

Бурый Григорий Геннадьевич¹, канд. техн. наук, доцент, Потеряев Илья Константинович¹, кандидат. техн. наук, доцент, Скобелев Станислав Борисович², канд. техн. наук, доцент, Ковалевский Валерий Федорович², канд. техн. наук, доцент

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

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

E-mail: buryy1989@bk.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛ СОПРОТИВЛЕНИЯ РЕЗАНИЮ НА НОВОЙ КОНСТРУКЦИИ КОВША ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ЭКСКАВАТОРА

Аннотация: В статье рассматриваются силы сопротивления возникающие на новой конструкции ковша экскаватора в процессе резания. Приведена актуальность снижения стоимости оборудования экскаватора. Проведен анализ зависимостей для определения сил сопротивления резанию. Разработана новая конструкция ковша для экскаватора ЮМЗ-6АКЛ. Приняты допущения в процессе расчетов. Проведены расчеты сил сопротивления резанию для ковшей разного объема при различных углах поворота ковша. Построены зависимости суммарной силы сопротивления резанию на ковшах разного объема от углов их поворота.

Ключевые слова: экскаватор, грунт, резание, сопротивление резанию, копание, конструкция, сила резания, дорожные машины.

Информация о статье: принята 01 июня 2019 г.

DOI: 10.26730/1816-4528-2019-2-46-51

Одноковшовый гидравлический экскаватор является одной из самых востребованных дорожных машин. В закупку данных машин вкладываются значительные средства строительных организаций. Возможность снижения стоимости данных машин ограничивается не только узлами и агрегатами трактора но и самого рабочего оборудования. Самой главной проблемой при снижении стоимости рабочего оборудования является обеспечение процесса копания. Чем меньше мощность установленного гидропривода тем меньшую силу он создаст на преодоление сил сопротивления. В статье пойдет речь об исследовании сил сопротивления резанию на новой конструкции ковша одноковшового

гидравлического экскаватора. Ковш позволяет снизить силы сопротивления резанию, как следствие снизить стоимость гидропривода при неизменности объема зачерпываемого грунта [1].

На рис. 1 представлена новая конструкция ковша одноковшового гидравлического экскаватора [2, 3].

Для изучения сил сопротивления резанию на ковше новой конструкции рассмотрим исследования ученых в этой области.

Н.Г. Домбровским на основании исследований Горячкина В.П. были предложены зависимости

$$F_p = K \cdot l \cdot h_{cp}, \quad (1)$$

где F_p – сила сопротивления резанию, Н; K – удельное сопротивление резанию (для почв $K \approx 0,02 - 0,1 \text{ МПа}$); l – ширина горизонтальной

кромки ковша, м; h_{cp} – толщина стружки грунта, м.

$$F_n = P \cdot \operatorname{tg} \delta + \varepsilon \cdot (1 + V_{cp}) \cdot V_k \cdot K_n, \quad (2)$$

где F_n – сила сопротивления наполнению ковша, Н; ε – коэффициент сопротивления наполнению ковша и перемещению призмы волочения; V_{cp} – объем грунта в ковше, м³; V_k – объем ковша, м³; K_n – коэффициент наполнения ковша (отношение объема разрыхленного грунта в ковше к геометрическому объему ковша); P – давление ковша на грунт, МПа; $\operatorname{tg} \delta$ – коэффициент трения грунта о сталь [4, 5].

Формулы имеют достаточно большую погрешность, что ограничивает их применение на практике.

