

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ БОКОВОГО РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ АВТОГРЕЙДЕРА

Корчагин П.А., Летопольский А.Б., Тетерина И.А.
ФГБОУ ВО «СибАДИ», г. Омск, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. На сегодняшний день существует достаточное количество параметров рабочих органов, которые позволяют совершать технологические операции в различных условиях с минимальными затратами труда и энергетических ресурсов. В ходе строительства дорог необходимо произвести значительные объемы земляных работ. Для выполнения этой технологической процедуры используется комплект землеройных и дорожных машин. Автогрейдер относится к землеройно-транспортной машине и необходим для профилирования поверхности, перемещения и разравнивания строительных материалов.

Эффективность работы автогрейдера определяется критерием производительности. Мировые производители землеройной и дорожной техники связывают рост качества и скорости выполнения работ с совершенствованием конструкции исполнительных рабочих органов. Ведутся разработки новых конструктивных вариантов отвалов, в том числе и для автогрейдеров. Такое решение позволит уменьшить необходимое число проходов по строительному участку и сократить время на монтаж рабочего органа. В статье представлен вариант совершенствования рабочего оборудования автогрейдера путем установки бокового рабочего отвала.

Материалы и методы. Получены расчетные зависимости основных параметров автогрейдера: сцепного веса, номинальной силы тяги, сопротивлений, возникающих в рабочем режиме при резании и перемещении грунта, и общая мощность двигателя для рабочего режима при скорости 4 км/ч. Исследованы прочностные характеристики бокового рабочего оборудования автогрейдера. Анализ проведен с использованием программного продукта Solid Works.

Результаты. Результаты теоретических исследований представлены графически и отражают напряжения, перемещения и деформации в предлагаемом боковом рабочем оборудовании автогрейдера. Использование программного продукта Solid Works дало возможность определить запас прочности предлагаемой конструкции. Проведенные исследования позволили подтвердить работоспособность предложенного технического решения.

Обсуждение и заключение. Предложенное техническое решение позволяет увеличить производительность машины при выполнении планировочных работ, сохраняя при этом заданную точность их проведения. Данная конструкция позволяет проводить профилировочные работы не только горизонтальной поверхности, но и работы по возведению дорожной насыпи, когда боковой отвал расположен под углом до 20 градусов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: автогрейдер, рабочее оборудование машин для земляных работ, отвал автогрейдера, профиль спланированной поверхности, технология строительства земляного полотна, профилирование насыпи, боковой отвал автогрейдера.

© П.А. Корчагин, А.Б. Летопольский, И.А. Тетерина



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

RESEARCH RESULTS OF THE EFFICIENCY OF THE MOTOR GRADER SIDE WORKING EQUIPMENT

P.A. Korchagin, A.B. Letopolskiy, I.A. Teterina

Siberian State Automobile and Highway University, Omsk, Russia

ABSTRACT

Introduction. Nowadays there is sufficient number of the working bodies' parameters, which allow performing technological operations in different conditions with minimal labor and energy resources. It is necessary to produce significant excavation during roads' construction. Therefore, to perform such technological procedure excavation and road machinery are used. The motor grader is an earth-moving machine and is necessary for surface profiling, moving and construction materials' level.

The motor grader efficiency is determined by the performance criterion. World producers of earthmoving and road machinery associate the growth of quality and speed of work with the improvement of the executive working bodies. Moreover, new design variants of dumps are being developed, including design variants for motor graders. Such solution would allow to reduce the necessary number of passages along the construction site and to shorten the time for mounting the working body. The article presents the variant of the motor grader working equipment improving by installing the side working dump.

Materials and methods. The calculated dependences of the main parameters of the motor grader are obtained, such as the coupling weight, the nominal traction force, the resistances arising in the operating mode when cutting and moving the ground, and the total engine power for the operating mode at 4 km per hour speed. Strength characteristics of the side working equipment of the motor grader are investigated. The analysis is carried out by using the Solid Software.

Results. The results of the theoretical studies are presented graphically and reflected the stresses, displacements and deformations in proposed lateral working equipment of the motor grader. Using the Solid Works software product it is possible to determine the safety margin of the proposed design. The conducted research allows confirming the working capacity of the proposed technical solution.

Discussion and conclusion. The proposed technical solution allows increasing the productivity of the machine while performing the planning works, while maintaining the specified accuracy of their implementation. In addition, such design allows profiling not only the horizontal surface, but also the embankment construction when the side blade is located at an angle of up to 20 degrees.

KEYWORDS: motor grader, working equipment of earthmoving machines, motor grader blade, planned surface profile, technology of the road base construction, embankment profiling, motor grader side slope.

© P.A. Korchagin, A.B. Letopolskiy, I.A. Teterina



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях развития строительно-дорожного комплекса страны производители техники ставят перед собой ряд приоритетных задач: внедрение новых подходов и технологий в производстве строительства объектов инфраструктуры, применение более совершенных средств механизации и использование передовых научных разработок. Одним из вариантов решения этой сложной задачи является комплексная механизация и внедрение систем автоматизации [1].

