; \quad (9)$$

$$A_3 = \frac{\cos \delta (\cos \delta + \sqrt{\sin^2 \phi - \sin^2 \delta})}{1 - \sin \phi} \cdot 2,718^{(\delta + \arcsin \frac{\sin \delta}{\sin \phi})} \cdot \operatorname{tg} \phi; \quad (10)$$

$$A_4 = \frac{\sin \delta (\cos \delta + \sqrt{\sin^2 \phi - \sin^2 \delta})}{1 - \sin \phi} \cdot 2,718^{(\delta + \arcsin \frac{\sin \delta}{\sin \phi})} \cdot \operatorname{tg} \phi; \quad (11)$$

где a – толщина боковой стенки ковша, м; h_p – глубина копания, м; ρ – плотность грунта,

кг/м³; φ – угол внутреннего трения грунта (для грунта IV категории $\varphi=23^\circ$), град.; δ – угол трения грунта о сталь (для грунта IV категории $\delta=22^\circ$), град.; c_ω – коэффициент сцепления грунта (для грунта IV категории $c_\omega \approx 6116$ кг/м²); l_σ – ширина призмы грунта в ковше, м; α_{zm} – угол затупления ножа к траектории движения ковша, град.; B_k – ширина стенки ковша, м; B_z – суммарная ширина зубьев ($B_z=0,32$ м), м; h_{zm} – толщина затупленной части, м; α_n – угол наклона стенки к траектории движения ковша, град.; α_{nz} – угол наклона зуба к траектории движения ковша, град.; l_n – длина стенки, м; l_{nz} – длина зуба, м; g – ускорение свободного падения, м/с² [2, 3, 9, 10, 11, 12].

При расчете приняты следующие допущения: 1) рассматривается грунт IV категории; 2) проводится копание горизонтальной поверхности грунта; 3) расчет проводится для ковшей объемом 0,25 м³; 4) в расчете не рассматривается сила тяжести рукояти; 5) в расчете не рассматриваются силы гидроцилиндров поворота рукояти; 6) в предлагаемой конструкции ковша угол $\alpha_n=0^\circ$, так как форма стенки совпадает с траекторией ее перемещения; 7) в предлагаемой конструкции угол $\alpha_{zm}=90^\circ$, что снизит износ режущей кромки; 8) в стандартном ковше угол $\alpha_{zm}=50^\circ$; 9) при расчете сил на стандартном ковше грунт рассматривался в объеме AZKC (рис. 4а); 10) при расчете стандартного ковша угол α_n расположен между