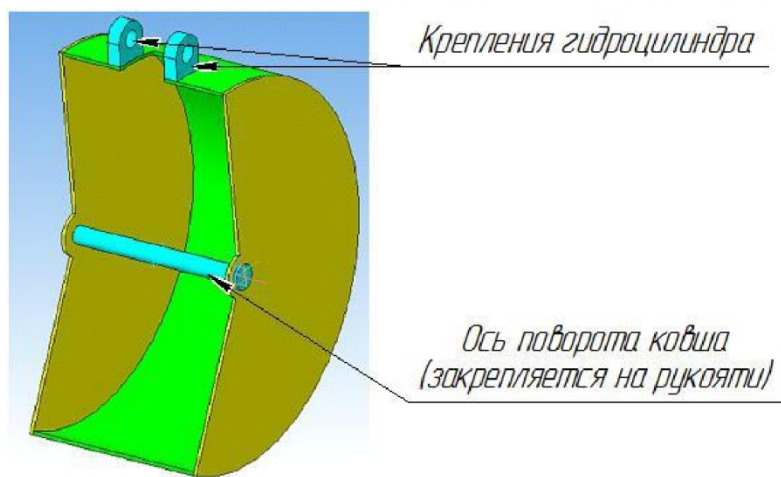


Рис. 1. Новая конструкция ковша
Fig. 1. New bucket design

А.Н. Зелениным были предложены зависимости $F_p = 10 \cdot C \cdot h_p^{1,35} \cdot (1 + 2,6 \cdot l) \cdot (1 + 0,0075\alpha) \cdot z$, (3)

где F_p – сила сопротивления резанию, Н; C – число ударов динамического плотномера в зависимости от категории грунта (для грунтов IV категории $C \approx 34$); α – угол резания, град; z – коэффициент учитывающий влияние зубьев (для глубины резания 0,25–0,05 м и ширине ковша 0,7 м, $z \approx 0,67$ –0,77); h_p – глубина резания, м; l – ширина горизонтальной режущей кромки, м.

$$F_H = \zeta \cdot S \cdot K_{сж} + V \cdot \rho \cdot g \cdot (\cos \alpha \cdot \operatorname{tg} \delta + \sin \alpha), \quad (4)$$

где F_H – сила сопротивления наполнению ковша, Н; S – площадь сечения пласта грунта, м²; $K_{сж}$ – коэффициент продольного сжатия пласта грунта (для грунта категории IV составляет $K_{сж} \approx 20$ при длине стружки 0,25–0,35 м); ζ – коэффициент учитывающий изменение $K_{сж}$ (для высоты пригружаемого слоя грунта 1,5 м $\zeta = 2$); V – объем грунта в ковше, м³; ρ – плотность грунта, (для тяжелой глины может достигать 2500 кг/м³); g – ускорение свободного падения, м/с²; α – угол резания, град; $\operatorname{tg} \delta$ – коэффициент трения грунта о сталь [5, 6, 7].

Д.И. Федоровым предложены следующие зависимости

$$F_H = l_{нов} \cdot S \cdot \rho \cdot (\operatorname{tg} \delta \cdot \cos \alpha_k + \sin \alpha_k) + l \cdot S \cdot \rho \cdot (\sin \alpha + \operatorname{tg} \delta \cdot \cos \alpha) \cdot \cos \alpha, \quad (5)$$

где F_H – сила сопротивления наполнению ковша, Н; $l_{нов}$ – длина поверхности по которой перемещается грунт, м; S – площадь поперечного сечения срезаемого грунта, м²; γ – угол наклона нижней кромки рабочего органа к горизонту, град; α_k – угол наклона к горизонту поверхности, по которой перемещается грунт, град; α – угол резания (наклона режущей кромки); l – ширина горизонтальной режущей кромки, м.

$$F_p = F_{од.сж.} \cdot \left(\frac{h_{з.реж.кр.} \cdot l_{з.р.к.}}{S_{ср.см}} \cdot K_{нпр} + \frac{h_{изн.} \cdot l_{з.р.к.}}{S_{ср.см}} \cdot K_{бпр} \right) + \frac{l_{отр.} \cdot h_{зр.}}{S_{ср.см}} \cdot \frac{F_{разр.}^2}{E} + l_{сдв.} \cdot l \cdot \frac{F_{сд.}^2}{2G \cdot S_{ср.см}} + \frac{2M_{ил.см.}}{S_{ср.см} \cdot l_H} \cdot F_{изг.} \cdot (\sin \alpha + \operatorname{tg} \delta \cdot \cos \alpha), \quad (6)$$

