

Научная статья
УДК 621.878.2

Повышение устойчивости автогрейдера путем установки трансформируемого колеса

Артем Сергеевич Орлов¹, Константин Константинович Шестопапов²,
Наталья Константиновна Тагиева³

^{1,2,3}Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ),
Москва, Россия

¹orlartem22@gmail.com

²cnst43@mail.ru

³natagie@mail.ru

Аннотация. Автогрейдер – универсальная землеройно-транспортная машина, у которой есть свои недостатки, одним из которых является неустойчивость во время работы. Данный недостаток проявляется в процессе профилирования откосов и во время уборки снега на уклонах дорог, что приводит к скатыванию машины или ее опрокидыванию. В данной статье предложен вариант повышения продольной и поперечной устойчивости автогрейдера путем установки на него нового типа колеса, позволяющего увеличить коэффициент сцепления с поверхностью. Данное колесо позволяет увеличить коэффициент сцепления с поверхностью за счет своей трансформации из стандартной круглой формы в треугольную гусеницу. Рассмотрены преимущества и недостатки нового колеса по сравнению со стандартным. Произведены расчеты предельных углов для обоих вариантов колес на разных типах поверхностей и выполнен сравнительный анализ трансформируемого колеса со стандартным, который показал эффективность разрабатываемой конструкции.

Ключевые слова: автогрейдер, колесо, продольный угол, поперечный угол, устойчивость.

Для цитирования: Орлов А.С., Шестопапов К.К., Тагиева Н.К. Повышение устойчивости автогрейдера путем установки трансформируемого колеса // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. 2023. №1(35).

Original article

Improving the stability of the grader by installing a transformable wheel

Artem S. Orlov¹, Konstantin K. Shestopalov², Natalya K. Tagieva³

^{1,2,3}Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI),
Moscow, Russia

¹orlartem22@gmail.com

²cnst43@mail.ru

³natagie@mail.ru

Abstract. The motor grader is a versatile earthmoving machine that has its drawbacks, one of which is stability during operation. This disadvantage is manifested in the process of profiling slopes and during snow removal on slopes of roads, which leads to rolling of the machine or its overturning. This article offers a variant to increase the longitudinal and transverse stability of the motor grader by installing a new type of wheel, which allows you to increase the coefficient of traction with the surface. This wheel allows you to increase the coefficient of traction with the surface due to its transformation from the standard round shape to a triangular track. Advantages and disadvantages of the new wheel in comparison with the standard one are considered. Calculations of limiting angles for both variants of wheels on different types of surfaces and a comparative analysis of the transformed wheel with the standard one, which showed the effectiveness of the developed design.

Keywords: motor grader, wheel, longitudinal angle, transverse angle, stability.

For citation: Orlov A.S., Shestopalov K.K., Tagieva N.K. Improving the stability of the grader by installing a transformable wheel. *Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura*. 2023. №1 (35).

Введение

Автогрейдер – это землеройная машина, предназначенная для планирования и профилирования дорог, аэродромов и других объектов с большой площадью. Их применяют также для возведения дорожных насыпей высотой до 1 м из боковых резервов и постройки грунтовых дорог с боковыми канавами, для сооружения дорожного корыта и распределения в нем каменных материалов основания дорожной одежды, для профилирования дорожных обочин, для сооружения и очистки оросительных и придорожных канав глубиной до 0,7 м трапецидального и треугольного сечений, для зачистки и планирования откосов, насыпей, выемок, каналов. [2]. Конструкция автогрейдера состоит из следующих элементов (рис. 1): основная рама 1, которая может быть выполнена либо из двух полу рам, соединённых между собой шарниром, либо полностью одной единой рамой. В передней части основной рамы установлена тяговая рама 2, на которой крепится поворотный круг 3, приводимый в движение гидромотором, и основной отвал 4, переднее ходовое оборудование 5, гидроцилиндры управления отвалом 6 и дополнительный рабочий орган 7, чаще всего это

бульдозерный отвал. На задней части рамы крепятся заднее ходовое оборудование 8, кабина оператора 9 и силовая установка 10.