Внедряемые технологии строительства автомобильной дороги взаимосвязаны с необходимостью соблюдения требований по ровности поверхности и заданным параметрам поперечного и продольного профилей [1]. Несоблюдение этих требований ведет к нарушению технологии строительства и потери качества дорожной одежды будущей автомагистрали. Машины, занятые в строительном процессе, должны обеспечивать необходимую производительность и качество выполнения технологических операций [2].

Процесс внедрения новых технологий строительства земляного полотна связан с необходимостью обеспечения ровности его поверхности и геометрических параметров поперечного и продольного профилей. Несответствие проектным отметкам и недостаточная ровность поверхности земляного полотна ведут к перерасходу строительных материалов при сооружении слоев дорожной одежды [1].

Высокие требования к качеству технологических операций (в том числе планировочных работ), обеспечивающих ровность земляного полотна, вступают в противоречие с производительностью машин, занятых в этих операциях [3].

Управление отвалом автогрейдера – сложная задача, реализующаяся как ручным способом, так и с помощью системы автоматического моделирования. Ручное управление отвалом автогрейдера – задача, требующая соблюдения точности выполнения операций и вместе с тем соблюдения точности проектного профиля, характеризующаяся неоднократными проездами по строительному участку. Это приводит к снижению производительности автогрейдера [1, 2].

Однако эти требования к профилю земляного полотна могут быть выполнены автогрейдером с системой автоматического управления рабочим органом. Системы автоматизирован-

ного управления рабочим органом позволяют выполнить требования к профилю дорожного полотна, однако их внедрение данных систем пока не позволяет использовать максимальную скорость машины при выполнении планировочных работ [3, 4].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Вышесказанное обосновывает необходимость создания конструкции рабочего оборудования автогрейдера, позволяющего повысить производительность машины, сохраняя при этом заданную точность их проведения и скоростные характеристики выполнения работ. Совершенствование конструкции рабочего органа повысит производительность рабочих операций и обеспечит заданную точность при планировочных работах [4].

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Одним из вариантов решения изложенных противоречий является совершенствование рабочего органа автогрейдера путем разработки конструкции навесного бокового отвала (рисунок 1) [5]. Конструкция дополнительного оборудования включает в себя отвал (1), раму (2), передний и задний кронштейны (3), рычаги (4) и гидроцилиндры подъема отвала (5), гидроцилиндры выдвижения отвала (6) [6]. Отвал крепится к раме с помощью вертикального шарнира. Регулировка положения отвала и угол его установки к оси движения автогрейдера осуществляется с помощью гидроцилиндров.

Использование бокового отвала автогрейдера позволяет повысить производительность автогрейдера за счет увеличения ширины профилируемой поверхности на легких операциях, таких как перемещение, разравнивание грунта и планировочные работы.

Преобладающим режимом работы автогрейдеров является тяговый, это обусловлено особенностями его рабочего процесса. Один из главных параметров автогрейдера – это его масса, поскольку она определяет тяговые качества машины. Примерно 80–85% времени работы автогрейдера приходится на тяговый режим. Этим обусловлена необходимость проведения расчетов сцепного веса, углов установки отвала автогрейдера, размеров отвала, сопротивлений, возникающих в рабочем режиме при резании и перемещении грунта, определения массы и колесной схемы мощности двигателя автогрейдера [7, 8].

В качестве базовой машины был выбран автогрейдер модели ДЗ-98. Основные харак-

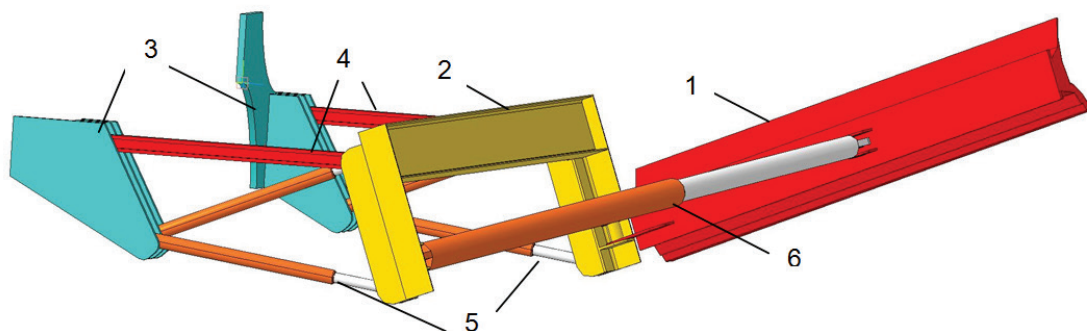


Рисунок 1 – Общий вид конструкции бокового рабочего оборудования автогрейдера

Figure 1 – General view of the side working structure equipment of the motor grader

теристики базовой машины и дополнительного рабочего оборудования представлены в таблице.