где F_p – сила сопротивления резанию, Н; l_H – длина ножа, м; α – угол резания, град; $F_{сд.}$ – сила сопротивления грунта сдвигу, Н; $F_{од.сж.}$ – сила сопротивления грунта одноосному сжатию, Н; $h_{з.реж.кр.}$ – толщина затупленного режущей кромки, м; $l_{з.р.к.}$ – длина затупленной режущей кромки, м; $K_{нпр}$ и $K_{бпр}$ – эмпирические коэффициенты приведения; $h_{изн.}$ – толщина изношенной поверхности, м; $S_{ср.см.}$ – площадь поперечного сечения срезаемой стружки, м²; l – ширина режущей кромки ковша, м; $l_{отр.}$ – длина линии отрыва, м (равна $l_{отр.} = l$ для прямоугольных рабочих органов); E – модуль упругости, Па; $F_{разр.}$ – сила сопротивления грунта разрыву, Н; $l_{сдв.}$ – длина площадки сдвига, м; $M_{ил.см.}$ – момент сил сопротивления изгибу стружки, Н·м; $F_{изг.}$ – сила сопротивления грунта изгибу, Па; ρ – плотность грунта, кг/м³; $h_{зр.}$ – толщина стружки грунта, м; $\operatorname{tg} \delta$ – коэффициент трения грунта о сталь; G – модуль сдвига, Па [5, 8].

Ветровым Ю.А. предложены следующие зависимости (7), (8)

$$F_p = K_{у.р.з.} \cdot K_{у.д.р.з.} \cdot b_{см} \cdot h_{рез} + 2K_{бок} \cdot h_{рез}^2 + 2K_{бок.ср} \cdot h_{рез}, \quad (7)$$

$$F_H = (1 + \operatorname{ctg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \delta) \cdot K_{нр} \cdot b_{см} \cdot h_{рез} \cdot \left[\frac{\rho \cdot \sin \phi \cdot \cos^2 \phi \cdot H^2}{(1 + \sin \phi + \cos \phi \cdot \cos \alpha) \cdot h_{рез}} + \rho \cdot H \right], \quad (8)$$

где F_p – сила сопротивления резанию, Н; F_H – сила сопротивления наполнению ковша, Н; $K_{у.р.з.}$ – коэффициент учитывающий влияние угла резания; $K_{у.д.р.з.}$ – коэффициент, характеризующий удельную силу резания для преодоления сопротивлений грунта передней гранью ножа при угле резания 45°, Н; $b_{см}$ – ширина стружки грунта, м; $h_{рез}$ – толщина резания, м; $K_{бок.ср}$ – коэффициент, характеризующий удельную силу сопротивления для преодоления сопротивлений грунта срезу боковыми ребрами ножа; $K_{бок}$ – коэффициент характеризующий силу сопротивления разрушению грунта в боковых расширениях прорези; ρ – плотность грунта, кг/м³; $\operatorname{tg} \delta$ – коэффициент трения грунта о сталь, град; $K_{нр}$ – коэффициент, зависящий от угла внутреннего трения грунта, угла наклона отвала к горизонту и угла естественного откоса призмы; α – угол резания, град; H – высота стенки рабочего органа, м; ϕ – угол внутреннего трения грунта, град. [5, 9].

Баловневым В.И. предложены следующие зависимости для резания прямоугольным периметром

$$F_H = (1 + \operatorname{ctg} \alpha_n \cdot \operatorname{tg} \delta) \cdot A_1 \cdot B \cdot l_n \cdot \sin \alpha_n \cdot g \cdot \left[\frac{\rho \cdot l_n \cdot \sin \alpha_n}{2} + c_\omega \cdot \operatorname{ctg} \phi \cdot \left(1 - \frac{1}{A_1} \right) + \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} \cdot \rho \cdot (h_p - l_n \cdot \sin \alpha_n) \right]; \quad (8)$$

$$F_{пр} = (1 + \operatorname{ctg} \alpha_{зт} \cdot \operatorname{tg} \delta) \cdot A_2 \cdot B \cdot h_{зт} \cdot g \cdot \left[\frac{\rho \cdot h_{зт}}{2} + c_\omega \cdot \operatorname{ctg} \phi \cdot \left(1 - \frac{1}{A_2} \right) + \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} \cdot \rho \cdot h_p \right]; \quad (9)$$

