

УДК 62 (075.8)

О. В. Бурлаченко, А. Р. Рисунов, Е. Д. Соболева, А. Д. Воробьева

Волгоградский государственный технический университет

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ МОДЕРНИЗАЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ, ПОВЫШАЮЩИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН, НА ПРИМЕРЕ ЭКСКАВАТОРА

Целью исследования является поиск методов повышения эксплуатационных характеристик и производительности экскаватора путем модернизации основного рабочего оборудования. Экскаваторы являются одними из самых востребованных видов строительной техники, узлы которых в значительной мере подвержены динамическим нагрузкам. Численные и экспериментальные модели в большинстве случаев не учитывают влияние эксплуатационных нагрузок на характеристики конструкции. В исследовании проведен анализ данных, полученных в ходе эксплуатации экскаватора с базовой версией механизма.

Ключевые слова: категория грунта, объем работ, рабочее оборудование, объем ковша экскаватора, безотказность, стоимость, срок эксплуатации, цикл работы, ремонтпригодность.

Введение

Одной из актуальных задач строительной отрасли является оптимизация проведения строительно-монтажных работ, в т. ч. нахождение решений, исключающих лишние материальные затраты и уменьшающих сроки строительства объектов. Ведущие строительные машины выполняют самые трудоемкие операции, и их производительность оказывает непосредственное влияние на продолжительность и стоимость проведения работ [1—5].

В случае сложных конструкций правильная и достаточная идентификация их полных характеристик до сих пор не была системной. С развитием математических численных методов и появлением мощных компьютеров исследования в этом направлении вышли на новый уровень [6]. По сей день надежным методом определения различных характеристик является эксперимент. Его результаты дают полную информацию о машине, но уже как об эксплуатируемом объекте.

Основная часть

Работе экскаватора свойственны значительные колебания усилий выемки грунта [5]. Кроме того, генерируются вибрации транспортируемым материалом, ударяющимся о шкивы и точки выгрузки, в приводах [7] и конвейерах [8].

При выборе экскаватора следует учитывать, что объем работ, геотехнические характеристики и природно-климатические условия ведения строительства оказывают влияние на стоимость и сроки его проведения. Не всегда можно найти оптимальное соотношение данных факторов. Проблема возникает и в том, что не все геологические характеристики местности проведения работ принимаются в расчет при вариантном проектировании и выборе средств механизации и при разработке мероприятий поддержки их работоспособности. Это влечет за собой дополнительные затраты на ремонт, прогнозируемые простои рабочих машин и персонала [8, 9].

Совершенствование элементов машин, в том числе экскаваторов, возможно при понимании физической сущности взаимосвязи характеристик грунта и цикла работы конкретного элемента машины. Это влияет на возможность нахождения зависимостей изменяемых эксплуатационных характеристик машин с целью дальнейшего их совершенствования и оптимизации формы и материала [10, 11].

Исследование заключалось в подборе оптимальной конструкции рабочего оборудования, позволяющей увеличить производительность и уменьшить затраты на ремонт строительной машины, что влияет на сроки строительства и общую его стоимость.

В качестве основного объекта исследования выбран экскаватор серии ЭО модели 2626 из-за универсальности, большой проходимости благодаря гусеничной базе, наличия обратной лопаты, что позволяет вести работы с кромки котлованов. Выбранная модель способна вести работы в местности с грунтами 1—4 категорий, разрабатывать грунты с бровки котлована, что позволяет вести разработку траншей и других выемок [12—16].

Основным достоинством конструкции является способность разрабатывать траншеи, котлованы и других выемки ниже стоянки самого экскаватора с учетом обратного направления. Строительная машина снабжена полностью вращающимися ковшами. Рабочее оборудование состоит из ряда элементов: ковш, стрела, опоры, отвал. Оно приводится в движение благодаря работе гидравлической системы [17].

Четырехзвенные с 2 гидроцилиндрами шарнирно-рычажные системы приводят в движение рабочие органы по вертикальной оси. Перемещение основного рабочего органа производится при помощи 1-го гидроцилиндра. Передвижение базы производится гидромотором. Емкостью управляет гидроцилиндр через спаренные кривошипно-шатунные механизмы, открывающие и закрывающие емкости [18—21].

