

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНОЙ ВМЕСТИМОСТИ КОВША ФРОНТАЛЬНОГО ПОГРУЗЧИКА С ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМИ ПЕРЕДНИМИ ОПОРНЫМИ КОЛЕСАМИ

Нилов В.А., Жулай В.А., Тюнин В.Л.

Воронежский государственный технический университет, Воронеж

Ключевые слова: фронтальный погрузчик, рабочее оборудование, вместимость ковша, продольная устойчивость, нагрузки на ходовое оборудование, циркуляция мощности.

Аннотация. Рассмотрены вопросы увеличения производительности фронтального погрузчика при разработке сыпучих материалов с выравниванием вертикальных нагрузок на его ведущие мосты. На этой основе показана практическая возможность исключения условий возникновения паразитной мощности в трансмиссии погрузчика. Предложено запатентованное новое конструктивное решение для фронтального погрузчика, обеспечивающее увеличение его производительности. Ковш рациональной вместимости для фронтального погрузчика позволяет существенно увеличить его производительность, а в сочетании с запатентованной конструкцией передних опорных колес практически уменьшить нагрузки, как на сами ведущие колеса, так и на трансмиссию погрузчика. Новый фронтальный погрузчик имеет ковш увеличенной вместимости, опорные гидроцилиндры, установленные на раме между передними колесами и ковшом, опорные гидроцилиндры жестко присоединены к раме и к их штокам присоединены опорные колеса. Конструкция нового погрузчика позволяет управлять вертикальными нагрузками на мосты груженого погрузчика, обеспечивая не только их равенство, но и уменьшая их величину, что практически исключает проявление циркуляции паразитной мощности и уменьшает износ элементов трансмиссии. В целом выполненные исследования позволяют рассчитать рациональную вместимость ковша фронтального погрузчика при существенном увеличении его производительности и уменьшении затрат на ремонт.

ON THE ISSUE OF DETERMINING THE RATIONAL BUCKET CAPACITY OF A FRONT LOADER WITH ADDITIONAL FRONT SUPPORT WHEELS

Nilov V.A., Zhulai V.A., Tyunin V.L.

Voronezh State Technical University, Voronezh

Keywords: front loader, working equipment, bucket capacity, longitudinal stability, loads on running equipment, power circulation.

Abstract. The issues of increasing the productivity of a front loader in the development of bulk materials with the alignment of vertical loads on its drive axles are considered. On this basis, the practical possibility of eliminating the conditions for the occurrence of parasitic power in the loader transmission is shown. A patented new design solution for a front loader has been proposed, providing an increase in its productivity. A bucket with a rational capacity for a front loader allows you to significantly increase its productivity, and in combination with the patented design of the front support wheels, practically reduce the load on both the drive wheels themselves and the loader's transmission. The new front loader has an increased capacity bucket, support hydraulic cylinders mounted on the frame between the front wheels and the bucket, support hydraulic cylinders are rigidly attached to the frame and support wheels are attached to their rods. The design of the new loader allows you to control vertical loads on the axles of a loaded loader, ensuring not only their equality, but also reducing their magnitude, which practically eliminates the manifestation of parasitic power circulation and reduces the wear of transmission elements. In general, the studies performed make it possible to calculate the rational bucket capacity of a front loader while significantly increasing its productivity and reducing repair costs.

Введение

Фронтальные погрузчики получили очень широкое распространение в строительстве благодаря своей мобильности, высокой маневренности, большой грузоподъемности и производительности (рис. 1). Они применяются для выполнения погрузки-разгрузки и транспортировки сыпучих материалов, кусковых и штучных грузов на небольшие расстояния.

В нашей стране и в мире интенсивно ведутся опытно-конструкторские и научно-исследовательские работы по модернизации и созданию новых конструкций фронтальных погрузчиков [1-10].