Таблица
ХАРАКТЕРИСТИКИ АВТОГРЕЙДЕРА ДЗ-98
Table
DZ-98 MOTOR GRADER FEATURES

№ п/п	Параметр	Показатель
Базовая машина		
1	Тип	Тяжелый
2	Масса	19,5 т
3	Колесная формула	1х3х3
4	Мощность двигателя, кВт	173
5	Рабочая скорость, км/ч	4
6	Транспортная скорость, км/ч	40
Рабочее оборудование		
7	Тип отвала	Секционный
8	Материал	Сталь 35 ХГСА
9	Максимальная реакция грунта, приложенная на конце отвала, кН	6,21
10	Угол резания, град.	30

Сцепной вес автогрейдера $G_{сц}$, равен [9]:

$$G_{сц} = \psi_0 \cdot G, \quad (1)$$

где G – вес автогрейдера, кН; ψ_0 – коэффициент сцепного веса автогрейдера, учитывающий использование веса автогрейдера в качестве сцепного при различных колесных формулах, в том числе 1х3х3, $\psi_0 = 1,0$.

$$C = m \cdot g, \quad (2)$$

где m – масса автогрейдера, кг; g – ускорение свободного падения, м/с².

Номинальная сила тяги (T) определяется из условия [9, 10]:

$$T = \varphi \cdot G_{сц}, \quad (3)$$

где φ – коэффициент сцепления, $\varphi = 0,5$.

Сопротивление основного и дополнительного отвалов резанию грунта ножом W_p [11]:

$$W_p = k \cdot F, \quad (4)$$

где F – площадь поперечного сечения вырезаемой стружки грунта, м²; k – удельное сопротивление резанию, $k = 23$ кН/м².

$$F = L \cdot h \cdot \cos \alpha, \quad (5)$$

где h – толщина стружки, м; L – длина ножа, м; α – угол установки ножа, $\alpha = 30$ град.

Сила на преодоление трения ножа о грунт $W_{тр}$

$$W_{тр} = \mu_1 \cdot k \cdot L \cdot h, \quad (6)$$

где μ_1 – коэффициент трения грунта по металлу, $\mu_1 = 0,5$.

Сопротивление поступательному перемещению перед отвалом призмы волочения грунта $W_{пр}$ [12, 2]:

$$W_{пр} = \mu_2 \cdot G_{пр} \cdot \sin \alpha, \quad (7)$$

где $G_{пр}$ – вес призмы грунта перед отвалом, Н; μ_2 – коэффициент трения грунта по грунту, $\mu_2 = 0,5$.

$$G_{\text{пр}} = \rho_r \cdot (H - 0,25 \cdot h)^2 \cdot L \cdot \frac{g}{2 \cdot k \cdot t \cdot g \delta}, \quad (8)$$

где ρ_r – плотность грунта, $\rho_r = 1800 \text{ кг/м}^3$; δ – угол естественного откоса грунта, $\delta = 25$ град.

Сопротивление грунта при движении его вверх по отвалу W_b [13]:

$$W_b = \mu_1 \cdot G_{\text{пр}} \cdot \cos^2 \gamma, \quad (9)$$

где γ – угол резания, $\gamma = 30$ град.

Сопротивление трения призмы волочения при ее перемещении вдоль отвала W_c :

$$W_c = \mu_1 \cdot \mu_2 \cdot G_{\text{пр}} \cdot \cos \alpha. \quad (10)$$

Расчет сил сопротивления дополнительно от отвала автогрейдера. Высота отвала [13]:

$$H_{\text{отв}} = 0,2 \cdot L - 0,12. \quad (11)$$

Радиус кривой отвала

$$R = \frac{H_{\text{отв}}}{\cos \varphi + \cos \alpha}. \quad (12)$$

Сопротивление от силы инерции W_i

$$W_i = \frac{\xi \cdot G \cdot Q_{\text{гр}}}{g} \cdot \frac{dV}{dt}, \quad (13)$$

где ξ – коэффициент учета вращающихся масс, $\xi = 1,1$.

Сопротивление от преодоления подъема W_y

$$W_y = G \cdot \sin \beta, \quad (14)$$

Суммарная сила сопротивления от основного и дополнительного отвалов

$$W_{\Sigma} = (W_p + W_{\text{тр}} + W_{\text{пр}} + W_b) + (W_c + W_p + W_{\text{тр}} + W_{\text{пр}} + W_b + W_c + W_i + W_y). \quad (15)$$

Проведен проверочный расчет двигателя по мощности. Необходимая мощность двигателя для рабочего режима определяется по формуле

$$N_p = \frac{\Sigma W \cdot V_{\partial}}{3,6}, \quad (16)$$

где N_p – потребная мощность двигателя для рабочего режима, кВт; V_{∂} – действительная скорость движения автогрейдера в рабочем режиме, км/ч, $V_{\partial} = 4$ км/ч.