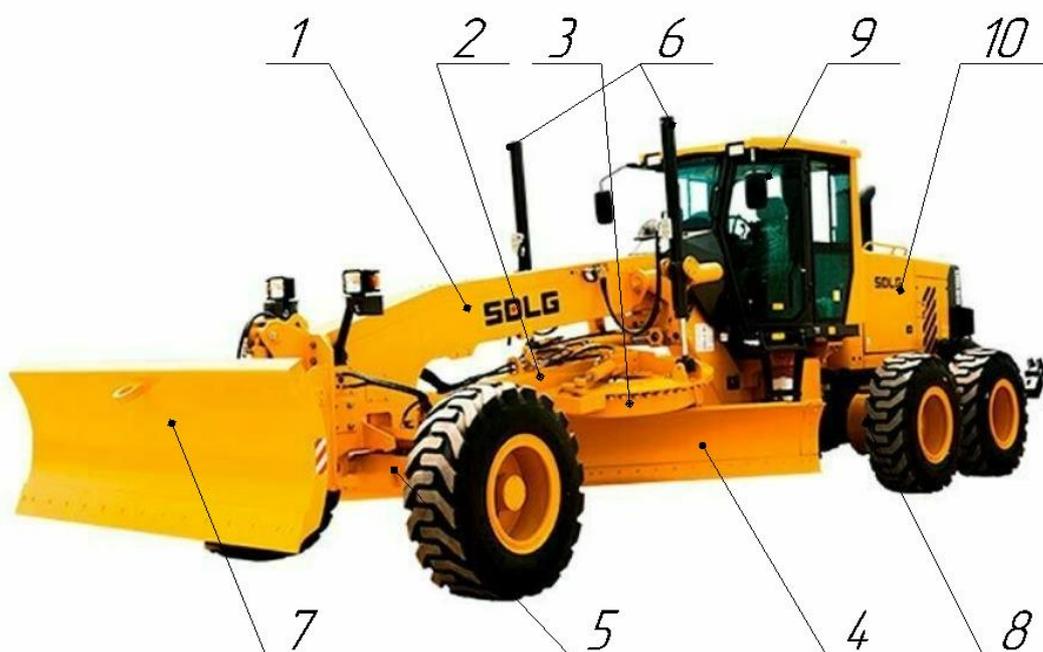


Рис. 1. Автогрейдер:

1 – рама; 2 – тяговая рама; 3 – поворотный круг; 4 – отвал; 5 – переднее ходовое оборудование; 6 – гидроцилиндры управления отвалом; 7 – дополнительный рабочий орган; 8 – заднее ходовое оборудование; 9 – кабина оператора; 10 – силовой агрегат

В процессе планирования и профилирования дорожного полотна автогрейдеру приходится сталкиваться с проблемой прохождения продольных уклонов, а в процессе профилирования откосов – поперечных уклонов, что вызывает проблемы, связанные с устойчивостью самой машины. Одним из способов решения данной проблемы послужит установка нового типа колеса, трансформируемого в гусеницу. Новый тип колеса позволяет увеличить коэффициент сцепления с поверхностью, увеличения пятна контакта и уменьшить удельное давление на грунт всей машины за счет трансформации колеса в треугольную форму гусеницы. Сам движитель представлен на рисунке 2.