$$F_{рб} = 2 \cdot A_3 \cdot a \cdot h_p \cdot g \cdot \left[\frac{\rho \cdot h_p}{2} + c_\omega \cdot \operatorname{ctg} \phi \cdot \left(1 - \frac{1}{A_3} \right) + \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} \cdot \rho \cdot (h_p - l_n \cdot \sin \alpha_n) \right]; \quad (10)$$

$$F_{тб} = 4 \cdot \operatorname{tg} \delta \cdot A_4 \cdot l_\phi \cdot h_p \cdot g \cdot \left[\frac{\rho \cdot h_p}{2} + c_\omega \cdot \operatorname{ctg} \phi \cdot \left(1 - \frac{1}{A_4} \right) + \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} \cdot \rho \cdot (h_p - l_n \cdot \sin \alpha_n) \right]; \quad (11)$$

$$A_1 = \frac{1 - \sin \phi \cdot \cos 2\alpha_n}{1 - \sin \phi}, \quad (12)$$

$$A_2 = \frac{\cos \delta \cdot (\cos \delta + \sqrt{\sin^2 \phi - \sin^2 \delta})}{1 - \sin \phi} \cdot 2,718^{(\pi - 2\alpha_{зт} + \delta + \arcsin \frac{\sin \delta}{\sin \phi}) \cdot \operatorname{tg} \phi}, \quad (13)$$

$$A_3 = \frac{\cos \delta \cdot (\cos \delta + \sqrt{\sin^2 \phi - \sin^2 \delta})}{1 - \sin \phi} \cdot 2,718^{(\delta + \arcsin \frac{\sin \delta}{\sin \phi}) \cdot \operatorname{tg} \phi}, \quad (14)$$

$$A_4 = \frac{\sin \delta \cdot (\cos \delta + \sqrt{\sin^2 \phi - \sin^2 \delta})}{1 - \sin \phi} \cdot 2,718^{(\delta + \arcsin \frac{\sin \delta}{\sin \phi}) \cdot \operatorname{tg} \phi}, \quad (15)$$

где F_H – сила сопротивления резанию на ноже, Н; $F_{пр}$ – сила сопротивления на горизонтальной кромке периметра, Н; $F_{рб}$ – сила сопротивления на передней



Рис. 2. Экскаватор с емкостью ковша $0,25 \text{ м}^3$ на базе трактора УМЗ-6АКЛ
Fig. 2. Excavator with a bucket capacity of $0,25 \text{ м}^3$ based on a tractor UMZ-6AKL