На кафедре Строительной техники и инженерной механики имени профессора Н.А. Ульянова Воронежского государственного технического университета разработано и запатентовано устройство [9], обеспечивающее существенное увеличение продольной устойчивости фронтального погрузчика за счет установки дополнительных опорных колес и выравнивание вертикальных нагрузок на его мосты. Это устройство (рис. 2) включает погрузчик 1 с рамой 2 и передними колесами 3, рычажное оборудование 4 с ковшем 5, опорные гидроцилиндры 6 установленные на раме 2 между передними колесами 3 и ковшем 5, корпуса 7 опорных гидроцилиндров 6 жестко присоединены к раме 2, к штокам 8 опорных гидроцилиндров 6 присоединены опорные колеса 9.



Рис. 1. Фронтальный погрузчик

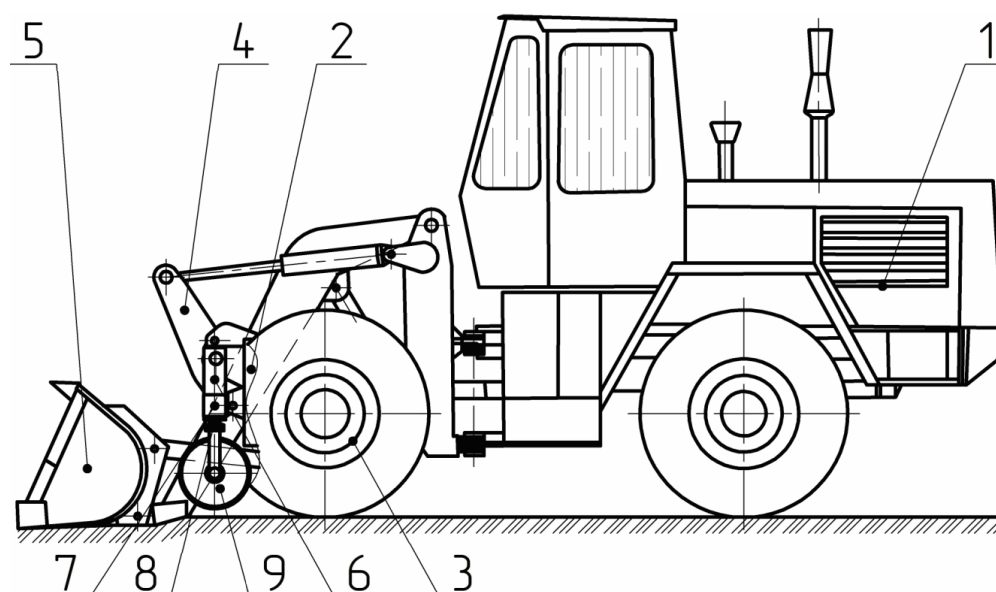


Рис. 2. Конструкция устройства для выравнивания вертикальных нагрузок на мосты фронтального погрузчика

Материалы и методы исследований

Установка дополнительных опорных колес 9 (рис. 2) практически исключает опрокидывание фронтального погрузчика JCB 456 ZX со стандартным груженым ковшом и обеспечивает выравнивание вертикальных нагрузок на его ведущие мосты, существенно уменьшая циркуляцию паразитной мощности в трансмиссии. На рисунке 3 приведены графические зависимости, отражающие влияние дополнительных опорных колес фронтального погрузчика на выравнивание вертикальных нагрузок на его мосты при перемещении по забою с груженым ковшом.

Рекомендуемые значения вертикальных нагрузок на дополнительные опорные колеса серийного груженого погрузчика JCB 456 ZX (рис. 2) с ковшом вместимостью $3,5 \text{ м}^3$ составляют: 60,0...75,5...86,5 кН и обеспечивают соотношение R_1/R_2 в пределах: 1,3...0,8.

Кроме этого, установка дополнительных опорных колес (рис. 2) существенно увеличивает продольную устойчивость фронтального погрузчика с груженым ковшом за счет увеличения его продольной базы, что позволяет увеличить вместимость его ковша и рассчитывать её из условия равенства вертикальных нагрузок на ведущие мосты фронтального погрузчика ковшом. При этом следует отметить, что дополнительные опорные колеса разгружают ведущие мосты фронтального погрузчика (рис. 3), что благотворно сказывается на износе его трансмиссии.