Мощности на буксование определяются по формуле [13]:

$$N_b = (\varphi + f) \frac{G_{\text{сш}} \cdot V_{\partial} \cdot \delta}{270 \cdot 9,8 \cdot (1 - \delta)} \cdot 0,7355, \quad (17)$$

где f – коэффициент прокатывания в рабочих условиях, $f = 0,07$; δ – коэффициент буксования при планировке, $\delta = 18$ –22%.

Мощность на перекачивание определяется по формуле

$$N_f = \frac{G_{\text{сш}} \cdot V_{\partial} \cdot f}{270 \cdot 9,8 \cdot \psi} \cdot 0,7355. \quad (18)$$

Общая мощность определяется по формуле [14,15]:

$$N_o = \frac{N_p + N_b + N_f}{\eta_t + \eta_m}, \quad (19)$$

где η_t – КПД трансмиссии, $\eta_t = 0,86$; η_m – коэффициент, учитывающий изменение мощности двигателя из-за неуставившейся нагрузки, $\eta_m = 0,88$.

$$N_o < N_{\text{б.м.}}, \quad (20)$$

где $N_{\text{б.м.}}$ – мощность двигателя базовой машины, $N_{\text{б.м.}} = 184$ кВт.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В результате проведенных расчетов было определено:

1. Суммарная сила сопротивления, возникающая при работе основным и боковым отвалами, составляет 43,69 кН. Полученное значение не превышает значение номинальной силы тяги, найденное по выражению (3).

2. Расчет баланса мощности двигателя установил правомерность неравенства (20), следовательно, параметры бокового отвала позволяют автогрейдеру выполнять необходимые рабочие операции.

Расчет на прочность бокового рабочего оборудования предложенной конструкции проводился с целью поиска наиболее нагруженных участков оборудования [14]. Определялись напряжения, возникающие в элементах бокового оборудования при различных нагрузках. В качестве метода проведения прочностного расчета применен метод конечных элементов. Данный метод является одним из эффективных при решении инженерных и физических задач, в том числе анализа напряжений в конструкциях сложных систем, какой является конструкция бокового рабочего оборудования автогрейдера. Реализован метод конечных

элементов с помощью программного продукта Solid Works. Исходные данные для проведения расчета представлены в таблице.

Основные этапы исследования:

1. Разбить конструкцию на элементы.
2. Выразить перемещения в элементе через смещения узловых точек элемента.
3. Составить разрешающие уравнения (принцип возможных перемещений).
4. Определить узловые смещения.
5. Определить деформации и напряжения в конструкции [15,16].

На рисунке 2 представлена визуализация теоретических исследований, направленных на определение возникающих напряжений в конструкции. Минимальные значения напряжения составляют $5,26 \text{ Н/м}^2$, максимальные – $9,1 \cdot 10^7 \text{ Н/м}^2$.

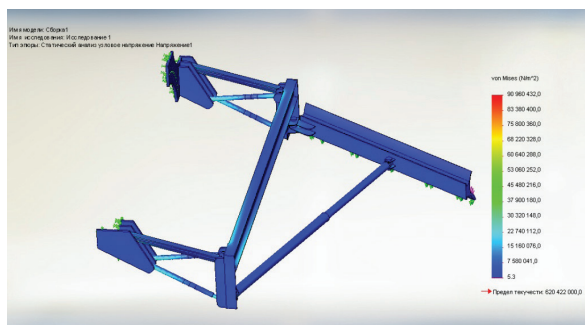


Рисунок 2 – Исследование напряжений в конструкции бокового рабочего оборудования автогрейдера

Figure 2 – Analysis of the strain of the motor grader side working equipment

Проведенные исследования позволили определить участки максимальных напряжений в конструкции бокового отвала автогрейдера [17]. Исследования показали, что максимальные напряжения не превышают допустимого предела текучести материала [18].

На рисунке 3 представлена визуализация исследований, направленных на определение перемещений в конструкции бокового отвала автогрейдера. Расчеты показали, что минимальные значения перемещения в конструкции равны 0 мм, а максимальные – 2,177 мм.

Исследования позволили определить места в конструкции бокового отвала с возможными перемещениями в деталях конструкции [19]. Установлено, что максимальные перемещения в конструкции находятся в раме бокового оборудования и гидроцилиндрах управления.