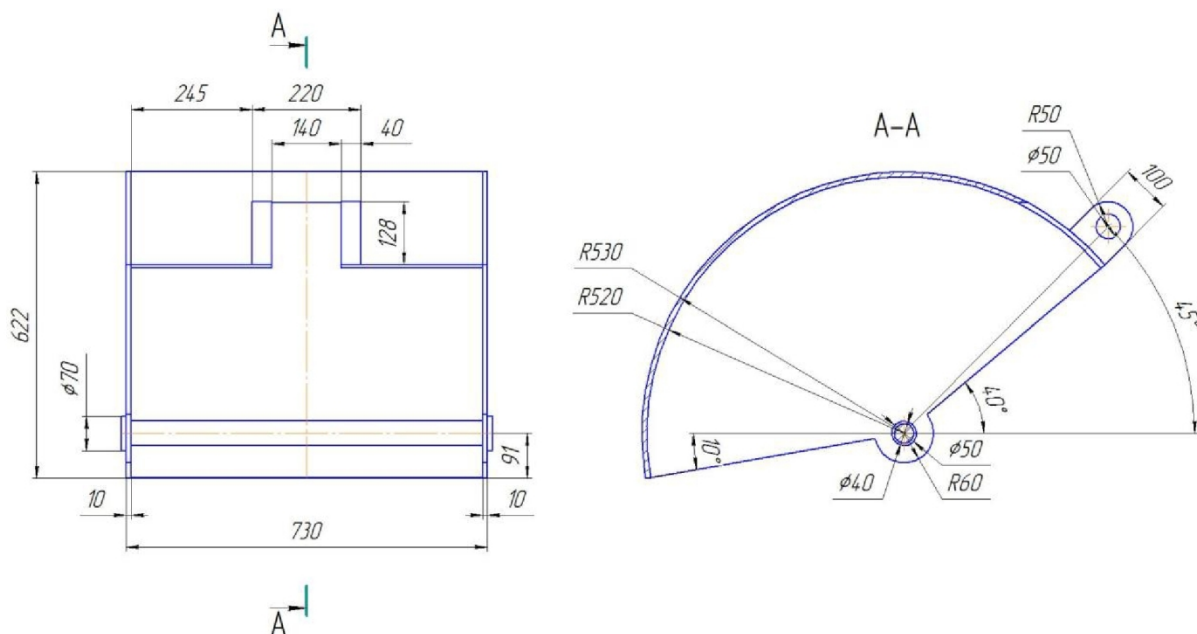


Рис. 3. Эскиз новой конструкции ковша объемом $0,25 \text{ м}^3$ устанавливаемого на экскаватор УМЗ-6АКЛ
Fig. 3. Sketch of a new design bucket with a volume of $0,25 \text{ м}^3$ installed on the excavator UMZ-6AKL

поверхности вертикальных кромок периметра, Н;
 $F_{\text{тб}}$ – сила сопротивления трению на боковых ножах,
Н; a – толщина боковой стенки ковша, м; h_p – тол-
щина резания ($h_p = l_4 - l_5$), м; ρ – плотность грунта,
 кг/м^3 ; 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 $c_\omega \approx 6116 \text{ кг/м}^2$); l_6 – ширина призмы
грунта в ковше, м; $\alpha_{\text{зт}}$ – угол затупления, град.;
 B – ширина горизонтальной кромки периметра, м;
 $h_{\text{зт}}$ – высота затупленной части, м; α_n – угол наклона
ножа к траектории движения ковша, град.; l_n – длина

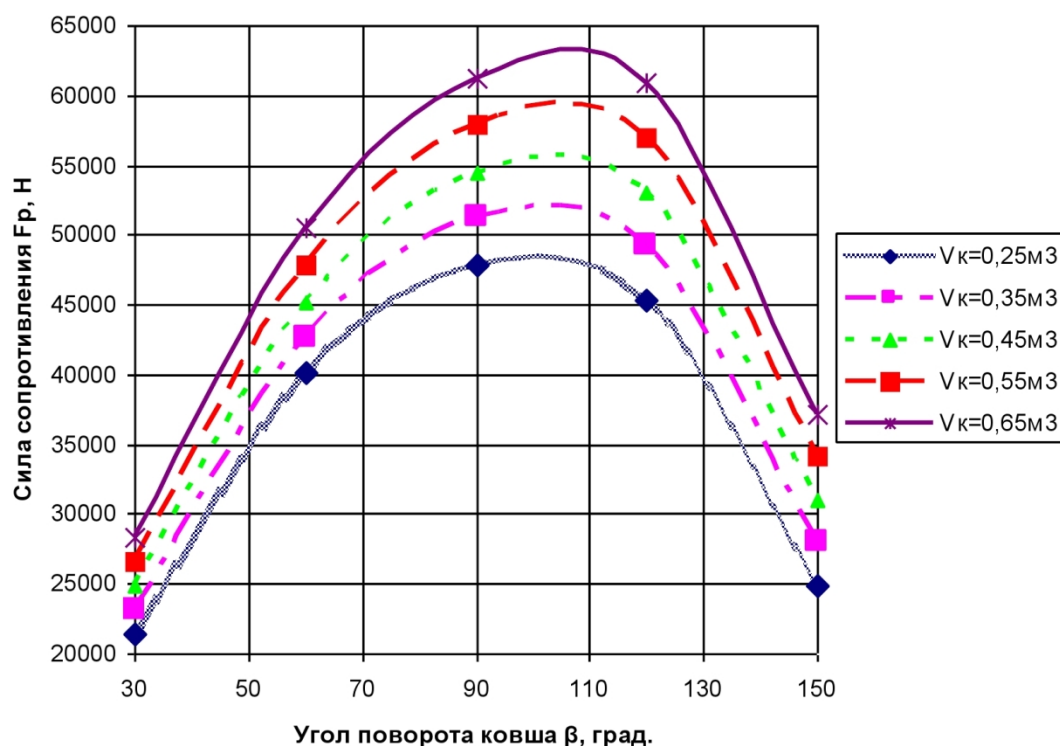


Рис. 4. Зависимости силы сопротивления F_p от угла поворота ковша β
 Fig. 4. The dependence of the resistance force F_p on the angle of rotation of the bucket β

ножа, м; g – ускорение свободного падения, м/с^2 [5, 10].

