УДК 69.002.5

DOI 10.23968/1999-5571-2018-16-3-170-176

© П. Л. Пеклина, студентка

© P. L. Peklina, student

© Е. В. Куракина, канд. техн. наук, доцент
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: Pol2612@yandex.ru, elvl_86@mail.ru

© E. V. Kurakina, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
(Saint Petersburg State University of Architecture
and Civil Engineering)
E-mail: Pol2612@yandex.ru, elvl_86@mail.ru

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ АВТОГРЕЙДЕРА ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И РЕКОНСТРУКЦИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

IMPROVING THE MOTOR GRADER DESIGN AT CONSTRUCTION AND RECONSTRUCTION OF HIGHWAYS

Рассматривается совершенствование конструкции рабочего оборудования для строительства и содержания автомобильных дорог и транспортных сооружений, в частности способа крепления откосника отвала автогрейдера. Изменение конструкции выполнено за счет добавления к грейдерному отвалу дополнительных модулей с быстрозахватывающим креплением. Предлагаемое устройство направлено на повышение планирующей способности автогрейдера, увеличение производительности и эффективности дорожных работ. Быстрозахватывающее устройство, расположенное с двух сторон на отвале автогрейдера, позволяет применять дополнительные модули для выполнения различных типов работ и обеспечивает достаточную прочность конструкции.

Ключевые слова: автогрейдер, грейдерный отвал, откосник, быстрозахватывающее устройство, автомобильная дорога.

The article considers the improvement of working facilities design for construction and maintenance of highways and transport structures, in particular of the way of fixing the blade back sloper of the grader. Change of design is executed due to addition to the grader blade of additional modules with fast-gripping fixation. The offered improvement is aimed at increasing the grading ability of the motor grader and the productivity and efficiency of roadwork. Fast grader gripper device located from two sides on grader blade allows using additional modules for performance of various types of works and provides sufficient strength of design.

Keywords: motor grader, grader blade, back sloper, fast-gripper device, highway.

Дорожно-строительная отрасль немыслима без современного комплекта наземных транспортно-технологических машин. Технический прогресс способствовал повышению производительности технологий в дорожном строительстве и технического уровня оснащения дорожно-строительной техники. При строительстве, реконструкции автомобильных дорог, в частности при производстве земляных работ и сооружении некоторых элементов земляного полотна, ведущей машиной в комплексе является автогрейдер. К основным рабочим операциям автогрейдера относят выравнивание поверхностей перед укладкой первого слоя покрытия, перемещение грунта и перемешивание материалов на начальных этапах строительства,

профилирование откосов насыпей и выемок, планировка поверхности земляного полотна, устройство дренажной системы, очистка дорожного покрытия от снега, льда и снежного наката. В зависимости от выполнения функционально-технологической операции подбирают рабочее оборудование с учетом технических характеристик автогрейдеров (табл. 1).

В конструкцию грейдерного отвала входит отвал и профилировочный нож. Основные рабочие положения отвала автогрейдера представлены на рис. 1.

Исходя из условий эффективности функционально-технологических операций автогрейдера, производительность машины достигается при рабочих ходах протяженностью более

Таблица 1

Основные технические характеристики автогрейдеров

Наименование параметра технической характеристики													
Значения параметра	Параметр	Индекс автогрейдера	Эксплуатационная масса (М), кг	Мощность двигателя (N), кВт	Колесная схема	База, мм	Максимальная скорость передвижения ($V_{\max}$), км/ч	Рабочее оборудование			Трансмиссия	Дорожный просвет под отвалом, мм	Радиус поворота, м
	ДЗ-122Б	ДЗ-122Б	14500	100	1×2×3	5830	43	Грейдерный отвал	Бульдозерный отвал	Кировщик	Гидромеханическая или механическая	350	12,5
		ДЗ-143	13500	100	1×2×3	5800	43				Механическая		
		ДЗ-98А	19500	184	1×3×3	6000	40				Гидромеханическая	400	8
		ДЗ-140	26600	184	1×3×3	6800	40						

500 м, при боковом возведении насыпей дальность перемещения грунта должна быть не более 30 м. Однако если протяженность рабочих ходов меньше, то увеличивается время на перестановку рабочего оборудования и количество разворотов автогрейдера. Например, при выполнении основных рабочих операций (возведение насыпей – резание грунта – перемещение грунта – укладка и разравнивание грунта) 100 рабочими проходами на резание отводится около 20–30 проходов, на перемещение 60–75, укладку и разравнивание 5–10 проходов [1, 2, 6].