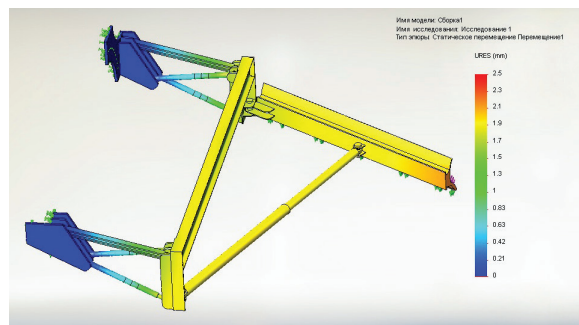


Рисунок 3 – Исследование перемещений в конструкции бокового рабочего оборудования автогрейдера

Figure 3 – Displacement research of the motor grader side working equipment

На рисунке 4 представлена визуализация теоретических исследований, направленных на определение величины деформации, возникающей в конструкции бокового рабочего оборудования автогрейдера [20]. При приложении нагрузки, равной силе сопротивления резанию грунта боковым отвалом, максимальная величина деформации в конструкции равна $2,46 \cdot 10^{-11} \text{ мм}$.

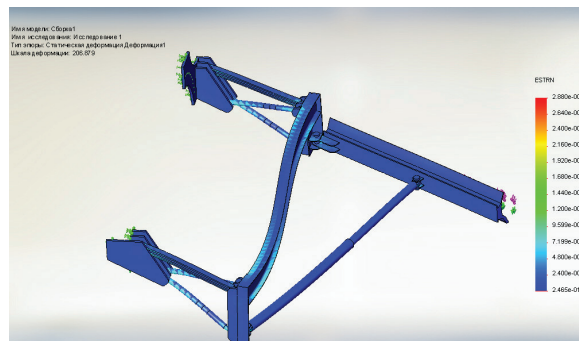


Рисунок 4 – Исследование деформации в конструкции бокового рабочего оборудования автогрейдера

Figure 4 – Deformation research of the motor grader side working equipment

Проведенные исследования показали, что при моделировании возможной нагрузки на боковое рабочее оборудование критических значений в узлах конструкции не возникает [21].

На рисунке 5 представлена визуализация теоретических исследований определения запаса прочности в конструкции бокового отвала автогрейдера [22,23]. Минимальный запас прочности – 21,5, максимальный – 162 631.



Рисунок 5 – Определение запаса прочности в конструкции бокового рабочего оборудования автогрейдера

Figure 5 – Determination of safety margin of the motor grader side working equipment

Исследование запаса прочности показало, что минимальное значение составляет 21,5, это позволяет сделать вывод о работоспособности бокового рабочего оборудования при возникающих нагрузках в рабочем режиме автогрейдера.

ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленные расчетные зависимости позволили определить сцепной вес автогрейдера, номинальную силу тяги, общую мощность двигателя, силы сопротивления, возникающие в ходе рабочего процесса автогрейдера. На основе проведенного прочностного расчета сделан вывод о достаточном запасе прочности предложенной конструкции. Установлено, что возникающие напряжения и перемещения в конструкции бокового рабочего оборудования автогрейдера не превышают критических значений.

Использование продолженной конструкции при проведении профилировочных работ позволит сократить число проходов автогрейдера и увеличить производительность машины. Возможность изменения положения дополнительного отвала расширяет область применения автогрейдера.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Денисов В.П., Матяш И.И., Зубарев К.В. Исследование влияния конструктивных параметров рабочего органа автогрейдера на его производительность // Вестник СибАДИ. 2015. № 2 (42). С. 15–19.
2. Севров К.П., Горячко Б.Ф., Покровский А.А. Автогрейдеры. Конструкция, теория, расчет. М.: Машиностроение, 1970 г. 192 с.
3. Добронравов С.С. Добронравов М.С. Строительные машины и оборудование. М.: Высшая школа, 2006. 445 с.
4. Syrkin V. V. Balakin P. D., Treyer V. A. Study of hydraulic direct-acting relief valve. Journal of Physics: Conference Series. 2017. Vol. 858: Mechanical Science and Technology Update. P. 012035. DOI: 10.1088/1742-6596/858/1/012035.
5. Агарков А.М., Чеховской Е.И. Анализ конструкции рабочего оборудования автогрейдера с целью повышения надежности // Инновационная наука. 2016. № 12-2. С. 9–11.
6. Korytov M.S., Shcherbakov V.S., Titenko V.V. Analytical solution of the problem of acceleration of cargo by a bridge crane with constant acceleration at elimination of swings of a cargo rope // Journal of Physics: Conference Series. 2018. Vol. 944, no. 1. Ст. 012062. DOI: 10.1088/1742-6596/944/1/012062.
7. Гребенникова Н.Н., Бледных Д.С. Совершенствование конструкции рабочего оборудования автогрейдера с целью расширения его эксплуатационных возможностей // Международный студенческий научный вестник. 2018. № 3-8. С. 1235-1237.
8. Демиденко А.И., Летопольский А.Б., Семкин Д.С., Потеряев И.К. Экспериментальные исследования процесса резания грунта скребками траншейного цепного экскаватора // Известия ТулГУ. Технические науки. 2016. № 3. С. 256-263.
9. Kapelyuhovskiy A.A., Stepanova E.P. The study of the emission frequency control system stability in hydropulse generator // AIP Conference Proceedings. 2017. Vol. 1876: Oil and Gas Engineering (OGE) : conference. DOI: 10.1063/1.4998917. WOS:000410776900097.
10. Николаев А.П., Киселёв А.П., Гуреева Н.А., Киселёва Р.З. Расчет композиционных инженерных конструкций на основе метода конечных элементов. Волгоград. ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ, 2016. 128 с.
11. Касумов Е.В. Методика поиска рациональных конструктивных параметров с применением метода конечных элементов // Ученые записки ЦАГИ. 2015. Т. 46. № 2. С. 63-79.
12. Алексеева Т.В., Галдин Н.С., Шерман Э.Б. Гидравлические машины и гидропривод мобильных машин. Новосибирск: Новосибирский государственный университет, 1994 г. 212 с.
13. Курдюк В.А., Вольская Н.С., Русанов О.А. Моделирование системы «кузов-подвеска-колесо-грунт» с использованием метода конечных элементов // Известия Московского государственного технического университета МАМИ. 2016. № 1 (27). С. 9-15.