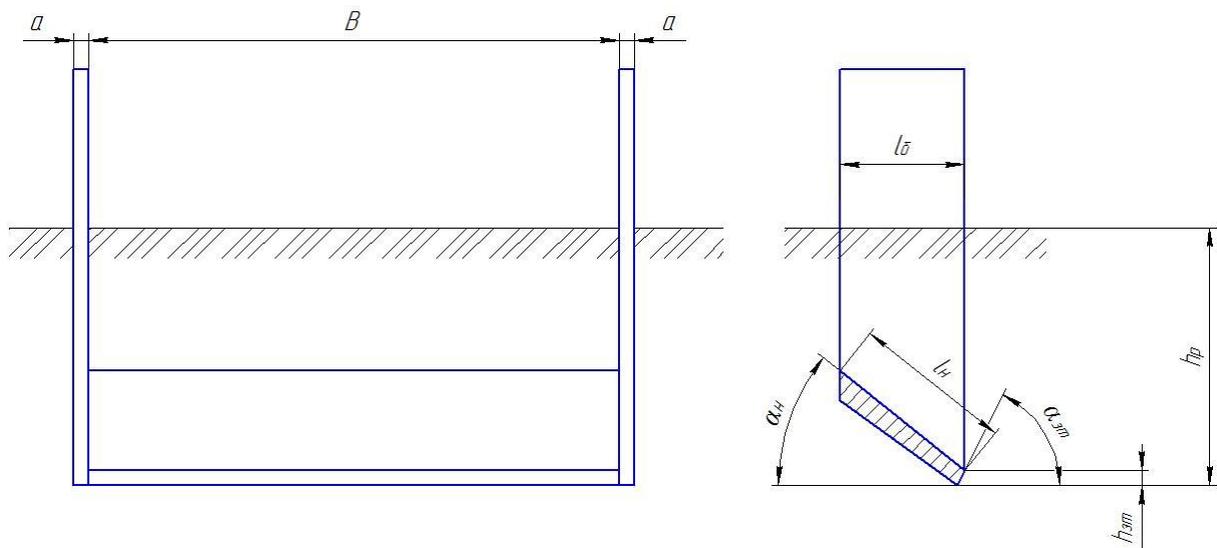


Рис. 5. Сечение нового ковша
Fig. 5. Section of a new bucket

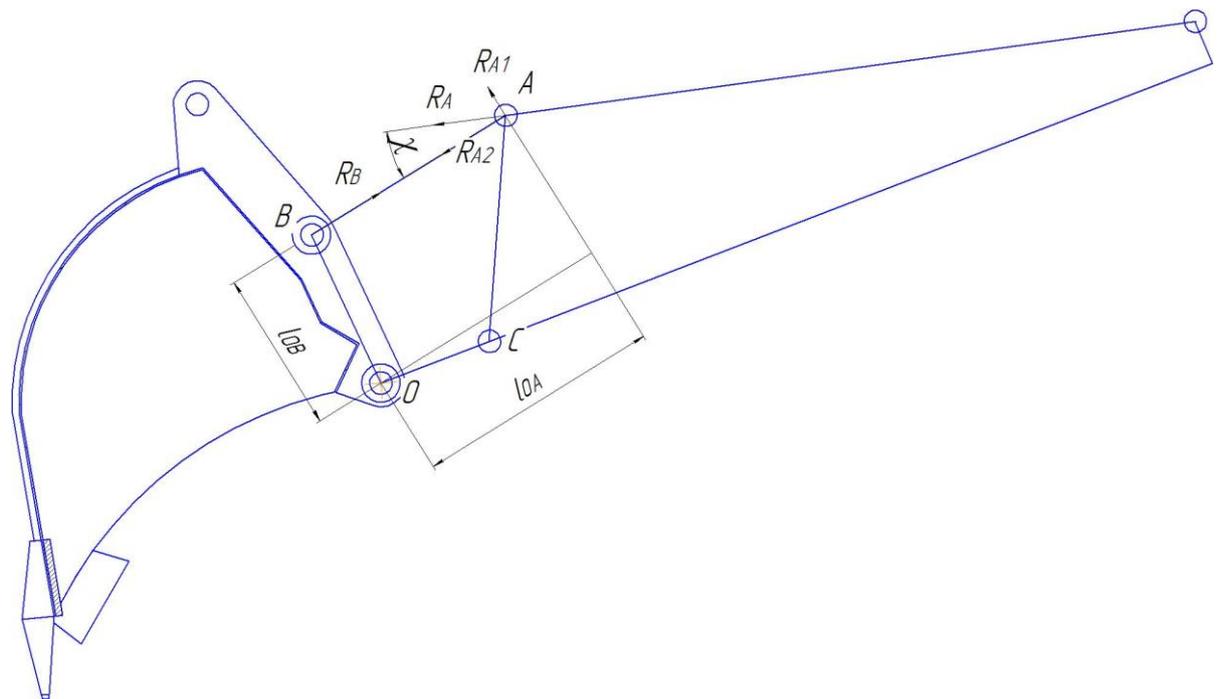


Рис. 6. Схема для определения силы гидроцилиндра
Fig. 6. Scheme for determining the strength of the hydraulic cylinder