Суммарную силу сопротивления резанию F_p определим по зависимости

$$F_p = F_n + F_{p\kappa} + F_{p\delta} + F_{m\delta}. \quad (17)$$

Проанализировав приведенные выше зависимости можно сделать вывод о том, что наиболее подходящими для ковша нового типа являются исследования Баловнева В.И., так как в остальных присутствуют эмпирические коэффициенты полученные на стандартном оборудовании.

Проведем расчет сил сопротивления для экскаватора с емкостью ковша $0,25 \text{ м}^3$ на базе трактора ЮМЗ-6АКЛ (рис. 2).

На основании проведенных замеров рабочего оборудования экскаватора был построен эскиз конструкции нового ковша объемом $0,25 \text{ м}^3$ (рис. 3) для его установки на экскаватор ЮМЗ-6АКЛ. Угол поворота β ковша представленного на рис. 3 равен 0° , поворота ковша осуществляется против часовой стрелки.

При расчете были приняты следующие допущения: 1) расчет проводится для грунтов IV категории; 2) вырезаемая ковшом призма грунта не изменяет форму, так как коэффициент разрыхления грунта стремится к 0; 3) при расчете не учитывается сила тяжести рукояти, так как процесс копания поворотом ковша менее энергозатратный; 4) осуществляется копание горизонтальной поверхности грунта.

Исследовав новую конструкцию ковша были сделаны выводы. Угол α_n также называют углом наклона ножа соответственно к траектории его перемещения. В ковше новой конструкции форма ножа будет совпадать с траекторией его перемещения,

следовательно $\alpha_n=0$. Отсутствие заострения края стенки с целью образования ножа обусловлено большими контактными давлениями при взаимодействии с материалом, что может привести к быстрому износу горизонтальной режущей части. Угол затупления $\alpha_{\text{зт}}$ принимается равным 90° [11, 12, 13, 14].

Определим значения сил сопротивления резанию для ковшей новой конструкции объемом $0,25 \text{ м}^3$, $0,35 \text{ м}^3$, $0,45 \text{ м}^3$, $0,55 \text{ м}^3$, $0,65 \text{ м}^3$ на различных углах поворота β . Изменение объема будет осуществляться путем изменения ширины B ковша. Для поиска h_p в программном продукте Компас-3D была спроектирована конструкция нового ковша. Для проведения расчетов и построения зависимостей использовался программный продукт Microsoft Excel [15].

Неизменные исходные данные:

$\sin\varphi=0,39$; $h_{\text{зт}}=0,01 \text{ м}$; $\rho=2500 \text{ кг/м}^3$; $c_\omega=6116 \text{ кг/м}^2$; $\text{ctg}\varphi=2,36$;

$\sin\delta=0,375$; $\cos\delta=0,927$; $\text{tg}\delta=0,404531$; $\delta=0,38 \text{ рад}$;

$\alpha=0,01 \text{ м}$; $\text{tg}\varphi=0,42$.

при угле поворота $\beta=30^\circ$: $h_p=0,37 \text{ м}$; $l_\delta=0,249 \text{ м}$; $l_n=0,27 \text{ м}$

при угле поворота $\beta=60^\circ$: $h_p=0,421 \text{ м}$; $l_\delta=0,444 \text{ м}$; $l_n=0,542 \text{ м}$

при угле поворота $\beta=90^\circ$: $h_p=0,426 \text{ м}$; $l_\delta=0,52 \text{ м}$; $l_n=0,814 \text{ м}$

при угле поворота $\beta=120^\circ$: $h_p=0,396 \text{ м}$; $l_\delta=0,52 \text{ м}$; $l_n=1,086 \text{ м}$