После набора грунта ковшом поднимают стрелу и разворачивают базу, затем рукоять опрокидывают, и грунт помещается либо в отвал, либо в грузовой транспорт. По завершении погрузочно-разгрузочного цикла механизмы занимают исходное положение для продолжения работы. Для минимизации цикла работы экскаватора пустой ковш возвращается одновременно с возвратом стрелы в исходное положение и поворотом базы на исходную позицию [22].

Характеристики выбранной модели представлены в табл. 1.

Рабочий орган (рис. 1) разрабатывается с закругленным дном в 2 модификациях:

- с наличием режущей зубчатой кромки — для разработки траншей;
- с наличием полуоткрытой кромки без зубьев — для земляных работ в стандартных условиях.

Для исследования принята модель рабочего органа с наличием режущей зубчатой кромки. **Целью** являлось совершенствование данной модели путем изменения геометрических параметров расположения зубьев [14].

Размеры рабочего элемента определяются по формуле:

$$q = CBH\alpha, \quad (1)$$

где $C = 0,69$; q — вместимость ковша обратной лопаты, м^3 ; B — ширина хода, м; H — высота копания, м.

Т а б л и ц а 1

Технические данные модели

Параметр	Значение
Мощность двигателя, кВт	60
Емкость ковша, м ³	0,5
Давление в гидросистеме, МПа	20
Тип насоса	Аксиально-поршневой
Глубина копания обратной лопаты, м	4,1
Высота выгрузки обратной лопаты наибольшая, м	4
Радиус выгрузки обратной лопаты наибольший, м	5,4
Продолжительность рабочего цикла при копании обратной лопаты, с	25
Габариты в транспортном положении обратная лопата, мм:	
длина	810
ширина	2000
высота	780
Масса экскаватора, т	5,950
Максимальное усилие резания ковша, кг	3500

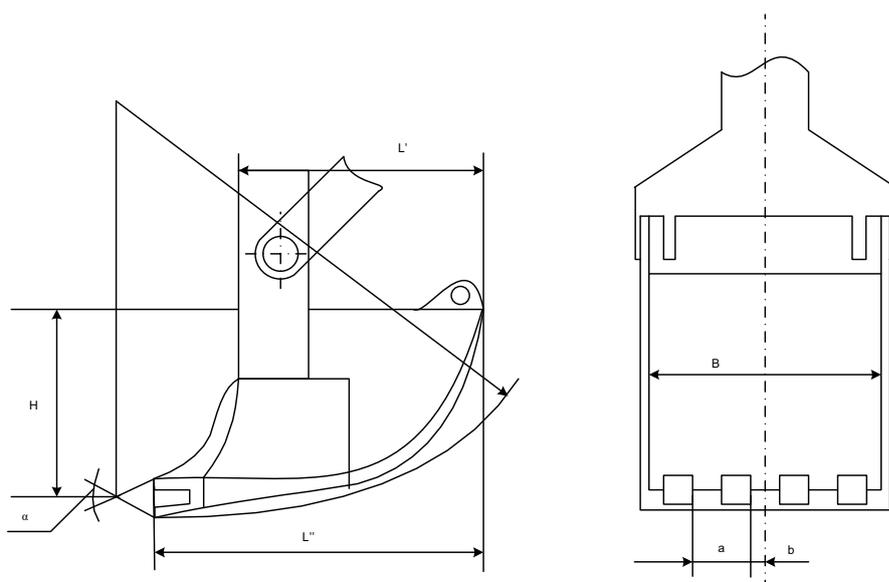


Рис. 1. Схема рабочего элемента

При этом:

$$B = 1,2\sqrt{q} = 1,2\sqrt{0,6} = 0,98 \text{ м,}$$

$$H = 0,9\sqrt{q} = 0,9\sqrt{0,6} = 0,74 \text{ м,}$$

$$R = 1,6\sqrt{q} = 1,6\sqrt{0,6} = 1,30 \text{ м,}$$

$$L' = 1,15\sqrt{q} = 1,15\sqrt{0,6} = 0,94 \text{ м,}$$

$$L^* = 1,55\sqrt{q} = 1,55\sqrt{0,6} = 1,27 \text{ м.}$$

Масса самого элемента с учетом его планировочной проектной емкости определяется по формуле, Нм:

$$G_1 = 1,3q = 1,3 \cdot 0,6 = 0,78, \quad (2)$$

здесь G_1 — масса узлов на базе объекта.