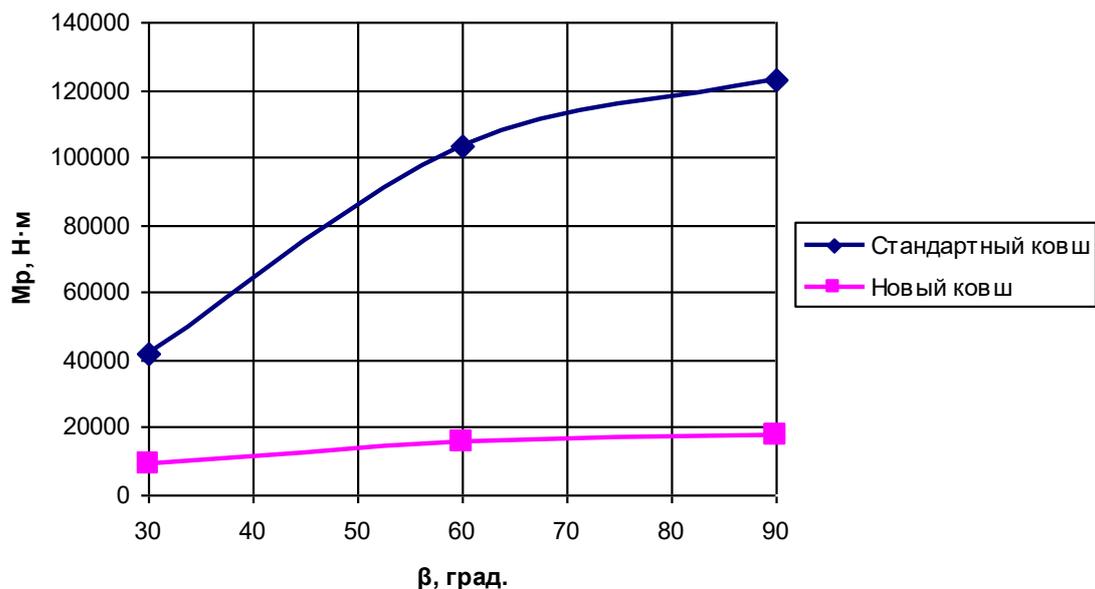


Рис. 7. Зависимости суммарного момента M_p сопротивления копанью от угла поворота β
 Fig. 7. Dependences of the total moment M_p resistance to digging from rotation angle β

линией KA и касательной к окружности с центром в точке X (рис. 4а); 11) при расчете стандартного ковша длина l_n равна длине отрезка AZK ; 12) в процессе копания внешнее давление на грунт отсутствует; 13) сила, создаваемая гидроцилиндром поворота ковша составляет 80380 Н; 14) рассматриваются положения ковша с углами $\beta=30^\circ$, $\beta=60^\circ$, $\beta=90^\circ$, так как они наиболее нагружены [4, 5, 6, 8].

В ковше стандартной конструкции гидроцилиндр поворота ковша воздействует на ковш через систему рычагов в точке A (рис. 6), поэтому необходимо рассчитать значение силы P_u в точке B , используя уравнение суммы моментов сил относительно точки O (12)

$$P_u \cdot l_{OB} - 80380 \cdot \sin \chi \cdot l_{OA} - 80380 \cdot \cos \chi \cdot l_{OB} = 0. \quad (12)$$

Определение длин от оси поворота ковша до точек приложения сил осуществлялось путем построения моделей ковшей в программном продукте Компас-3D, расчет был проведен в программном продукте Microsoft Visual Basic. Ниже представлены входные данные для расчета.

Расчет ковша стандартной конструкции

Постоянные данные: $l_1=0,36$ м, $l_2=0,545$ м, $P_k=1399$ Н;

$l_4=1$ м, $\sin \varphi=0,39$, $h_{zm}=0,011$ м, $\rho=2500$ кг/м³, $c_\omega=6116$ кг/м², $ctg \varphi=2,36$,

$\sin \delta=0,375$, $\cos \delta=0,927$, $tg \delta=0,4$, $\alpha_{zm}=0,87$ рад., $a=0,014$ м, $tg \varphi=0,42$, $B_s=0,32$ м, $B_k=0,7$ м, $l_6=0,88$ м, $l_{n3}=0,182$ м; $\alpha_{n3}=0,82$ рад.

Изменяющиеся данные:

– при $\beta=30^\circ$: $P_u=123154$ Н, $h_p=0,528$ м, $l_5=0,523$ м, $l_3=0,72$ м, $\alpha_n=0,59$ рад., $l_n=0,293$ м, $l_7=0,793$ м, $l_6=0,266$ м;

– при $\beta=60^\circ$: $P_u=123902$ Н, $h_p=0,786$ м, $l_5=0,265$ м, $l_3=0,613$ м, $\alpha_n=0,72$ рад., $l_n=0,698$ м, $l_7=0,763$ м, $l_6=0,658$ м;

– при $\beta=90^\circ$: $P_u=123154$ Н, $h_p=0,817$ м, $l_5=0,187$ м, $l_3=0,547$ м, $\alpha_n=0,8$ рад., $l_n=1,062$ м, $l_7=0,658$ м, $l_6=0,938$ м.

Расчет ковша предлагаемой конструкции

Постоянные данные: $l_1=0,588$ м; $l_2=0,211$ м; $P_u=80380$ Н; $P_k=2861$ Н;

$l_4=0,53$; $\sin \varphi=0,39$; $h_{zm}=0,01$ м; $\rho=2500$ кг/м³; $c_\omega=6116$ кг/м²; $ctg \varphi=2,36$;

$\sin \delta=0,375$; $\cos \delta=0,927$; $tg \delta=0,404531$; $\delta=0,38$ рад; $a=0,01$ м; $tg \varphi=0,42$, $B=0,71$ м.