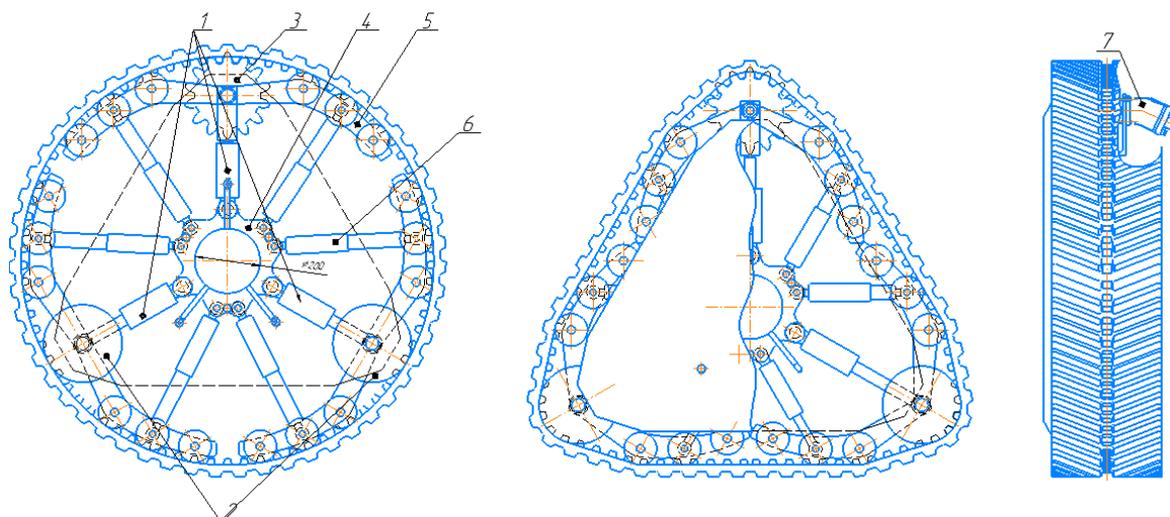


Рис. 2. Новый тип движителя – трансформируемое колесо:

1 – гидроцилиндры; 2 – направляющие катки; 3 – ведущая звездочка; 4 – сварная ступица;
5 – опорная рама с катками; 6 – амортизатор; 7 – гидромотор

Данный движитель является трансформируемым, что позволяет его использовать как в форме стандартного колеса, так и в форме треугольной гусеницы. Сама трансформация происходит за счет трёх гидроцилиндров 1, к которым крепятся направляющие катки 2 и приводная звезда 3, закрепленных на сварной ступице 4. За поддержание формы движителя отвечают рамы с опорными катками 5 и крепящиеся к ним амортизаторы 6. Звезда, которая приводит в движение гусеницу, приводится в движение гидромотором 7.

Для сравнения стандартного колеса и трансформируемого по максимальному поперечному и продольному углам были произведены расчеты и построены зависимости. В качестве основной машины, на которой производилось сравнение, был взят тяжелый автогрейдер ГС 250.

Предельный продольный угол определен при трех разных условиях, которые могут возникнуть в процессе работы автогрейдера, это:

1. Предельный угол подъема, преодолеваемый автогрейдером по условию сцепления движителя с дорогой [2]:

$$\tan \alpha_{\pi} = \varphi_c - f,$$

где φ_c – коэффициент сцепления с грунтом;
 f – коэффициент сопротивления передвижению.

2. Наибольший угол подъема, преодолеваемый по условию реализации 100%-ной мощности двигателя, находится из уравнения тягового баланса [2]:

$$\sin \alpha_{\text{п}} = \frac{N * \eta}{G * v * (1 + f^2)} - f,$$

где N – мощность двигателя, Вт;
 η – КПД трансмиссии и ходового оборудования автогрейдера;
 G – сила тяжести автогрейдера, Н;
 v – скорость движения автогрейдера, м/с.

3. Предельный уклон по условию сцепления тормозных колес с грунтом [2] равен:

$$\tan \alpha_y = \frac{1}{1.2} * \frac{l_{\text{ц}} * (\varphi_c - f) + f * L}{L + (\varphi_c - f) * h_{\text{ц}}},$$

где L – база машины, м;
 $h_{\text{ц}}$ – высота центра тяжести, м;
 $l_{\text{ц}}$ – расстояние от центра тяжести до поворотной оси, м.

По полученным данным построены зависимости.