При строительстве автомобильной дороги рабочие участки разбиваются на захватки длиной не менее 400–500 м. Выбор последних связан с особенностями рельефа местности, расположением узлов коммуникаций и прочими условиями. В таких случаях для выполнения работ выбирают наиболее выгодное положение отвала с учетом углов захвата, резания и наклона (табл. 2) [1, 2, 6, 7].

В состав рабочего оборудования автогрейдера входят тяговая рама, поворотный круг, редуктор отвала и сам отвал с ножом (рис. 2) [2].

Основным рабочим оборудованием автогрейдера является полноповоротный грейдерный отвал с ножами (рис. 3) [2, 14]. Он расположен между осей машины, прикреплен к основной раме с помощью тяговой рамы, на которой расположен поворотный круг и приводной механизм поворотного круга, позволяющие поворачивать от-

Рис. 1. Схема рабочих положений отвала автогрейдера: 1 — поперечное перемещение грунта; 2 — продольное перемещение грунта; 3 — срезание внутреннего откоса; 4 — создание насыпи; 5 — срезание наружного откоса

вал в плане на 360 градусов. Это позволяет выполнять рабочие операции как при движении автогрейдера вперед, так и назад. Тяговая рама автогрейдера снабжена механизмом выноса, что позволяет выносить рабочее оборудование в сторону и наклонять отвал под необходимым углом к горизонту [1, 2, 6–8, 15].

Автогрейдерный отвал снабжается удлинителем и откосником. Последний представляет собой специальный треугольный отвал, предназначенный для профилирования треугольных и трапециевидных боковых канав. Удлинитель

Таблица 2

Рекомендуемые углы установки отвала, глубины резания и скорости движения автогрейдера при выполнении основных операций

Операция	Углы установки отвала			Глубина резания $h_{ср}$, см	Передача КП
	резания δ	резания γ	захвата α		
Резание без предварительного рыхления	30–35	10–15	40–45	8–20	I–II
Резание с предварительным рыхлением рыхлителем	35–45	10–15	30–40	15–20	I–II
Резание с предварительным рыхлением плугом	35–45	15	30–35	15–25	I–II
Перемещение влажного грунта	30–40	До 11	40–50	До 3	II–III
Перемещение сухого грунта	35–45	До 13	35–45	До 3	II–III
Разравнивание грунта с уплотнением	50–60	В соответствии с проектным уклоном	70–90	–	I–II
Разравнивание грунта без уплотнения	45–50		55–60	–	I–II
Планировка поверхностей	35–45	До 18	45–60	До 5	I–II
Срезка откосов	40–45	До 50	60–65	До 25	I–II

предназначен для увеличения длины отвала и представляет собой короткий отвал с ножом. Способ крепления основного отвала — болтами через отверстия, имеющиеся в отвале и удлинителе.

Для обеспечения качественной планировки откосов предложено достаточно способов совершенствования технологии и конструкторских решений в части дополнительного сменного рабочего оборудования автогрейдера — откосник. В научных трудах Н. Н. Гребенниковой, Д. С. Бледных откосник имеет поворотную составную колонку, часть которой в вертикальной плоскости крепится шарнирно к кронштейнам

на раме автогрейдера, другая часть — при помощи дополнительного гидроцилиндра в горизонтальной плоскости [3]. Данная конструкция предусмотрена для обеспечения качественной планировки откосов, обеспечивающей большую точность планировки дорожного полотна.