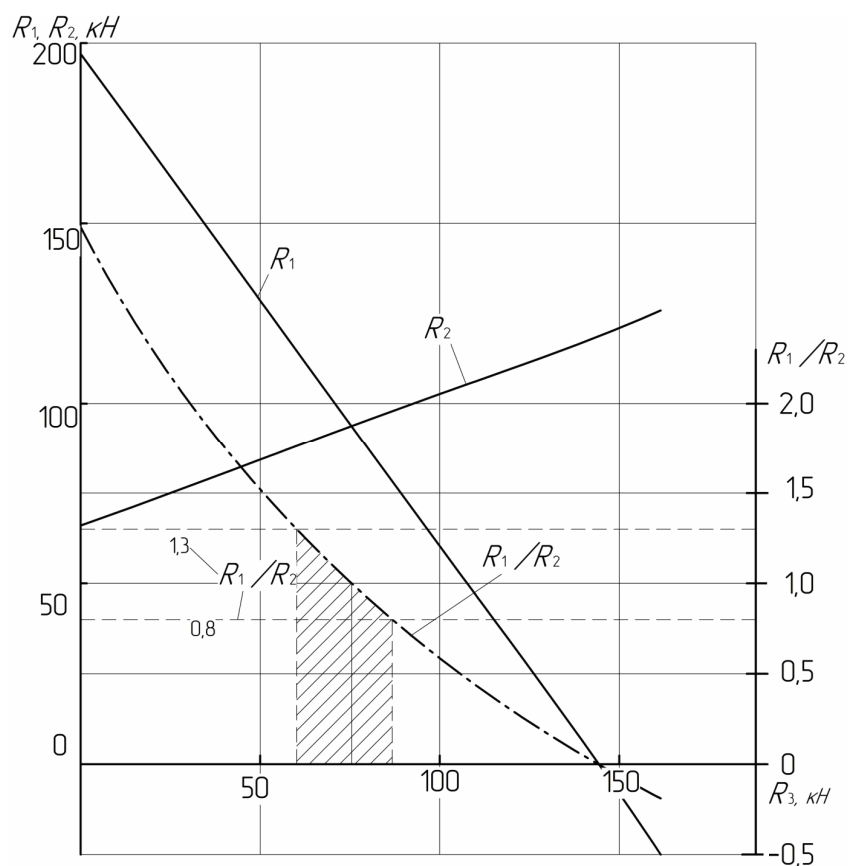


Рис. 3. Влияние дополнительных опорных колес на выравнивание вертикальных нагрузок на мосты груженого фронтального погрузчика: R_1 – вертикальная нагрузка на колеса переднего моста; R_2 – вертикальная нагрузка на колеса заднего моста

Перемещение серийного фронтального погрузчика JCB 456 ZX с порожним ковшем в забое происходит с небольшой разницей в вертикальном нагружении ($R_1 = 92,6$ кН; $R_2 = 111$ кН) и их соотношение составляет $R_1/R_2 = 0,834$. Это неравенство можно исключить путем увеличения вместимости ковша погрузчика (а значит и его производительности) и одновременно добиться ликвидации паразитной мощности и в этой фазе рабочего цикла погрузчика.

Расчет параметров нового ковша погрузчика (рис. 4) необходимо выполнять из условия одинаковых вертикальных нагрузок на его мосты при порожнем ковше.