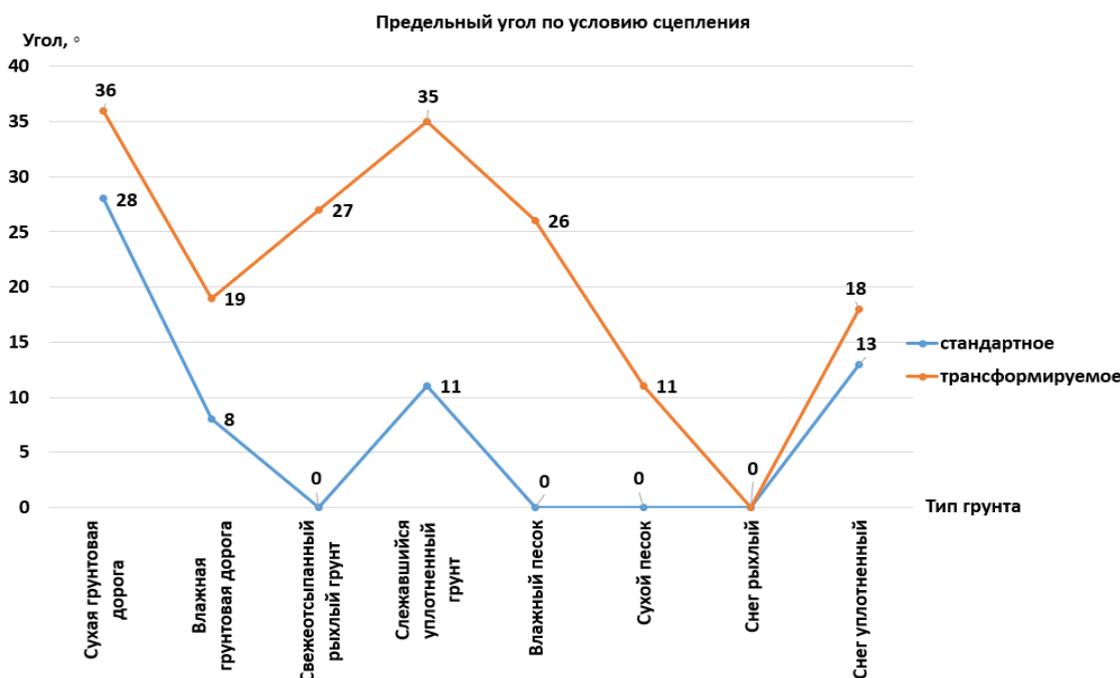


Рис. 3. Предельный продольный угол подъема, преодолеваемый автогрейдером по условию сцепления движителя с дорогой