Патентный поиск позволил выявить изобретение «Рабочий орган для рытья траншей и каналов», в котором авторы предлагают внедрение лопасти, расположенной в нижней части каждого откосника, криволинейной формы, способ

Рис. 2. Рабочее оборудование автогрейдера ДЗ-122Б в сборе: 1 — тяговая рама; 2 — круг поворотный; 3 — отвал; 4 — редуктор поворота

Рис. 3. Узлы подвески грейдерного отвала: 1 — стойки поворотного круга; 2 — зубчатое колесо с внутренним зацеплением; 3 — антифрикционные накладки; 4 — А-образная тяговая рама; 5 — тяговый шарнир; 6 — поворотный круг

крепления данной лопасти авторами не представлен [4]. В конструкции «Автогрейдер с повышенной планирующей способностью» (полезная модель) рама автогрейдера выполнена шарнирно-сочлененной в вертикальной плоскости с помощью горизонтального шарнира. За счет изменения конструкции рамы автогрейдера повышается планирующая способность технологической машины [5].

Существующее устройство и крепление откосников представлены на рис. 4.

Откосник крепится к торцу основного отвала болтами и конец его прикрепляется к угольнику, другой конец которого крепится болтами к раме машины. Кроме того, при помощи цепи откосник прикрепляется к передней части рамы, длина цепи регулируется гайкой [5, 8–11]. К недостаткам существующих видов крепления рабочего оборудования автогрейдеров-откосников относятся: ограничение вращения отвала автогрейдера в плане; применимость для ограниченных видов работ; сложность крепления; большие временные затраты на монтаж и демонтаж конструкции.

Анализ существующих конструкций рабочего оборудования — отвала автогрейдера и ре-

зультаты научных исследований современных ученых внесли значительный вклад в научно-практическую область. В частности, совершенствование способа крепления откосника и влияние изменения такой конструкции на производительность и прочностные характеристики отвала; отсутствуют данные или затрагивают исследуемую тему незначительно.

Существует необходимость в устранении вышеперечисленных недостатков и повышении качества выполнения функционально-технологических операций автогрейдера и его производительности. Предлагается совершенствование конструкции автогрейдера — способ крепления откосника грейдерного отвала за счет быстрозахватывающего устройства крепления (рис. 5).

Крепление находится на задней части отвала. Вторая часть крепления — на передней части модуля. Соединение двух креплений обеспечивает надежность и прочность конструкции. К основному отвалу 1 подносится съемный модуль 2, нижний зев крепления 5 фиксируется на соответствующем ему стержне 3. Затем открывается верхнее крепление на модуле и закрепляется на верхнем стержне 3 с помощью гидроцилиндра крепления модуля 4. Механизм крепления защищен от попадания земли и грязи с помощью защитной стенки 6, расположенной на модуле. Механизм в сборе представлен на рис. 6.

Описание работ с применением разрабатываемого способа крепления откосника грейдерного отвала. Модули удобно применять при работах, для которых необходимо изменить положение отвала из горизонтального и поставить его под углом.

Резание грунта траншей и канав треугольного профиля с прямым углом между стенками возможна без использования дополнительного оборудования. Однако если требуется другой угол между стенками или другой вид профиля, например, трапециевидный, появляется необходимость использования дополнительных креплений на отвал, так как он не может справиться с поставленной задачей.

Грейдерный отвал применим для профилирования насыпей и выемок, поскольку механизм крепления отвала позволяет выносить его в сторону, поднимать и опускать, а также пово-

Рис. 4. Виды креплений отвала с откосником на автогрейдер: а — откосник треугольного профиля; б — откосник трапециевидного профиля: 1 — отвал; 2 — рама; 3 — поддерживающий угольник; 4 — стяжная гайка

Рис. 5. Схема быстрозахватывающего устройства: а — модуль, вид спереди; б — отвал, вид сзади; 1 — отвал; 2 — быстроъемный модуль; 3 — стержни; 4 — гидроцилиндр крепления модуля; 5 — зев крепления модуля; 6 — защитная стенка

рачивать под необходимым углом. Однако применение модулей для профилирования выемок и насыпей повышает качество выполнения работ, увеличивает производительность, а также может сократить время выполнения работ и количество проходов, что зависит от толщины срезаемой стружки и площади обрабатываемой площадки.