Изменяющиеся данные:

– при $\beta=30^\circ$: $h_p=0,37$ м; $l_6=0,249$ м; $l_n=0,27$ м; $l_3=0,394$ м; $l_5=0,159$ м;

– при $\beta=60^\circ$: $h_p=0,421$ м; $l_6=0,444$ м; $l_n=0,542$ м; $l_3=0,363$ м; $l_5=0,109$ м;

– при $\beta=90^\circ$: $h_p=0,426$ м; $l_6=0,52$ м; $l_n=0,814$ м; $l_3=0,337$ м; $l_5=0,104$ м.

На основании проведенных расчетов построены зависимости суммарного момента сопротивления копанью от угла поворота β для ковшей обеих конструкций (рис. 7).

В процессе копания грунта стандартным ковшом основную силу создают гидроцилиндры поворота рукоятки. На экскаваторе с объемом ковша 0,25 м³ на базе трактора ЮМЗ-6АКЛ используются 2 гидроцилиндра, суммарная сила которых составляет 160,76 кН. Плечо момента данной силы – это расстояние от точки приложения до оси поворота рукоятки, оно составляет 0,56 м. Суммарный момент сил от гидроцилиндров поворота рукоятки составит 90025 Н·м. С учетом гидроцилиндра поворота ковша суммарный момент составит более 130 кН·м, что вполне достаточно для осуществления процесса копания.

Исследования показали эффективность предложенной конструкции. За счет изменения формы элементов ковша и траектории перемещения относительно его поворота снижаются силы сопротивления копанью. Расчет был проведен на примере ковша объемом 0,25 м³. Снижение сил сопротивления в процессе копания позволяет устанавливать ковши большего объема без изменения характеристики гидропривода. Это позволит повысить производительность одноковшовых гидравлических экскаваторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент 2656286 Российская Федерация, МПК E02F 3/28. Ковш экскаватора сферический / Бурый Г.Г.; заявитель и патентообладатель Бурый Г.Г.
2. Баловнев, В.И. Моделирование процессов взаимодействия со средой рабочих органов дорожно-строительных машин / В.И. Баловнев. – М.: Высшая школа, 1981. – 335 с.
3. Зеленин А.Н., Павлов В.П., Агароник М.Я., Королев А.В., Перлов А.С. Исследование разработки грунта гидравлическими экскаваторами // Строительные и дорожные машины. 1976. № 10. С. 9–11.
4. Ананин В.Г. Результаты экспериментальных исследований и моделирования рабочего оборудования одноковшового экскаватора // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2013. № 1 (38). С. 205–213.

5. Кузнецова В.Н., Савинкин В.В. Анализ эффективности работы одноковшового экскаватора // Вестник СибАДИ. 2014. №6. С. 26–33.
6. Павлов В.П., Абрамов А.Н. Рекомендации по выбору параметров экскаваторных ковшей // Транспортное строительство. 1984. № 7. С. 35–36.
7. Тарасов В.Н., Коваленко М.В. Механика копания грунтов, основанная на теории предельных касательных напряжений // Строительные и дорожные машины. 2003. № 7. С. 38–43.
8. Кузнецова В.Н., Савинкин В.В. Обеспечение энергоэффективности разработки грунта за счет оптимизации углов позиционирования рабочего оборудования экскаватора // Строительные и дорожные машины. 2015. № 3. С. 44–47.
9. Домбровский, Н.Г., Гальперин М.И. Землеройно-транспортные машины – М.: Машиностроение, 1965. – 276 с.
10. Зеленин, А.Н. Машины для земляных работ / А.Н. Зеленин, В.И. Баловнев, И.П. Керов. – М.: Машиностроение, 1975. – 424 с.
11. Федоров Д.И. Рабочие органы землеройных машин. – М.: Машиностроение, 1990. – 360 с.
12. Ветров Ю.А. Резание грунтов землеройными машинами. – М.: Машиностроение, 1971. – 357 с.
13. Sinclair R. Hydraulic Excavators: Quarrying & Mining Applications. London, Sinclair Publishing, 2011. – 388 p.

Gregory G. Buryy¹, C. Sc. in Engineering, Associate Professor, **Илья К. Потеряев**¹, C. Sc. in Engineering, Associate Professor **Stanislav B. Skobelew**², C. Sc. in Engineering, Associate Professor, **Valeriy F. Kovalevskiy**², C. Sc. in Engineering, Associate Professor.