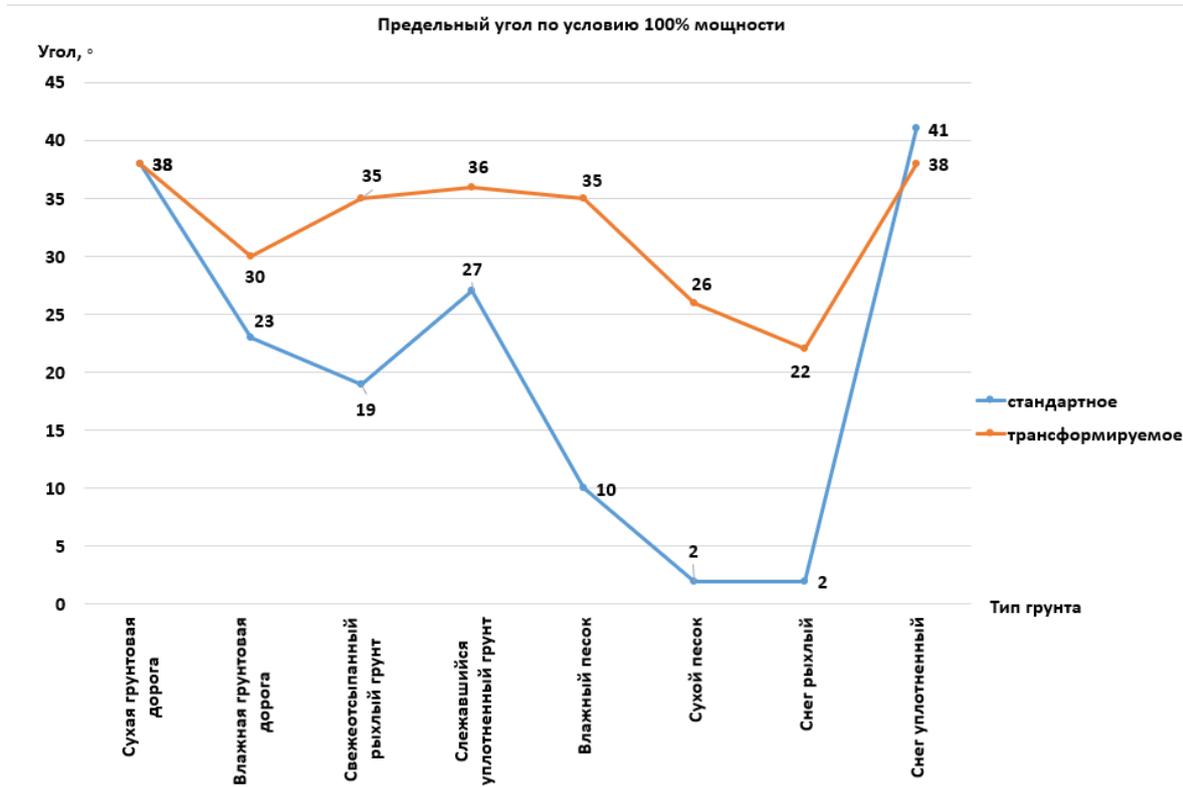


Рис. 4. Предельный продольный угол подъема, преодолеваемый автогрейдером по условию реализации 100% -ной мощности

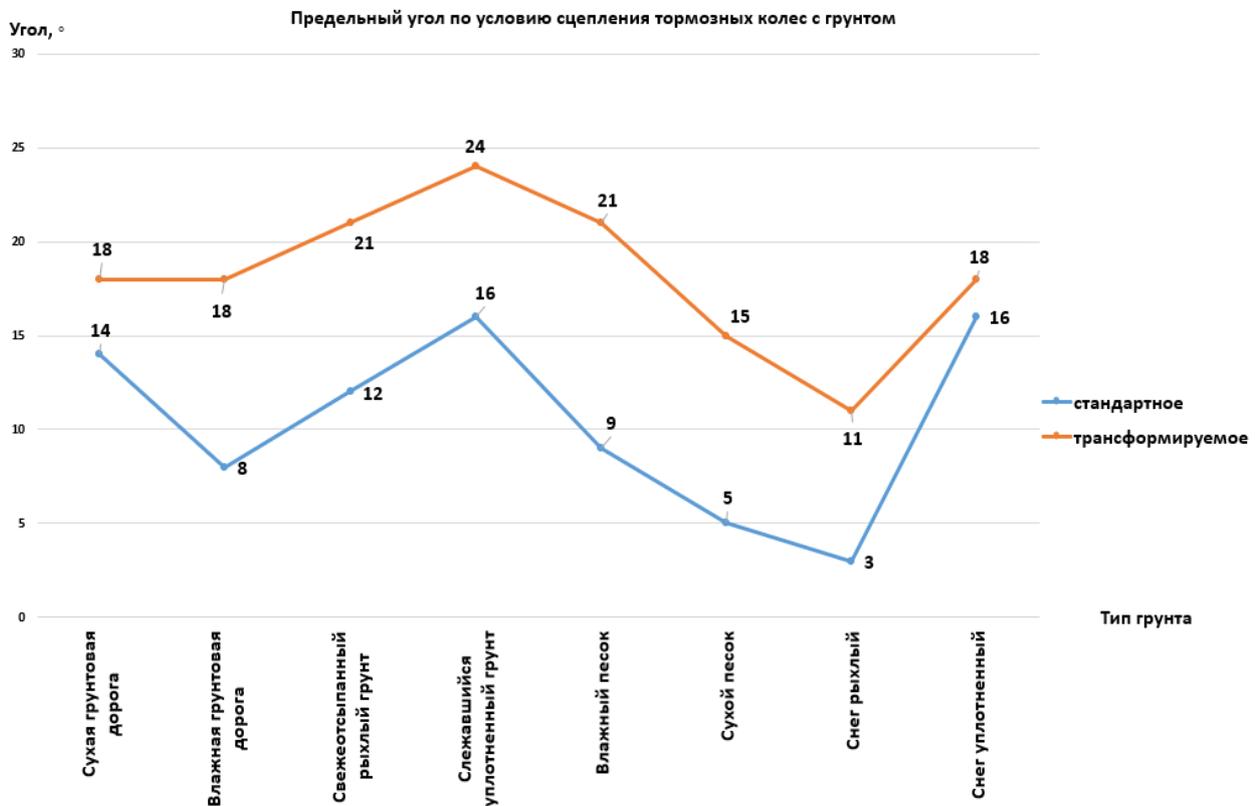


Рис. 5. Предельный продольный угол по условию реализации сцепления тормозных колес с грунтом

Из графиков видно, что в большинстве случаев предельный продольный угол подъема увеличивается при использовании трансформируемого колеса, кроме двух случаев, первый это использование на рыхлом снеге при условии сцепления движителя с дорогой, второй – использование на уплотненном снеге с условием реализации 100% -ной мощности.