14. Паничкин А.В., Трубин А.С. Определение эффективности современных отечественных автогрейдеров. // Мир транспорта и технологических машин. 2016. № 4 (55). С. 48-54.

15. Корчагин П.А., Тетерина И.А. Математическая модель сложной динамической системы «возмущающие воздействия - машина - оператор // Вестник СибАДИ. 2015. № 5 (45). С. 118-123.

16. Шевченко В.О., Рагулин В.Н., Фатеев Р.В. Исследование нагружения системы управления основным отвалом автогрейдера методом трехмерного виртуального моделирования // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. 2014. № 65-66. С. 216-220.

17. Водяницкий А.В., Юдина Н.Ю. Применение метода конечных элементов для решения задач исследования условий равновесия и совместимости деформаций стоек культиватора. // Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом комплексе: проблемы и перспективы рационального использования. 2016. Т. 3. № 3 (6). С. 196-201.

18. Липка В.М., Леонтьев В.В., Копп В.Я., Рапацкий Ю.Л. Моделирование с помощью метода конечных элементов и исследование влияния силовых нагрузок на надежность резьбовых соединений в силовых агрегатах автомобилей // Вісник СевНТУ. 2014. № 146. С. 14-20.

19. Denisova L.A., Meshcheryakov V.A. Automatic parametric synthesis of a control system using the genetic algorithm // Automation and Remote Control. 2015. Т. 76. № 1. С. 149–156. DOI: 10.1134/S0005117915010142.

20. Ерохина Е.Н. Метод конечных элементов – универсальное средство инженерного анализа различных объектов // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Архитектура и дизайн. Самарский государственный архитектурно-строительный университет. Самара, 2015. С. 372-377.

21. Baurova N.I., Zorin V.A., Prikhodko V.M. Technological heredity and identification of technological processes // Polymer Science. Series D. 2015. Т. 8. № 3. С. 219-222. DOI: 10.1134/S199542121503003X.

22. Shcherba V. E., Grigoriev A. V., Averyanov G. S., Surikov V. I., Vedruchenko V. P., Galdin N. S., and Trukhanovaless D. A. The impact analysis of the connecting pipe length and diameter on the operation of a piston hybrid power machine of positive displacement with gas suction capacity. //AIP Conference Proceedings “Oil and gas engineering”(OGE-2017). Omsk, 24 April 2017. Vol. 1876. Ст. 020032. DOI: 10.1063/1.4998852.

23. Tarasov V. N., Boyarkina I. V. Method of sections in analytical calculations of pneumatic tires // Journal of Physics: Conference Series. 2018. Vol. 944, no. 1. Ст. 012116. DOI: 10.1088/1742-6596/944/1/012116.

REFERENCES

1. Denisov V.P., Matjash I.I., Zubarev K.V. Issledovanie vlijanija konstruktivnyh parametrov rabocheho organa avtogrejdera na ego proizvoditel'nost' [Investigation of the influence of the working body design parameters of the motor grader on its productivity]. *Vestnik SibADI*, 2015, no 2 (42), pp. 15-19. (in Russian).

2. Sevrov K.P., Gorjachko B.F., Pokrovskij A.A. *Avtogrejder. Konstruktsija, teorija, raschet* [Motor graders. Construction, theory, calculation]. Moscow, Mashinostroenie, 1970. 192 p. (in Russian).

3. Dobronravov S.S., Dobronravov M.S. *Stroitel'nye mashiny i oborudovanie* [Construction machinery and equipment]. Moscow, Vysshaja shkola, 2006. 445 p. (in Russian).

4. Syrkin V.V. Balakin P.D., Treyer V.A. Study of hydraulic direct-acting relief valve. *Journal of Physics: Conference Series*. 2017. Vol. 858: Mechanical Science and Technology Update. P. 012035. DOI: 10.1088/1742-6596/858/1/012035.