Профилирование дорожного полотна с наклонной обочиной также может происходить быстрее, с повышенной производительностью и уменьшенным количеством проходов за счет применения дополнительных модулей.

Рис. 6. Схема быстрозахватывающего устройства, вид сбоку: а — в разобранном состоянии; б — в сборе; 1 — отвал; 2 — быстроъемный модуль; 3 — стержни; 4 — гидроцилиндр крепления модуля; 5 — зев крепления модуля; 6 — защитная стенка

При необходимости профилирования большой горизонтальной площадки применимы быстроъемные удлинители, которые крепятся с обеих сторон на отвал, тем самым значительно увеличивая длину отвала и повышая производительность автогрейдера.

Производительность автогрейдера Π_3^a по предлагаемому способу крепления определяется по формуле

$$\Pi_3^a = \frac{3600 \cdot V_r \cdot 0,8}{t_{\text{ц}} \cdot K_p}, \quad (1)$$

где $t_{\text{ц}}$ — время рабочего цикла; K_p — коэффициент разрыхления; V_r — объем грунта, который определяется по следующей формуле:

$$V_r = \frac{(B + B_m) \cdot H^2}{2 \tan \lambda}, \quad (2)$$

где B — длина отвала; B_m — длина свободной части модуля; H — высота отвала; λ — угол откоса грунта.

Расчеты выполнены при работе с песком при длине пути перемещения 40 м. Производительность увеличилась на 25,7 % за счет увеличения длины отвала на 1 м посредством применения модуля, закрепленного с помощью быстрозахватывающего механизма.

Совершенствование конструкции крепления откосника грейдерного отвала за счет быстрозахватывающего устройства обосновано прочностными расчетами.

Изгибающий момент в опасном сечении I-I определяется по формуле

$$M_{\text{изг}} = P_x \cdot l_0, \quad (3)$$

где P_x — реакция грунта, равная 133,7 кН; l_0 — длина консольного конца отвала при его максимальном боковом смещении относительно кронштейнов, определяется по следующей формуле:

$$l_0 = \frac{B-l_1}{2} + B_m \cdot \cos \alpha, \quad (4)$$

где B — длина отвала 3,744 м; B_m — длина свободной части модуля; α — угол наклона модуля относительно горизонтальной поверхности 45° ; l_1 — расстояние между опорами отвала 1,5 м; l — максимальный вынос отвала 0,8 м.

Расстояния a и b от нейтральной линии до крайних точек сечения определяются по следующим формулам:

$$a = R_0 \left(\frac{\sin \alpha_1}{\alpha_1} - \cos \alpha_1 \right); \quad (5)$$

$$b = R_0 \left(1 - \frac{\sin \alpha_1}{\alpha_1} \right), \quad (6)$$

где R_0 — средний радиус кривизны сечения отвала, равный 0,58 мм; $\alpha_1 = \omega/2 = 65^\circ/2 = 32,5^\circ = 0,567$ — центральный угол дуги отвала.

Момент инерции в сечении I—I определяется по формуле

$$J = \frac{R_0^3 \cdot \delta}{64} \left(\alpha_1 + \sin \alpha_1 \cdot \cos \alpha_1 - \frac{2 \sin^2 \alpha_1}{\alpha_1} \right), \quad (7)$$

где δ — толщина отвала, равная 10 мм.

Тогда моменты сопротивления зон растяжения и сжатия сечения определяются по следующим формулам:

$$W_p = \frac{J}{a}; \quad (8)$$

$$W_{сж} = \frac{J}{b}. \quad (9)$$

Нормальные напряжения в растянутых волокнах определяются по формуле

$$\sigma_p = \frac{M_{изг}}{W_p}, \quad (10)$$

в сжатых волокнах — по формуле:

$$\sigma_{сж} = \frac{M_{изг}}{W_{сж}}. \quad (11)$$

Проведем сравнение полученных напряжений и сравним с допускаемыми. Допускаемое напряжение $[\sigma] = 541,7$ МПа, тогда $\sigma_{\max} = 262,2$ МПа $\langle [\sigma] = 541,7$ МПа — условие выполняется. Усовершенствованная конструкция отвала из выбранного материала и выбранной толщины грейдерного отвала удовлетворяет условиям прочности расчета.