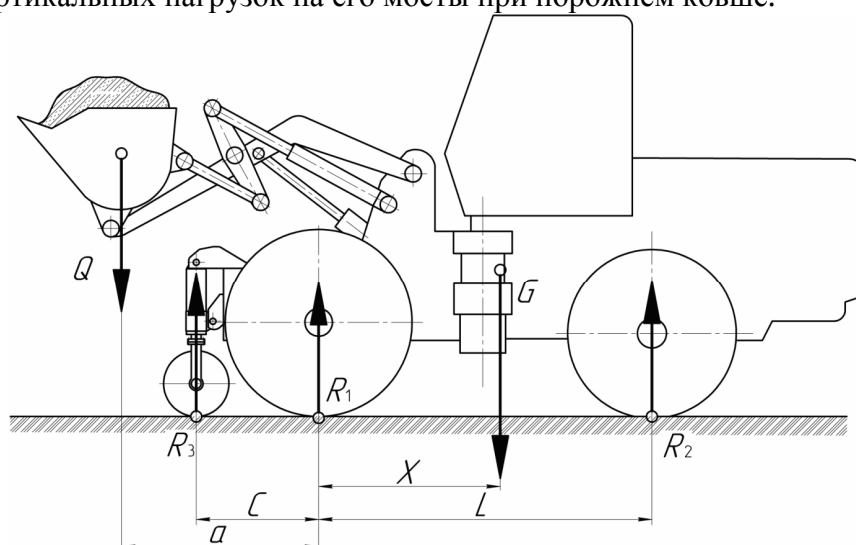


Рис. 4. Расчетная схема фронтального погрузчика: R_3 – вертикальная нагрузка на дополнительные опорные колеса; G – вес погрузчика вместе с рабочим оборудованием; Q – вес материала в ковше; a, x, c – плечи соответствующих сил; l – расстояние между опорными колесами

Последовательность расчета рациональной вместимости нового ковша фронтального погрузчика

1. Рассчитать допускаемое приращение веса нового ковша из условия равенства вертикальных нагрузок на мосты погрузчика при порожнем ковше. При этом опрокидывание погрузчика даже с грузом исключено из-за наличия дополнительных опорных колес.
2. Определить вместимость нового ковша из допускаемого приращения его веса.
3. Рассчитать вес нового ковша с грунтом и вес грунта в нем.
4. Проверить устойчивость погрузчика с новым увеличенным груженым ковшом.
5. Для погрузчика с новым груженым ковшом увеличенной вместимости, пользуясь графиком на рисунке 3, определить вертикальную нагрузку на дополнительные опорные колеса R_3 , которая обеспечивает рациональное соотношение R_1/R_2 , близкое к 1,0.

Результаты

Пример расчета возможного увеличения вместимости ковша фронтального погрузчика JCB 456 ZX.

1. Условие равенства вертикальных нагрузок на мосты нового порожнего погрузчика: передний мост – $R_1 = 92,6$ кН; задний мост – $R_2 = 111$ кН; R_1^1 – вертикальная нагрузка на каждый мост порожнего погрузчика с новым ковшом

$$(R_1 + R_2) \cdot 0,5 = (92,6 + 111) \cdot 0,5 = 101,8 \text{ кН} = R_1^1. \quad (1)$$

Допускаемое приращение ΔG_K веса G_K нового ковша равно

$$\Delta G_K = (R_1^1 - R_1) = (101,8 - 92,6) = 9,2 \text{ кН}. \quad (2)$$

2. Соответствующее приращение ΔV_K объема ковша V_K с учетом увеличения веса его металлоконструкций будет

$$\Delta V_K = \frac{\Delta G_K}{\rho_K} = \frac{9,2}{3,86} = 2,38 \text{ м}^3, \quad (3)$$

где ρ_K – удельный вес металлоконструкций ковша на единицу его вместимости, кН/м³, $\rho_K = 3,86$ кН/м³.

Вместимость нового ковша $V_K^{нов}$ будет равна

$$V_K^{нов} = V_K + \Delta V_K = 3,5 + 2,38 = 5,88 \text{ м}^3, \quad (4)$$

т.е. возможно увеличение вместимости ковша в 1,68 раза.

Вес нового ковша $G_K^{нов}$ составит

$$G_K^{нов} = \rho_K V_K^{нов} = 3,86 \cdot 5,88 = 22,7 \text{ кН}. \quad (5)$$

3. Вес нового ковша с грунтом $G_{K_{гр}}^{нов}$ будет равен

$$G_{K_{гр}}^{нов} = G_K^{нов} + \rho_{гр} V_K^{нов} = 22,7 + 17 \cdot 5,88 = 122,7 \text{ кН}, \quad (6)$$

где $\rho_{гр}$ – удельный грунта, кН/м³, $\rho_{гр} = 17$ кН/м³.

При этом вес материала в новом ковше будет равен

$$Q = \rho_{гр} V_K^{нов} = 17 \cdot 5,88 = 99,96 \approx 100 \text{ кН}. \quad (7)$$

А в стандартном ковше вес материала составлял $3,5 \cdot 17,0 = 59,5$ кН.