5. Agarkov A.M., Chehovskoj E.I. Analiz konstruktsii rabocheho oborudovanija avtogrejdera s tsel'ju povyshenija nadezhnosti [Analysis of the motor grader working equipment in order to improve reliability]. *Innovatsionnaja nauka*, 2016, no 12-2, pp. 9-11. (in Russian).

6. Korytov M.S., Shcherbakov V.S., Titenko V.V. Analytical solution of the problem of acceleration of cargo by a bridge crane with constant acceleration at elimination of swings of a cargo rope // *Journal of Physics: Conference Series*. 2018. Vol. 944, no. 1. St. 012062. DOI: 10.1088/1742-6596/944/1/012062.

7. Grebennikova N.N., Blednyh D.S. Sovershenstvovanie konstruktsii rabocheho oborudovanija avtogrejdera s tsel'ju rasshirenija ego `ekspluatatsionnyh vozmozhnostej [Improvement of the design of the motor grader working equipment in order to expand its operational capabilities]. *Mezhdunarodnyj studencheskij nauchnyj vestnik*, 2018, no 3-8, pp. 1235-1237. (in Russian).

8. Demidenko A.I., Letopol'skij A.B., Semkin D.S., Poterjaev I.K. `Eksperimental'nye issledovanija protsessa rezanija grunta skrebkami transhejnogo tsepnogo `eksavatora [Experimental studies of the soil cutting process with the trench chain excavator scrapers].

Izvestija TulGU. Tehnicheskie nauki, 2016, no 3, pp. 256-263. (in Russian).

9. Kapelyuhovskiy A.A., Stepanova E.P. The study of the emission frequency control system stability in hydropulse generator // AIP Conference Proceedings. 2017. Vol. 1876: Oil and Gas Engineering (OGE): conference . DOI: 10.1063/1.4998917. WOS:000410776900097.

10. Nikolaev A.P., Kisel'ov A.P., Gureeva N.A., Kisel'ova R.Z. *Raschet kompozitsionnykh inzhenernykh konstruktсий na osnove metoda konechnykh `elementov* [Calculation of composite engineering structures on the basis of the finite element method]. Volgograd. FGBOU VO Volgogradskij GAU, 2016. 128 p. (in Russian).

11. Kasumov E.V. Metodika poiska ratsional'nykh konstruktivnykh parametrov s primeneniem metoda konechnykh `elementov [The method of searching for rational design parameters using the finite element method]. *Uchenye zapiski TsAGI*, 2015, T. 46, no 2, pp. 63-79. (in Russian).

12. Alekseeva T.V., Galdin N.S., Sherman E.B. *Gidravlicheskie mashiny i gidroprivod mobil'nykh mashin* [Hydraulic machines and hydraulic drive of mobile machines]. Novosibirsk: Novosibirskij gosudarstvennyj universitet, 1994. 212 p. (in Russian).

13. Kurdjuk V.A., Vol'skaja N.S., Rusanov O.A. Modelirovanie sistemy "kuzov-podveska-koleso-grunt" s ispol'zovaniem metoda konechnykh `elementov [Modeling of the "body-suspension-wheel-ground" system using the finite element method]. *Izvestija Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta MAMI*, 2016, no 1 (27), pp. 9-15. (in Russian).

14. Panichkin A.V., Trubin A.S. Opredelenie `effektivnosti sovremennykh otechestvennykh avtogrejderov [Determination of the modern domestic motor graders efficiency]. *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*, 2016, no 4 (55), pp. 48-54. (in Russian).

15. Korchagin P.A., Teterina I.A. Matematicheskaja model' slozhnoj dinamicheskoy sistemy "vozmushchajushchie vozdejstviya - mashina - operator [Mathematical model of the complex dynamic system "perturbing effects - machine-operator"]. *Vestnik SibADI*, 2015, no 5 (45), pp. 118-123. (in Russian).

16. Shevchenko V.O., Ragulin V.N., Fateev R.V. Issledovanie nagruzhenija sistemy upravlenija osnovnym otvalom avtogrejdera metodom trehmernogo virtual'nogo modelirovanija [Investigation of the control system loading of the motor grader main dump using the method of three-dimensional virtual

modeling]. *Vestnik Har'kovskogo natsional'nogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta*, 2014, no 65-66, pp. 216-220. (in Russian).

17. Vodjanitskij A.V., Judina N.Ju. Primenenie metoda konechnykh elementov dlja reshenija zadach issledovanija uslovij ravnovesija i sovmestimosti deformatsij stoev kul'tivatora [Application of the finite element method for solving problems of studying equilibrium conditions and compatibility of deformations of the cultivator racks]. *Al'ternativnye istochniki energii v transportno-tehnologicheskome komplekse: problemy i perspektivy ratsional'nogo ispol'zovanija*, 2016, T. 3. no 3 (6), pp. 196-201. (in Russian).