Геометрические характеристики рабочего органа должны отвечать требованиям сопротивления грунта конкретной местности. Для минимизации истирания боковых кромок в процессе работы зубья проектируют в уровень боковых граней органа. Ширина зубьев, м, определяется по формуле:

$$b = 0,11\sqrt{q} = 0,11\sqrt{0,6} = 0,9. \quad (3)$$

С целью минимизации нагрузки на основную часть ковша принимаем шаг зубьев, равный:

$$a = 2,5 — 3 \text{ см},$$

$$b = 2,5 — 3 \text{ см},$$

$$0,9b = 250 — 270 \text{ мм}.$$

На основании расчетного шага количество зубьев на оборудовании составит $n = 4$.

Нагрузки и усилия, приходящиеся на шарнир рабочего органа, определяются по графику усилий. В масштабе 1:1000 откладывается вектор усилий R в зависимости от своей величины. От конца вектора откладываются нагрузки от собственного веса и нагрузки от грунта, наполняющего рабочее оборудование:

$$G_{к+г} = g_k + \frac{g_r}{k-1}(n-1), \quad (4)$$

где g_k — вес рабочего органа, составляющий 360 кгс; $g_r = 0...1000$ — величина массы грунта в наполненном органе, кгс; k — число точек перемещения рабочего органа; n — точка исследуемого расположения органа.

Таким образом:

$$G_{к+г} = 360 + \frac{g_r}{k-1}(n-1). \quad (5)$$

Далее откладывается вектор усилий подъема стрелы. Затем откладывается вектор усилия в пружине. Он равен по направлению вектору усилия в органе. Все это будет составлять график усилий.

Значения усилий с помощью графика можно получить, умножая величины вектора усилий на 1000 кН. Результаты расчетов значений усилий приведены в табл. 2.

Рассчитаем оптимальные геометрические характеристики ковша по дну. Для этого примем усилие резания, действующего на дно органа, равным 3569 кН·м. На рисунке 2 приведена схема дна органа.

Таблица 2

Усилия в шарнире рабочего органа экскаватора
 при $k = 8 - 1 = 7$ и масштабе в 1 см — 1000 кН

Расчетное положение	R_r , кН	n	k/n	$\frac{k}{n} g_r$, кН	$G_{p\sigma} = 360 \frac{k}{n} g_r$, кН	S_r , кН	$S'_{шк}$, см	$S_{шк}$, кН
1	3600	0	—	—	—	11900	12,2	12200
2	4560	1	1/7	143	503	15200	16,5	16500
3	5720	2	2/7	286	646	19500	22,7	22700
4	6220	3	3/7	428	788	21600	26,4	26400
5	6130	4	4/7	572	938	21700	27,5	27500
6	5680	5	5/7	715	1075	20700	26,6	26600
7	4870	6	6/7	857	1217	18800	24,9	24900
8	3190	7	1	1000	1360	13750	18,4	18400

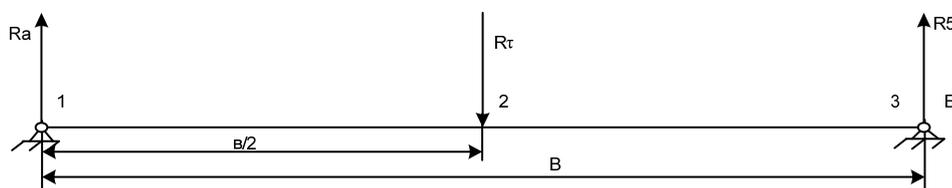


Рис. 2. Принятая расчетная схема

$$R_m = R_b = \frac{3596}{2} = 1784,5 \text{ кН},$$

где R_m — максимальный радиус копания, м; R_b — радиус на уровне выгрузки для обратной лопаты, м.

Величина мощности, используемой при горизонтальном и вертикальном перемещениях самой стрелы, определяется методом динамического момента, где система должна преодолеть инерцию при повороте [9]. Максимальный изгибающий момент, кН·м:

$$M = R_A \frac{B}{2},$$

$$M = 1784,5 \cdot \frac{98}{2} = 87440,5. \quad (6)$$

На рисунке 3 приведен разрез рабочего органа по нижней грани.