4. Проверим устойчивость погрузчика с новым увеличенным груженым ковшом: – коэффициент продольной устойчивости без опорных колес K_y равен:

$$K_y = \frac{G \cdot x}{Q \cdot a} = \frac{203,7 \cdot 2,45}{100 \cdot 2,7} = 1,85;$$

– коэффициент продольной устойчивости с опорными колесами K_y'' равен:

$$K_y'' = \frac{G \cdot (x + c)}{Q \cdot (a - c)} = \frac{203,7 \cdot (2,45 + 1,7)}{100 \cdot (2,7 - 1,7)} = 8,45.$$

Дополнительные опорные колеса существенно увеличивают грузовую устойчивость погрузчика с новым увеличенным ковшом.

5. Определение вертикальной нагрузки на дополнительные опорные колеса R_3 , которая обеспечивает рациональное соотношение R_1/R_2 , близкое к 1,0.

На рисунке 5 представлены графические зависимости влияния дополнительных опорных колес на выравнивание вертикальных нагрузок на мосты груженого фронтального погрузчика JCB 456 ZX с новым груженым ковшом.

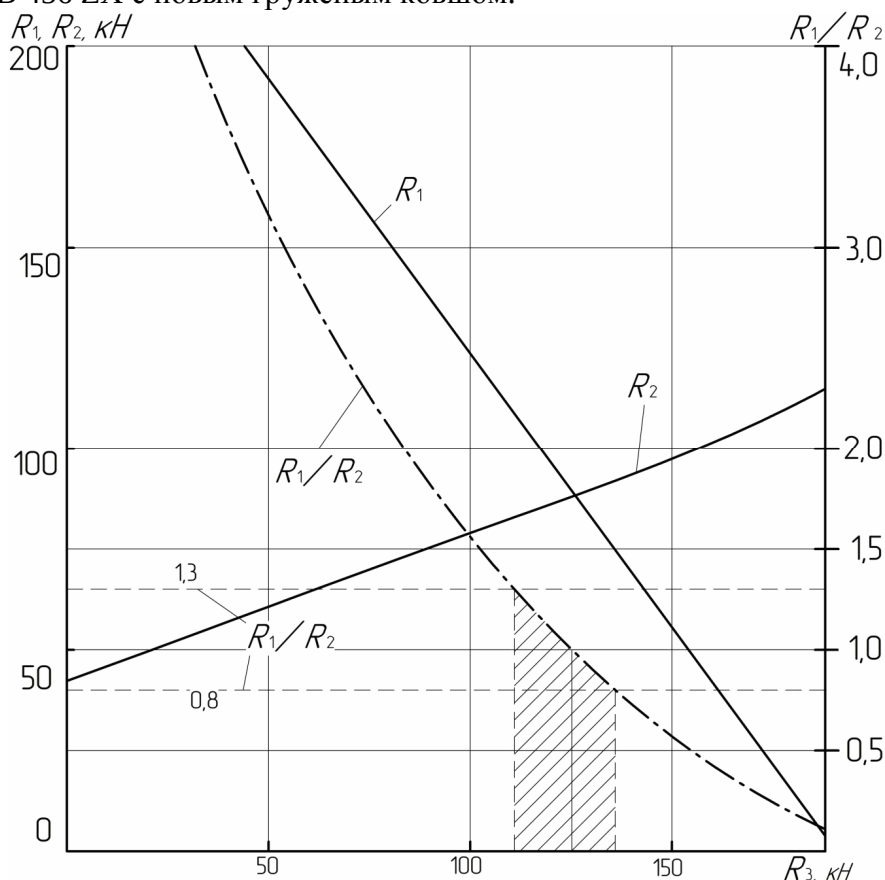


Рис. 5. Влияние дополнительных опорных колес на выравнивание вертикальных нагрузок на мосты груженого фронтального погрузчика: R_3 – вертикальная нагрузка на дополнительные опорные колеса

Как видно из представленных на рисунке 5 графических зависимостей выравнивание вертикальных нагрузок R_1 и R_2 на ведущие мосты погрузчика с груженым ковшом увеличенной вместимости ($5,88 \text{ м}^3$) можно обеспечить при относительно небольших нагрузках ($110...136 \text{ кН}$) на дополнительные опорные колеса при коэффициенте неравномерности нагружения ведущих мостов $R_1/R_2=1,3...0,8$.