¹Siberian State Automobile and Highway University, Russia, 644080, Omsk, pr. Mira, 5

²Omsk State Technical University, Russia, 644050, Omsk, pr. Mira, 11

COMPARISON OF THE DIGGING PROCESS BY THE STANDARD EXCAVATOR BUCKET AND THE NEW DESIGN BUCKET

Abstract: The paper considers the possibility of increasing the productivity of single-bucket hydraulic excavators. The design of the existing and proposed bucket with a volume of 0,25 m³ is presented. The forces in the digging process arising on these structures are considered. Assumptions are made during the calculation process. Dependence for calculating the resistance forces on the bucket is described. The results of a comparative calculation of the force moment on the buckets of both structures are presented.

Keywords: bucket, design, force moment, productivity, hydraulic cylinder, comparison, digging, soil, excavator, digging resistance.

Article info: received March 19, 2020

DOI: 10.26730/1816-4528-2020-1-37-44

REFERENCES

1. Patent 2656286 Rossijskaja Federacija, MPK E02F 3/28. Kovsh jeksavatora sfericheskiy / Buryj G.G.; zajavitel' i patentoobladatel' Buryj G.G. (rus)

2. Balovnev, V.I. Modelirovanie processov vzaimodejstvija so sredoj rabochih organov dorozhno-stroitel'nyh mashin / V.I. Balovnev. – М.: Vysshaja shkola, 1981. – 335 p. (rus)

3. Zelenin A.N., Pavlov V.P., Agaronik M.Ja., Korolev A.V., Perlov A.S. Issledovanie razrabotki grunta gidravlicheskimi jekskavatorami // Stroitel'nye i dorozhnye mashiny. 1976. № 10. Pp. 9 – 11. (rus)
4. Ananin V.G. Rezul'taty jeksperimental'nyh issledovanij i modelirovanija rabocheho oborudovanija odnokovshovogo jekskavatora // Vestnik Tomskogo gosudarstven-nogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. 2013. № 1 (38). Pp. 205–213. (rus)
5. Kuznecova V.N., Savinkin V.V. Analiz jeffektivnosti raboty odnokovshovogo jekskavatora // Vestnik SibADI. 2014. № 6. S. 26 – 33. (rus)
6. Pavlov V.P., Abramov A.N. Rekomendacii po vyboru parametrov jekskavator-nyh kovshej // Transportnoe stroitel'stvo. 1984. № 7. Pp. 35–36. (rus)
7. Tarasov V.N., Kovalenko M.V. Mehanika kopanija gruntov, osnovannaja na teorii predel'nyh kassatel'nyh naprjazhenij // Stroitel'nye i dorozhnye mashiny. 2003. № 7. Pp. 38–43. (rus)

Библиографическое описание статьи

Бурый Г.Г., Потеряев И.К., Скобелев С.Б., Ковалевский В.Ф. Сравнение процесса копания стандартным ковшом экскаватора и ковшом новой конструкции // Горное оборудование и электромеханика – 2020. – № 1 (147). – С. 37-44.

8. Kuznecova V.N., Savinkin V.V. Obespechenie jenergojeffektivnosti razrabotki grunta za schet optimizacii uglov pozicionirovanija rabocheho oborudovanija jekskavatora // Stroitel'nye i dorozhnye mashiny. 2015. № 3. Pp. 44–47. (rus)
9. Dombrovskij, N.G., Gal'perin M.I. Zemlerojno-transportnye mashiny – M.: Mashinostroenie, 1965. – 276 p. (rus)
10. Zelenin, A.N. Mashiny dlja zemljanyh rabot / A.N. Zelenin, V.I. Balovnev, I.P. Kerov. – M.: Mashinostroenie, 1975. – 424 p. (rus)
11. Fedorov D.I. Rabochie organy zemlerojnyh mashin. – M.: Mashinostroenie, 1990 – 360 p. (rus)
12. Vetrov Ju.A. Rezanie gruntov zemlerojnymi mashinami. – M.: Mashinostroe-nie, 1971. – 357 p. (rus)
13. Sinclair R. Hydraulic Excavators: Quarrying & Mining Applications. London, Sinclair Publishing, 2011. – 388 p.

Reference to article

Buryy G.G., Poteryaev I.K., Skobelew S.B., Kovalevskiy V.F. Comparison of the digging process by the standard excavator bucket and the new design bucket. Mining Equipment and Electromechanics, 2020, no.1 (147), pp. 37-44.