Также был определен и поперечный угол при реализации следующих условий:

1. Допустимый угол поперечного уклона по условию опрокидывания [2]:

$$\tan \alpha = \frac{0,5 * B - e}{1,2 * h_{ц}}$$

где B – колея машины, м;

e – эксцентриситет центра тяжести относительно продольной оси машины, м.

2. Допустимый угол поперечного уклона по условию сцепления движителя с дорогой [2]:

$$\tan \alpha = \frac{0,8 * \varphi_c}{1,2}$$

Так как для определения поперечного уклона по условию опрокидывания все зависит от высоты центра тяжести, а не от типа грунта, разница в максимальном угле будет в пределах двух-трех градусов. Зависимости поперечного угла от типа грунта по условию сцепления движителя с грунтом представлены на рисунке 6.



Рис. 6. Предельный поперечный угол по условию реализации сцепления движителя с грунтом

Подводя итоги, можно сделать вывод, что автогрейдер – это универсальная землеройно-транспортная машина, которая требует усовершенствования конструкции для расширения своих возможностей и повышения устойчивости на склонах. Для уменьшения негативного эффекта от скатывания и опрокидывания во время прохождения уклонов в статье предложено решение по оборудованию автогрейдера трансформируемым колесом для повышения его устойчивости. Данное решение позволит в большинстве случаев увеличить предельные углы. Повышение предельных углов достигается за счет трансформации данного колеса из стандартной круглой формы в треугольную, что приводит к увеличению площади пятна контакта колеса с поверхностью, которое в свою очередь увеличивает коэффициент сцепления и снижает давление на поверхность.

Список источников

1. Авторское свидетельство № 1558717 А1 СССР, МПК В60К 7/00. Мотор-колесо управляемого моста автогрейдера: № 4398762: заявл. 29.03.1988: опубл. 23.04.1990 / А. Н. Воронин, Л. А. Антипов, В. С. Епифанов [и др.]; заявитель МОСКОВСКОЕ НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ ПО СТРОИТЕЛЬНОМУ И ДОРОЖНОМУ МАШИНОСТРОЕНИЮ "ВНИИСТРОЙДОРМАШ".
2. Машины для земляных работ. Конструкция. Расчет. Потребительские свойства: в двух книгах / В.И. Баловнев, С.Н. Глаголев, Р.Г. Данилов [и др.]. – Белгород: Белгородский Государственный Технологический Университет, 2011. – 400 с.
3. Баловнев, В.И. Развитие автогрейдеров в России / В.И. Баловнев, Р.Г. Данилов // Строительные и дорожные машины. – 2019. – № 2. – С. 3-13.
4. Автогрейдеры: Учебное пособие / В.И. Баловнев, Р.Г. Данилов, Г.В. Кустарев, Н.Д. Селиверстов. – Москва: Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), 2014. – 144 с.
5. Илларионов, С.Г. Инновации в конструкциях автогрейдеров и их влияние на эффективность работы / С.Г. Илларионов, Ю.П. Бакатин // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2014. – № 2(68). – С. 37-41.
6. Лебедев, Ю.М. Современные тенденции развития автогрейдера / Ю.М. Лебедев, Н.В. Беляев // Научные труды молодых ученых, аспирантов и студентов: материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной Дню российской науки (с международным участием), Омск, 08 февраля 2012 года. – Омск: Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ), 2012. – С. 143-145.
7. Махмутов, М.М. Метод оптимизации параметров колеса автогрейдера / М.М. Махмутов, М.М. Земдиханов // Механизация строительства. – 2015. – № 8(854). – С. 22-23.
8. Махмутов, М.М. Повышение функциональных качеств колесных движителей со съёмными зацепами / М.М. Махмутов. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2006. – 158 с. – ISBN 5-7464-1390-9.
9. Шестопалов, К.К. Машины для земляных работ: учебное пособие / К.К. Шестопалов. – М.: МАДИ, 2011. – 144 с. – ISBN 978-5-7962-0078-0.
10. Шестопалов, К.К. Подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование / К.К. Шестопалов. – 7-е изд., стер.. – Москва: Академия, 2012. – (Среднее профессиональное образование. Транспорт). – ISBN 978-5-7695-9397-0.
11. Шестопалов, К. К. Подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование: учебное пособие для студентов образовательных учреждений среднего профессионального образования, обучающихся по специальностям "Техническая эксплуатация подъемно-транспортных, строительных, дорожных машин и оборудования",