В таблице 1 представлены результаты расчета основных параметров фронтального погрузчика JCB 456 ZX с новым ковшом.

Табл. 1. Параметры фронтального погрузчика с ковшом увеличенной вместимости

№	Параметр	Величина
1	Вертикальные нагрузки (равные) на мосты погрузчика, кН: – без материала, – с материалом	101,8 93,4
2	Вертикальные нагрузки на опорные колеса, кН: – без материала, – с материалом	нет 75,5
3	Приращение вместимости нового ковша, м^3	2,38
4	Вместимость ковша, м^3 : – серийного, – нового	3,5 5,88

Табл. 1. Продолжение

№	Параметр	Величина
5	Увеличение производительности:	1,68 раза
6	Условия для возникновения паразитной мощности в трансмиссии погрузчика: – ковш порожний, – ковш груженный	Практически отсутствуют
7	Коэффициент устойчивости груженого погрузчика с опорными колесами на горизонтальной площадке	8,45

Поскольку производительность фронтального погрузчика прямо пропорционально вместимости его ковша, то при некотором увеличении его энергетических показателей (мощность двигателя и возможности гидросистемы) возможна его эксплуатация с ковшом $4,2...4,5 \text{ м}^3$ при увеличении производительности до 28,5% или в 1,28 раза. При существенном увеличении прочности конструкции фронтального погрузчика и его энергетических возможностей открывается потенциальная возможность увеличения его производительности с новым ковшом до 68%.

Выводы

1. Обоснована практическая возможность существенного увеличения производительности фронтальных погрузчиков за счет увеличения вместимости ковша.
2. Показана техническая возможность практического исключения паразитной мощности в трансмиссии погрузчика при перемещениях в забое как с груженым, так и с порожним ковшом.
3. Показана практическая возможность уменьшения нагруженности трансмиссии фронтального погрузчика при работе с груженым ковшом.

Заключение. Выполненные исследования позволяют при минимальных затратах увеличить вместимость ковша фронтальных погрузчиков, их производительность, а также уменьшить износ элементов трансмиссии.

Список литературы

1. Nikishin S.A., Nemtinov V.A. Changing the approach in the construction of a mounted machine for agro-technical works // The World of Science without Borders. Proceedings of the 11th all-Russian Scientific and Practical Conference for Young Researchers with International Participation. – Tambov, 2024. – P. 100-102.
2. Мандровский К.П., Тюрин Я.И. Конкурентный анализ погрузчиков различного типа // Механизация строительства. – 2017, – Т. 78, № 5. – С. 44-46.
3. Баловнев В.И., Данилов Р.Г. Одноковшовые строительные погрузчики // Строительные и дорожные машины. – 2019, – № 4. – С. 3-10.
4. Бояркина И.В. Анализ геометрических параметров рабочего оборудования фронтального погрузчика в предельных положениях // Строительные и дорожные машины. – 2023. – № 6. – С. 9-16.
5. Краснов В.С., Мителёв Ю.В. Внедрение механизма системы обеспечения динамической устойчивости активного противовеса в конструкцию фронтальных погрузчиков, применяемых в тыловых подразделениях вооруженных сил // Научные проблемы материально-технического обеспечения Вооружённых Сил Российской Федерации. – 2021. – № 4(22). – С. 119-126.
6. Чичекин И.В., Левенков Я.Ю., Нырков Ф.А. Оптимизация положения шарниров механизма подъема ковша фронтального погрузчика при выполнении цикла "погрузка-подъем-разгрузка" // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2023. – № 2(141). – С. 97-108.
7. Чичекин И.В., Нырков Ф.А., Чудаков О.И., Григорьев В.С. Определение нагрузок на механизм подъема и опрокидывания ковша фронтального погрузчика на ранних стадиях проектирования с использованием динамической модели // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2023. – № 4(143). – С. 121-130.
8. Нилов В.А., Жулай В.А., Тюнин В.Л., Федоров Е.В. Повышение устойчивости и сцепных качеств фронтального погрузчика // Строительные и дорожные машины. – 2022. – №9. – С. 3-6.
9. Патент №2808512 РФ. Устройство для увеличения продольной устойчивости фронтального погрузчика / В.А. Нилов, В.А. Жулай, В.А. Нырков. – Заявка №2023108594 от 04.04.2023; опубл. 28.11.2023, Бюл. № 34.
10. Нилов В.А., Жулай В.А., Тюнин В.Л., Федоров Е.В. Рабочее оборудование фронтального погрузчика // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2025. – Вып. 2. – С. 471-477.