18. Lipka V.M., Leont'ev V.V., Kopp V.Ja., Rapatskij Ju.L. Modelirovanie s pomosh'ju metoda konechnykh `elementov i issledovanie vlijanija silovykh nagruzok na nadezhnost' rez'bovykh soedinenij v silovykh agregatah avtomobilej [Modeling with the help of the finite element method and studying the influence of power loads on the reliability of threaded joints in power units of cars]. *Visnik SevNTU*, 2014, no 146, pp. 14-20. (in Russian).

19. Denisova L.A., Meshcheryakov V.A. Automatic parametric synthesis of a control system using the genetic algorithm. Automation and Remote Control. 2015. T. 76. № 1. pp. 149–156. DOI: 10.1134/S0005117915010142.

20. Erohina E.N. Metod konechnykh elementov – universal'noe sredstvo inzhenernogo analiza razlichnykh ob'ektov [Finite element method is a universal mean of the various objects' engineering analysis]. *Traditsii i innovatsii v stroitel'stve i arhitekture*. Arhitektura i dizajn. Samarskij gosudarstvennyj arhitekturno-stroitel'nyj universitet. Samara, 2015, pp. 372-377. (in Russian).

21. Baurova N.I., Zorin V.A., Prikhodko V.M. Technological heredity and identification of technological processes. Polymer Science. Series D. 2015. T. 8. № 3. S. 219-222. DOI: 10.1134/S199542121503003X.

22. Shcherba V.E., Grigoriev A.V., Averyanov G. S., Surikov V. I., Vedruchenko V. P., Galdin N. S., and Trukhanovaless D. A. The impact analysis of the connecting pipe length and diameter on the operation of a piston hybrid power machine of positive displacement with gas suction capacity. AIP Conference Proceedings "Oil and gas engineering"(OGE-2017). Omsk, 24 April 2017. Vol. 1876. St. 020032. DOI: 10.1063/1.4998852.

23. Tarasov V.N., Boyarkina I.V. Method of sections in analytical calculations of pneumatic tires. Journal of Physics: Conference Series. 2018.

Vol. 944, no. 1. St. 012116. DOI: 10.1088/1742-6596/944/1/012116.

Поступила 20.07.2018, принята к публикации 20.08.2018.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Конфликт интересов отсутствует.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Корчагин Павел Александрович – доктор технических наук, профессор, проректор по научной работе ФГБОУ ВО «СибАДИ» (644080, г. Омск, e-mail: Korchagin@sibadi.org).

Летопольский Антон Борисович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Техника для строительства и сервиса нефтегазовых комплексов и инфраструктур» ФГБОУ ВО «СибАДИ» (644080, г. Омск, e-mail: antooooon-85@mail.ru).

Тетерина Ирина Алексеевна – кандидат технических наук, научный сотрудник научно-исследовательского отдела ФГБОУ ВО «СибАДИ» (644080, г. Омск, e-mail: iateterina@mail.ru).

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Korchagin Pavel Aleksandrovich – doctor of technical science, professor, Vice-rector in Scientific Work, Siberian State Automobile and Highway University (644080, Omsk, e-mail: Korchagin@sibadi.org).

Letopolsky Anton Borisovich – candidate of technical science, associate professor of the Department "Engineering for the Construction and Service of Oil and Gas Complexes and Infrastructures", Siberian State Automobile and Highway University (644080, Omsk, e-mail: antooooon-85@mail.ru).

Teterina Irina Alekseevna – candidate of technical science, Researcher of the Scientific Research Department, Siberian State Automobile and Highway University (644080, Omsk, e-mail: iateterina@mail.ru).

ВКЛАД АВТОРОВ

Корчагин П.А. Составлены выражения для определения сопротивлений, возникающих при работе автогрейдера с боковым рабочим оборудованием. Проверка и корректировка статьи. Заключение.

Летопольский А.Б. Найдена суммарная сила сопротивления и сила тяги автогрейдера с боковым рабочим оборудованием. Разработана конструкция бокового рабочего оборудования автогрейдера. Выполнение прочностного расчета в программном продукте SolidWorks.

Тетерина И.А. Анализ состояния вопроса. Оформление готового варианта статьи. Выбор необходимых параметров для прочностного расчета. Разработка объемной модели для проведения прочностного расчета.

AUTHOR CONTRIBUTION

Korchagin P.A. Means for determining the resistances that arise, when the motor grader with side working equipment operates, are presented. The article correction is made. The "conclusion" sector is compiled.

Letopolsky A.B. The total drag force and traction force of the motor grader with lateral working equipment are found by the author. The design of the lateral working equipment of the motor grader is developed. Strength calculation in the Solid Works software product is performed.

Teterina I.A. The status of the issue analysis is prepared. The finished version of the article is presented. The necessary parameters for the strength calculation are selected. The volumetric model for carrying out strength analysis is developed by the author.