при угле поворота $\beta=150^\circ$: $h_p=0,23 \text{ м}$; $l_\delta=0,52 \text{ м}$; $l_n=1,358 \text{ м}$

Переменные исходные данные:

для ковша объемом $V_k=0,25 \text{ м}^3$: $B=0,71 \text{ м}$;

для ковша объемом $V_k=0,35 \text{ м}^3$: $B=0,1 \text{ м}$;

для ковша объемом $V_k=0,45 \text{ м}^3$: $B=1,28 \text{ м}$;

для ковша объемом $V_k=0,55 \text{ м}^3$: $B=1,57 \text{ м}$;
для ковша объемом $V_k=0,65 \text{ м}^3$: $B=1,86 \text{ м}$.

Выполненные расчеты позволили построить зависимость суммарной силы сопротивления F_p при различных объемах ковша V_k от угла поворота ковша β (рис. 4).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Павлов В.П., Абрамов А.Н. Рекомендации по выбору параметров экскаваторных ковшей // Транспортное строительство. 1984. № 7. С. 35–36.
2. Патент 2656286 Российская Федерация, МПК E02F 3/28. Ковш экскаватора сферический / Бурый Г.Г.; заявитель и патентообладатель Бурый Г.Г.
3. Заявка 2018114378/20(022485) Российская Федерация, МПК E02F 3/40. Способ копания одноковшовым гидравлическим экскаватором и одноковшовый гидравлический экскаватор / Бурый Г.Г., Щербakov В.С.; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)».
4. Домбровский, Н.Г., Гальперин М.И. Землеройно-транспортные машины – М.: Машиностроение, 1965. – 276 с.
5. Sinclair R. Hydraulic Excavators: Quarrying & Mining Applications. London, Sinclair Publishing, 2011. 388 p.
6. 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.
7. Зеленин, А.Н. Машины для земляных работ / А.Н. Зеленин, В.И. Баловнев, И.П. Керов. – М.: Машиностроение, 1975. – 424 с.
8. Федоров Д.И. Рабочие органы землеройных машин. – М.: Машиностроение, 1990 – 360 с.
9. Ветров Ю.А. Резание грунтов землеройными машинами. – М.: Машиностроение, 1971. – 357 с.
10. Баловнев, В.И. Моделирование процессов взаимодействия со средой рабочих органов дорожно-строительных машин / В.И. Баловнев. – М.: Высшая школа, 1981. – 335 с.
11. Кузнецова В.Н., Савинкин В.В. Анализ эффективности работы одноковшового экскаватора // Вестник СибАДИ. 2014. №6. С. 26 – 33.
12. Тарасов В.Н., Коваленко М.В. Механика копания грунтов, основанная на теории предельных касательных напряжений // Строительные и дорожные машины. 2003. № 7. С.38–43.
13. 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.
14. Тарасов В.Н., Коваленко М.В. Механика копания грунтов ковшом гидравлического экскаватора // Строительные и дорожные машины. 2003. №8. С. 41–45.
15. Ананин В.Г. Результаты экспериментальных исследований и моделирования рабочего оборудования одноковшового экскаватора // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2013. № 1 (38). С. 205–213.

Gregory G. Buryy¹, C. Sc. in Engineering, Associate Professor, **Ilya K. Poteryaev**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

RESEARCH OF FORCES RESISTANCE FORCES ON A NEW STRUCTURE OF A BUCKET HYDRAULIC EXCAVATOR

Abstract: The article discusses the resistance forces arising on the new design of the excavator bucket during the cutting process. The urgency of reducing the cost of equipment excavator. The analysis of dependencies to determine the forces of resistance to cutting. A new bucket design was developed for the UMZ-6AKL excavator. Assumptions made in the calculation process. Calculations of the forces of resistance to cutting for buckets of different volume at different angles of rotation of the bucket. The dependences of the total resistance to cutting on buckets of different volumes on the angles of their rotation are constructed.

Keywords: excavator, soil, cutting, cutting resistance, digging, construction, cutting force, road machines.