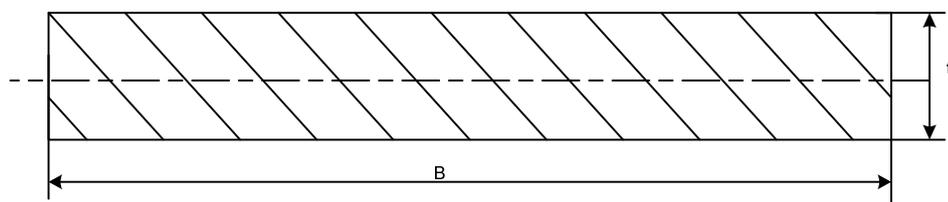


Рис. 3. Схема сечения нижней грани

Расчетное напряжение, МПа, в т. ч.:
главное напряжение

$$\sigma = \frac{M}{W_x} \leq [\sigma], \quad (7)$$

касательное напряжение

$$t = \sqrt{\frac{6 \cdot 87440,5}{98 \cdot 1800}} = 1,72. \quad (8)$$

Выводы

Разработка методов проектирования рабочих органов строительных машин с оптимизацией их геометрических параметров является значительным резервом конструирования более надежных и высокопроизводительных машин и механизмов.

На основе полученных данных по эксплуатации экскаватора проведен анализ произведенной модернизации. Выведены оптимальные геометрические параметры ковша одноковшового экскаватора ЭО-2626, повышающие его производительность на 7,72 %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Решетов Д. Н., Иванов А. С., Фадеев В. З. Надежность машин : учеб. пособие для машиностроительных специальностей вузов. М. : Высшая школа, 1988. 238 с.
2. Бурлаченко О. В., Иванов М. В. Требования к очистке деталей машин в связи с износоустойчивостью // Актуальные проблемы строительства, ЖКХ и техносферной безопасности : материалы VI Всероссийской (с междунар. участием) науч.-техн. конф. молодых исследователей. Волгоград : Изд-во ВолГТУ, 2019. С. 136—137.
3. Базров Б. М. Основы технологии машиностроения : учебник. М. : Инфра-М, 2019. 492 с.
4. Система предупреждения разрушения рукавов высокого давления гидропривода дорожно-строительных машин / Н. А. Фоменко, О. В. Бурлаченко, С. А. Чебанова, В. Г. Поляков, А. А. Ляшенко, Машхадани Хумам Ахмед Дияб Ал // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2022. Вып. 1(86). С. 175—183.
5. Оганесян О. В., Бурлаченко О. В., Абрамян С. Г. Информационные (цифровые) технологии в машиноведении // The Scientific Heritage. 2020. Vol. 1. No. 57. Pp. 20—24.
6. Клепиков В. В., Схиртладзе А. Г., Солдатов В. Ф. Основы технологии машиностроения : учебник. М. : Инфра-М, 2018. 224 с.
7. Belyaev A., Gordienko V., Druzhinin P., Evtukov S. Mathematical model for selecting the best technology for restoring road construction machines // E3S Web of Conferences. 2020. DOI: 10.1051/e3sconf/202016403044.
8. Бурлаченко О. В., Ляшенко А. А., Иванов М. В. Математическое обеспечение работоспособного состояния машин и механизмов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2017. Вып. 49(60). С. 43—52.
9. Фоменко Н. А., Бурлаченко О. В. Мобильная распылительная система на базе грузоподъемного транспортного средства // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2020. Вып. 2(79). С. 119—125.
10. Фоменко Н. А., Бурлаченко О. В., Фетисов Ю. М. Гидравлический привод рабочих органов дорожно-строительных машин // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2019. Вып. 4(77). С. 136—145.