"Строительство и эксплуатация зданий и сооружений", "Строительство и эксплуатация городских путей сообщения", "Строительство и эксплуатация автомобильных дорог и аэродромов", "Строительство мостов" / К.К. Шестопалов. – 5-е изд., стер.. – Москва: Академия, 2010. – (Среднее профессиональное образование. Транспорт). – ISBN 978-5-7695-7654-6.

References

1. A.N. Voronin, L.A. Antipov and oth. USSR certificate of authorship No. 1558717 A1, IPC B60K 7/00. A motor-wheel steering axle for a motor grader: No.4398762: application. 29.03.1988 : publ. 23.04.1990 /
2. Balovnev V.I., Glagolev S.N., Danilov R.G. and oth. Mashiny dlya zemlyanykh rabot. Konstruktsiya. Raschet. Potrebitel'skiye svoystva (Machines for earthworks. Design. Calculation. Consumer properties), Belgorod, Belgorodskiy Gosudarstvennyy Tekhnologicheskiy Universitet, 2011, 400 p.
3. Balovnev V.I., Danilov R.G. *Stroitel'nyye i dorozhnyye mashiny*, 2019, no. 2, pp. 3-13.
4. Balovnev V.I., Danilov R.G., Kustarev G.V., Seliverstov N.D. *Avtogreydery* (Graders), Moscow, MADI, 2014, 144 p.
5. Illarionov S.G., Bakatin YU.P. *Nauka i tekhnika v dorozhnoy otrasli*, 2014, no. 2(68), pp. 37-41
6. M. Lebedev Yu.M., Belyaev N.V. Nauchnyye trudy molodykh uchenykh, aspirantov i studentov: materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy Dnyu rossiyskoy nauki (s mezhdunarodnym uchastiyem), Omsk, SibADI, 2012, pp. 143-145.
7. Makhmutov M.M., Zemdikhanov M.M. *Mekhanizatsiya stroitel'stva*, 2015, no. 8(854), pp. 22-23.
8. Makhmutov M.M. *Povysheniye funktsional'nykh kachestv kolesnykh dvizhiteley so s"yemnymi zatsepami* (Improvement of functional qualities of wheeled propellers with removable hooks), Kazan', Izd-vo Kazan. un-ta, 2006, 158 p.
9. Shestopalov K.K. *Mashiny dlya zemlyanykh rabot* (Machines for earthworks), Moscow, MADI, 2011, 144 p.
10. Shestopalov K.K. *Pod"yemno-transportnyye, stroitel'nyye i dorozhnyye mashiny i oborudovaniye* (Lifting, transporting, building and road machinery and equipment), Moscow, Academy, 2012.
11. Shestopalov K.K. *Pod"yemno-transportnyye, stroitel'nyye i dorozhnyye mashiny i oborudovaniye* (Lifting, transporting, construction and road machines and equipment), Moscow, Academy, 2010.

Рецензент: В.А. Даугелло, канд. техн. наук, доц., МАДИ

Информация об авторах

Орлов Артем Сергеевич, магистрант, МАДИ.

Шестопалов Константин Константинович, канд. техн. наук, доц., МАДИ.

Тагиева Наталья Константиновна, канд. техн. наук, доц., МАДИ.

Information about the authors

Orlov Artem S., undergraduate, MADI.

Shestopalov Konstantin K., Ph.D., associate professor, MADI.

Tagieva Natalya K., Ph.D., associate professor, MADI.

Статья поступила в редакцию 23.01.2023; одобрена после рецензирования 03.02.2023; принята к публикации 22.03.2023.

The article was submitted 23.01.2023; approved after reviewing 03.02.2023; accepted for publication 22.03.2023.