Article info: received June 01, 2019

DOI: 10.26730/1816-4528-2019-2-46-51

REFERENCES

1. Pavlov V.P., Abramov A.N. Rekomendacii po vyboru parametrov jekskavator-nyh kovshej // Transportnoe stroitel'stvo. 1984. № 7. Pp. 35–36. (rus)
2. Patent 2656286 Rossijskaja Federacija, MPK E02F 3/28. Kovsh jekskavatora sfericheskij / Buryj G.G.; zajavitel' i patentoobladatel' Buryj G.G. (rus)

3. Zayavka 2018114378/20(022485) Rossijskaja Federacija, MPK E02F 3/40. Spo-sob kopanija od-nokovshovym gidravlicheskim jekskavatorom i od-nokovshovyj gidravli-cheskij jekskavator / Buryj G.G., Shherbakov V.S.; zayavitel' Federal'noe gosudarstven-noe bjudzhetnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya «Sibirskij gosudarstvennyj avtomobil'no-dorozhnyj universitet (SibADI)». (rus)
4. Dombrovskij, N.G., Gal'perin M.I. Zemlerojno-transportnye mashiny – M.: Mashinostroenie, 1965. – 276 p. (rus)
5. Sinclair R. Hydraulic Excavators: Quarrying & Mining Applications. London, Sin-clair Publishing, 2011. 388 p. (rus)
6. Zelenin A.N., Pavlov V.P., Agaronik M.Ja., Korolev A.V., Perlov A.S. Issledovanie razrabotki grunta gidravlichesкими jekskavatorami // Stroitel'nye i dorozhnye mashiny. 1976. № 10. Pp. 9 – 11. (rus)
7. Zelenin, A.N. Mashiny dlja zemljanyh rabot / A.N. Zelenin, V.I. Balovnev, I.P. Kerov. – M.: Mashinostroenie, 1975. – 424 p. (rus)
8. Fedorov D.I. Rabochie organy zemlerojnyh mashin. – M.: Mashinostroenie, 1990 – 360 p. (rus)
9. Vetrov Ju.A. Rezanie gruntov zemlerojnymi mashinami. – M.: Mashinostroe-nie, 1971. – 357 p. (rus)

Библиографическое описание статьи

Бурый Г.Г., Потеряев И.К., Скобелев С.Б., Ковалевский В.Ф. Исследование сил сопротивления резанию на новой конструкции ковша гидравлического экскаватора // Горное оборудование и электромеханика — 2019. — № 2 (142). — С. 46-51.

10. Balovnev, V.I. Modelirovanie processov vzai-modejstvija so sredoj rabochih organov dorozhno-stroitel'nyh mashin / V.I. Balovnev. – M.: Vysshaja shkola, 1981. – 335 p. (rus)
11. Kuznecova V.N., Savinkin V.V. Analiz jeffektivnosti raboty odnokovshovogo jekskavatora // Vestnik SibADI. 2014. № 6. S. 26 – 33. (rus)
12. Tarasov V.N., Kovalenko M.V. Mehanika ko-panija gruntov, osnovannaja na teorii predel'nyh ka-satel'nyh naprjazhenij // Stroitel'nye i dorozhnye mashiny. 2003. № 7. Pp. 38–43. (rus)
13. Kuznecova V.N., Savinkin V.V. Obespechenie jenergojeffektivnosti razrabotki grunta za schet optimi-zacii uglov pozicionirovaniya rabocheho oborudovaniya jekskavatora // Stroitel'nye i dorozhnye mashiny. 2015. № 3. Pp. 44–47. (rus)
14. Tarasov V.N., Kovalenko M.V. Mehanika ko-panija gruntov kovshom gidravli-cheskogo jekskavatora // Stroitel'nye i dorozhnye mashiny. 2003. № 8. Pp. 41–45. (rus)
15. Ananin V.G. Rezul'taty jeksperimental'nyh issle-dovaniy i modelirovaniya rabocheho oborudovaniya od-nokovshovogo jekskavatora // Vestnik Tomskogo gosudarstven-nogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. 2013. № 1 (38). Pp. 205–213. (rus)

Reference to article

Buryj G.G., Poteryaev I.K., Skobelew S.B., Kovalev-skiy V.F. Research of forces resistance forces on a new structure of a bucket hydraulic excavator. Mining Equipment and Electromechanics, 2019, no. 2 (142), pp. 46-51.