11. *Логинов Е. В., Масальский С. С.* Исследование технических характеристик серийно выпускаемых моделей выемочно-погрузочного оборудования разных типов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. 2023. Т. 21. № 1. С. 15—23.
12. *Галушко М. В., Баландин С. Н.* Инновационное машиностроение как фактор развития импортозамещения // Наука России: Цели и задачи : сборник научных трудов по материалам XVI международной науч. конф. Екатеринбург : НИЦ «Л-Журнал», 2019. С. 11—14.
13. *Иванов А. В., Фурманов Д. В.* Навесная дорожная фреза на экскаватор и экскаватор-погрузчик // 73-я Всероссийская науч.-техн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов высших учебных заведений с международным участием : сб. материалов конф. В 2 ч. Ярославль : ЯрГТУ, 2020. С. 423—426.
14. *Litvin O., Litvin Y.* Evaluation of Effect of the Excavator Cycle Duration on its Productivity // E3S Web of Conferences. 2020. DOI: 174.01010.10.1051/e3sconf/202017401010.
15. *Бурлаченко О. В., Алексиков С. В., Фоменко Н. А.* Повышение эффективности защиты гидропривода строительно-дорожных машин // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2016. Вып. 45(64). С. 76—85.
16. *Бахмет И. В.* Транспортно-технологический сервис по оптимизации системы «экскаватор — транспортные средства» // Развитие дорожно-транспортного комплекса и строительной инфраструктуры на основе рационального природопользования : Материалы VII Всероссийской науч.-практ. конф. ФГБОУ ВПО «СибАДИ» (с международным участием). Омск : СибАДИ, 2012. С. 174—178.
17. *Никифоров А. Д.* Современные проблемы науки в области технологии машиностроения. М. : Высшая школа, 2006. 392 с.
18. *Almataev N., Toychiev Kh., Turgunaliyev E., Ulkanov S.* Improvement of physical and mechanical properties of plastic parts used in machine building // Universum : технические науки. 2021. No. 3—4(84). Pp. 52—55.
19. *Botyan E., Pushkarev A.* Improving the methodology of choosing machinery models for the formation of an excavator and vehicle fleet during the modernization of a mining transport system, with account for the Arctic specifics // Transportation Research Procedia. 2021. Vol. 57. DOI: 10.1016/j.trpro.2021.09.031.
20. *Li Yu., Mu X., Rujun F.* Multi-objective optimization and simulation of novel working mechanism for face-shovel excavator // International Journal of Intelligent Robotics and Applications. 2021. No. 5. DOI: 10.1007/s41315-020-00160-1.
21. *Safiullin R., Fedotov V., Marusin A.* Method to evaluate performance of measurement equipment in automated vehicle traffic control systems // Transportation Research Procedia. 2020. No. 50. Pp. 20—27.
22. *Lukashuk O., Komissarov A., Letnev K.* Increasing power efficiency of open-pit excavators // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. DOI: 709.022083.10.1088/1757-899X/709/2/022083.

© Бурлаченко О. В., Рисунов А. Р., Соболева Е. Д., Воробьева А. Д., 2023

Поступила в редакцию
в апреле 2023 г.

Ссылка для цитирования:

Бурлаченко О. В., Рисунов А. Р., Соболева Е. Д., Воробьева А. Д. Технологические решения модернизации оборудования, повышающие эксплуатационные показатели строительных машин, на примере экскаватора // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Вып. 2(91). С. 99—106.

Об авторах:

Бурлаченко Олег Васильевич — д-р техн. наук, проф., зав. каф. технологий строительного производства, зам. директора по научной работе, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; ORCID: 0000-0003-1477-2709; burlachenkoov@vgasu.ru

Рисунов Андрей Романович — аспирант каф. технологий строительного производства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ); Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; andrey.risunov@mail.ru

Соболева Екатерина Дмитриевна — аспирант каф. технологий строительного производства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; eka11.97@mail.ru

Воробьева Анна Дмитриевна — студентка, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; nowdawn3@mail.ru

Oleg V. Burlachenko, Andrey R. Risunov, Ekaterina D. Soboleva, Anna D. Vorobeva

Volgograd State Technical University

TECHNOLOGICAL SOLUTIONS FOR MODERNIZATION EQUIPMENT THAT INCREASES OPERATIONAL INDICATORS OF CONSTRUCTION MACHINES ON THE EXAMPLE OF AN EXCAVATOR

The purpose of the study is to consider improving the operational characteristics and productivity of the excavator by upgrading the main equipment. Excavators are one of the most popular types of construction equipment, the components of which are largely subject to dynamic loads. Numerical and experimental models in most cases did not take into account the impact of the operational load on the design characteristics.

Key words: excavation, excavator, soil category, scope of work, working equipment, excavator bucket volume, continuity of work, cost, service life, work cycle, maintainability.

For citation:

Burlachenko O. V., Risunov A. R., Soboleva E. D., Vorobeva A. D. [Technological solutions for modernization equipment that increases operational indicators of construction machines on the example of an excavator]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2023, iss. 2, pp. 99—106.

About authors:

Oleg V. Burlachenko — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; ORCID: 0000-0003-1477-2709; burlachenkoov@vgasu.ru

Andrey R. Risunov — Postgraduate student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; andrey.risunov@mail.ru

Ekaterina D. Soboleva — Postgraduate student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; eka11.97@mail.ru

Anna D. Vorobeva — Student, Volgograd State Technical University (VSTU), 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; nowdawn3@mail.ru