Совершенствование конструкции автогрейдера при строительстве и реконструкции автомобильных дорог выполнено по научному направлению — разработка конструкций новых транспортно-технологических машин, комплексов и оборудования для строительства и содержания автомобильных дорог и транспортных сооружений, в частности совершенствование способа крепления откосника отвала автогрейдера. Изменение конструкции выполнено за счет добавления к грейдерному отвалу дополнительных модулей с быстрозахватывающим креплением.

Выполненные расчеты позволяют сделать вывод об увеличении производительности, повышении планирующей способности и прочностных характеристик отвала. Применение съемных модулей позволяет: сократить время работы автогрейдера для выполнения работ по отрывке канав и траншей; повысить производительность при создании насыпей и выемок, а также при профилировании большой горизонтальной площадки; сократить количество проходов при профилировании дороги с обочинами и кюветами. Быстрозахватывающее крепление модулей обеспечивает достаточную надежность конструкции и сокращает время работы на закрепление, замену и снятие модулей.

Библиографический список

1. Воскресенский Г. Г., Вербицкий Г. М. Оценка горизонтальной устойчивости автогрейдера в рабочем режиме // Вестник современных исследований. 2018. № 7.3 (22). С. 188–197.
2. Мукушев Ш. К., Филиппи В. В. Обзор конструкций отвалов автогрейдеров // Техника и технологии строительства. 2016. № 4 (8). С. 50–54.
3. Гребенникова Н. Н., Бледных Д. С. Дополнительное рабочее оборудование автогрейдера // Молодежь в науке: Новые аргументы: сб. науч. работ III Международной молодежной научной конференции. 2017. С. 30–32.
4. Пат. 2028415 RUS. Рабочий орган для рытья траншей и каналов / Сухоруков В. С., Красильщиков Е. Я., Скок А. К.
5. Автогрейдер с повышенной планирующей способностью / Гусев Б. В., Кузин Э. Н., Ландсман А. Я., Телушкин А. В., Харкун Б. И., Кустарев Г. В., Зорин В. А. // Полезная модель RU 102636.
6. Евтюков С. А., Евтюков С. С., Чудаков А. В., Куракина Е. В. Наземные транспортно-технологические

ческие машины / под общ. ред. С. А. Евтюкова. СПб.: ООО «Издательский дом «Петрополис», 2016. 504 с.

7. Волков С.А., Евтюков С.А. Строительные машины. СПб.: ООО «Изд-во ДНК», 2012. 597 с.

8. Куракина Е. В. Повышение эффективности наземных транспортно-технологических машин в зимних условиях // Вестник гражданских инженеров. 2017. № 2 (61). С. 205–212.

9. Куракина Е. В., Шиманова А. А., Лялинов А. Н. Совершенствование системы управления жизненным циклом наземных транспортно-технологических машин // Вестник гражданских инженеров. 2017. № 3 (62). С. 200–206.

10. Евтюков С. А., Чооду О. А., Монгуш С. Ч. Строительно-дорожные машины в экстремальных условиях эксплуатации // Вестник гражданских инженеров. 2017. № 6 (65). С. 239–244.

11. Sergei Repin, Sergey Evtiukov, Sergei Maksimov. A method for quantitative assessment of vehicle reliability impact on road safety. *Transportation Research Procedia*, Vol. 36, 2018, P. 661–668.

12. Paweł Rajczyk, Elena Kurakina, Marcin Knapinski. The influence of surface topography on the safety of road and utility surfaces // *Transportation Research Procedia*, Vol. 36, 2018. P. 640–648.

13. Elena Kurakina, Sergei Evtiukov, Jaroslaw Rajczyk. Forecasting of road accident in the DVRE system // *Transportation Research Procedia*, Vol. 36, 2018. P. 380–385.

14. Kurakina E., Evtiukov S. Results of studying road construction parameters' condition // *Architecture and Engineering*. 2018. T. 3. № 1. С. 29–37.