References

1. Nikishin S.A., Nemtinov V.A. Changing the approach in the construction of a mounted machine for agro-technical works // The World of Science without Borders. Proceedings of the 11th all-Russian Scientific and Practical Conference for Young Researchers with International Participation. – Tambov, 2024. – P. 100-102.
2. Mandrovsky K.P., Tyurin Ya.I. Competitive analysis of loaders of various types // Mechanization of construction. 2017, vol. 78, no. 5, pp. 44-46.
3. Balovnev V.I., Danilov R.G. Single-bucket construction loaders // Construction and road machinery. 2019, no. 4, pp. 3-10.
4. Boyarkina I.V. Analysis of geometric parameters of working equipment of a front loader in extreme positions // Construction and road machinery. 2023, no. 6, pp. 9-16.
5. Krasnov V.S., Mitelev Yu.V. Introduction of the mechanism of the active counterweight dynamic stability system into the design of front loaders used in the rear units of the armed Forces // Scientific problems of logistics of the Armed Forces of the Russian Federation. 2021, no. 4(22), pp. 119-126.
6. Chichekin I.V., Levenkov Ya.Yu., Nyrkov F.A. Optimization of the position of the hinges of the bucket lifting mechanism of the front loader during the "loading-lifting-unloading" cycle // Proceedings of the R.E. Alekseev NSTU. 2023, no. 2(141), pp. 97-108.
7. Chichekin I.V., Nyrkov F.A., Chudakov O.I., Grigoriev V.S. Determination of loads on the bucket lifting and tipping mechanism of a front loader in the early stages of design using a dynamic model // Proceedings of the NSTU named after R.E. Alekseev. 2023, no. 4(143), pp. 121-130.
8. Nilov V.A., Zhulai V.A., Tyunin V.L., Fedorov E.V. Improving the stability and coupling qualities of a front loader // Construction and road vehicles. 2022, no. 9, pp. 3-6.
9. Patent No. 2808512 RU. A device for increasing the longitudinal stability of a front loader / V.A. Nilov, V.A. Zhulai, V.A. Nyrkov. – Appl. No. 2023108594 from 04.04.2023; publ. 28.11.2023, Bul. No. 34.
10. Nilov V.A., Zhulai V.A., Tyunin V.L., Fedorov E.V. Front loader working equipment // Proceedings of Tula State University. Technical sciences. 2025, iss. 2, pp. 471-477.

Сведения об авторах:

Information about authors:

Нилов Владимир Александрович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры строительной техники и инженерной механики им. профессора Н.А. Ульянова	Nilov Vladimir Aleksandrovich – doctor of technical sciences, professor, professor of the Department of construction machinery and engineering mechanics n.a. professor N.A. Ulyanov
Жулай Владимир Алексеевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой строительной техники и инженерной механики им. профессора Н.А. Ульянова	Zhulai Vladimir Alekseyevich – doctor of technical sciences, professor, head of the Department of construction machinery and engineering mechanics n.a. professor N.A. Ulyanov
Тюнин Виталий Леонидович – кандидат технических наук, доцент, декан дорожно-транспортного факультета	Tyunin Vitaliy Leonidovich – candidate of technical sciences, associate professor, dean of the Faculty of road transport
zhulai@cchgeu.ru	

Получена 30.04.2025