15. Kurakina E., Evtiukov S., Shimanova A. Improvement of the technology of earthworks in megacities // *Architecture and Engineering*. 2017. T. 2. № 4. С. 20–25.

References

1. Voskresenskiy G. G., Verbitskiy G. M. Otsenka gorizontal'noy ustoychivosti avtogreydera v rabochem rezhime [Evaluation of the horizontal stability of the motor grader in operation]. *Vestnik sovremennykh issledovaniy – Bulletin of modern research*, 2018, no. 7.3 (22), pp. 188–197.

2. Mukushev Sh. K., Filippi V. V. Obzor konstruktivnykh otvalov avtogreyderov [Review of designs of dump blades of motor graders]. *Tekhnika i tekhnologii stroitel'stva – Equipment and technologies of construction*, 2016, no. 4 (8), pp. 50–54.

3. Grebennikova N. N., Blednykh D. S. Dopolnitel'noe rabochee oborudovanie avtogreydera [Additional working equipment of the motor grader]. *Trudy III Mezhdunarodnoy molodezhnoy nauchnoy konferentsii «Molodezh' v nauke: Novye argumenty»* [Proc. of the III International youth

scientific conference "Youth in science. New arguments"]. 2017, pp. 30–32.

4. Sukhorukov V. S., Krasil'shchikov E. Ya., Skok A. K. *Rabochiy organ dlya rytya transhey i kanalov* [The working body for digging trenches and channels]. Patent RF no. 2028415RUS.

5. Gusev B. V., et al. *Avtogreyder s povyshennoy planiruyushchey sposobnost'yu. Poleznaya model'* [Grader with increased grading ability. Useful model]. Patent RF, no. 2028415RUS.

6. Evtiukov S. A., Evtiukov S. S., Chudakov A. V., Kurakina E. V. *Nazemnye transportno-tekhnologicheskie mashiny* [Land transport-technological machines]. Ed. by Evtiukov S. A. St. Petersburg, Petropolis Publ., 2016, 504 p.

7. Volkov S. A., Evtiukov S. A. *Stroitel'nye mashiny* [Construction machinery]. St. Petersburg, DNK Publ., 2012, 597 p.

8. Kurakina E. V. *Povyshenie ehffektivnosti nazemnykh transportno-tekhnologicheskikh mashin v zimnikh usloviyakh* [Improving the efficiency of land transport and technological machines in winter conditions]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2017, no. 2 (61), pp. 205–212.

9. Kurakina E. V., Shimanova A. A., Lyalinov A. N. *Sovershenstvovanie sistemy upravleniya zhiznennym tsiklom nazemnykh transportno-tekhnologicheskikh mashin* [Improving the lifecycle management of land transport-technological machines]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2017, no. 3 (62), pp. 200–206.

10. Evtiukov S. A., Choodu O. A., Mongush S. Ch. *Stroitel'no-dorozhnye mashiny v ehkstremaal'nykh usloviyakh ehkspluatatsii* [Construction and road machines in extreme operating conditions]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2017, no. 6 (65), pp. 239–244.

11. Sergei Repin, Sergey Evtiukov, Sergei Maksimov. A method for quantitative assessment of vehicle reliability impact on road safety. *Transportation Research Procedia*, 2018, vol.36, pp. 661–668.

12. Paweł Rajczyk, Elena Kurakina, Marcin Knapinski. The influence of surface topography on the safety of road and utility surfaces. *Transportation Research Procedia*, 2018, vol. 36, pp. 640–648.

13. Elena Kurakina, Sergei Evtiukov, Jaroslaw Rajczyk. Forecasting of road accident in the DVRE system. *Transportation Research Procedia*, 2018, vol. 36, pp. 380–385.

14. Kurakina E., Evtiukov S. Results of studying road construction parameters. *Architecture and Engineering*, 2018, vol. 3, no. 1, pp. 29–37.

15. Kurakina E., Evtiukov S., Shimanova A. Improvement of the technology of earthworks in megacities. *Architecture and Engineering*, 2017, vol. 2, no. 4, pp. 20–25.