

Научная статья
УДК 631.372:629.114.2
doi: 10.28983/asj.y2023i7pp147-152

**Направления исследований для снижения силы сопротивления движению
колёсного энергетического средства**

**Евгений Владимирович Маршанин¹, Евгений Евгеньевич Кузнецов², Сергей Васильевич Щитов²,
Олеся Павловна Митрохина², Наталья Петровна Кидяева², Вячеслав Николаевич Ковалевский²**

¹Дальневосточное высшее общевойсковое командное училище, г. Благовещенск, Россия.

²Дальневосточный государственный аграрный университет, г. Благовещенск, Россия.

e-mail: ji.tor@mail.ru

Аннотация. В статье рассматриваются эффективность использования энергетических средств во многом зависит от развиваемых ими тягово-сцепных свойств, что непосредственно влияет на реализуемую силу тяги на крюке. Исследованиями установлено, что касательная сила тяги, реализуемая энергетическим средством, расходуется на преодоление сил сопротивления движению и преодоление сил сопротивления сельскохозяйственной машины. В свою очередь сила сопротивления сельскохозяйственной машины во многом зависит от физико-механических свойств почвы, ширины захвата и скорости движения, особенно на глинистых и тяжёлых суглинистых типах почвы. При этом необходимо отметить, что данный тип почв оказывает значительное влияние на силу сопротивления движению, что связано с тем, что одновременно возникает дополнительная сила, связанная с преодолением ещё и сил вязкости, возникающих между частицами почвы при их отрыве друг от друга. Кроме этого, при налипании почвы на движители энергетического средства, возникает дополнительный расход энергии на раскрутку дополнительных маховых масс при увеличении массы движителя. Исследованиями и производственными наблюдениями установлено, что одним из способов снижения силы сопротивления движению на глинистых и тяжёлых суглинистых почвах является своевременное очищение колёсных движителей от налипшей на них почвы. В работе рассматривается вопрос снижения силы сопротивления движению за счёт пурификации (очищения) протектора шины колёсного движителя.

Ключевые слова: энергетическое средство; трактор; колёсный движитель; тягово-сцепные свойства; почва; липкость; сила трения; сила сопротивления движению; эффективность.

Для цитирования: Маршанин Е. В., Кузнецов Е. Е., Щитов С. В., Митрохина О. П., Кидяева Н. П., Ковалевский В. Н. Направления исследований для снижения силы сопротивления движению колёсного энергетического средства // Аграрный научный журнал. 2023. № 7. С. 147–152. [http: 10.28983/asj.y2023i7pp147-152](http://10.28983/asj.y2023i7pp147-152).

AGRICULTURAL ENGINEERING

Original article

Research directions for reducing the resistance force to the movement of a wheeled power vehicle

**Evgeny V. Marshanin¹, Evgeny E. Kuznetsov², Sergey V. Shchitov², Olesya P. Mitrokhina², Natalia P. Kidyaeva²,
Vyacheslav N. Kovalevsky²**

¹Far Eastern Higher Combined Arms Command School, Blagoveshchensk, Russia

²Far Eastern State Agricultural University, Blagoveshchensk, Russia

e-mail: ji.tor@mail.ru

Abstract. The article discusses the efficiency of the use of energy means largely depends on the traction properties developed by them, which directly affects the realized traction force on the hook. Studies have established that the tangential thrust force realized by the energy means is spent on overcoming the forces of resistance to movement and overcoming the forces of resistance of the agricultural machine. In turn, the resistance strength of an agricultural machine largely depends on the physical and mechanical properties of the soil, the width of the grip and the speed of movement, especially on clay and heavy loamy soil types. It should be noted that this type of soil has a significant impact on the strength of resistance to movement, which is due to the fact that at the same time there is an additional force associated with overcoming the viscosity forces that arise between the soil particles when they are separated from each other. In addition, when the soil adheres to the propellers of the energy vehicle, there is an additional energy consumption for the promotion of additional flywheel masses with an





increase in the mass of the propeller. Research and industrial observations have established that one of the ways to reduce the force of resistance to movement on clay and heavy loamy soils is the timely cleaning of wheel movers from the soil adhering to them. In the presented article, the issue of reducing the force of resistance to movement due to purification (purification) of the tire tread of the wheel mover is considered.

Keywords: power vehicle; tractor; wheel mover; traction properties; soil; stickiness; friction force; resistance force to movement; efficiency.

For citation: Marshanin E. V., Kuznetsov E. E., Shchitov S. V., Mitrokhina O. P., Kidyaeva N. P., Kovalevsky V. N. Research directions for reducing the resistance force to the movement of a wheeled power vehicle // Agrarnyy nauchnyy zhurnal = The Agrarian Scientific Journal. 2023;(7): 147–152. (In Russ.). <http://10.28983/asj.y2023i7pp147-152>.

Введение. Эффективность распределения мощности двигателя любого энергетического средства лучше всего оценивать через реализацию его тягово-цепных свойств, которые непосредственно влияют на производительность машинно-тракторного агрегата в целом. Возникающая при этом касательная сила тяги расходуется на тяговое усилие и силу сопротивления движению самого энергетического средства (трактора). Поэтому для повышения тягового усилия, реализуемого трактором, необходимо снижать силу сопротивления движению, что в частности наиболее актуально при движении по глинистым и тяжёлым суглинистым почвам [1, 12].

При движении по этим типам почв, как правило возникает дополнительная сила, затрачиваемая на преодоление вязкости почвы, возникающей между частицами почвы при их отрыве друг от друга. Установлено [3, 5], что при выполнении любой сельскохозяйственной операции наблюдаются значительные колебания крюковой нагрузки, что обосновывается неоднородностью степени уплотнения почвы, и приводит к потере эффективной мощности, затрачиваемой на момент инерции вращающихся масс, налипших на протектор колёсного движителя. Это фактор, в свою очередь, снижает мощность, затрачиваемую на преодоление сил сопротивления, возникающих от сельскохозяйственной машины, и ведёт к снижению поступательной скорости движения и уменьшению производительности МТА.

Цель исследования – повышение эффективности использования колёсных энергетических средств (на базе колёсного трактора) за счёт улучшения реализации тягово-цепных свойств движителя.

Методика исследований. Проверку проведенных теоретических исследований как правило проводят в полевых и лабораторных условиях. Проведение всего комплекса испытаний в соответствии с рекомендуемыми методиками в лабораторных условиях на натурных образцах машин (в данном случае трактор МТЗ-80) не всегда представляется возможным по ряду причин, связанных с невозможностью полной имитации реальных полевых условий. Выполнение экспериментальных испытаний в полевых условиях исключает отмеченные недостатки.

Объектом исследования был выбран энергетическое средство на базе колёсного трактора МТЗ-80 экспериментальный с установленным устройством для очистки движителя (рис. 1).

При выполнении различных транспортных работ трактор, комплектовался сельскохозяйственным прицепом 2ПТС-4, обычно используемым в Амурской области и дисковой бороной БДТ-3. Экспериментальный трактор использовался с устройством для пурификации (очистки) – комбинированным очистителем протектора колёсного движителя.

В связи с этим вопрос стабилизации тягово-цепных свойств трактора, что возможно при своевременном очищении налипшей на колёса энергетического средства почвы в движении, является актуальным и востребованным в сельском хозяйстве и промышленном производстве.

В работе предложены теоретические и экспериментальные исследования по повышению эффективности использования энергетических средств при применении современных и эффективных способов снижения силы сопротивления движению энергетического средства на глинистых и тяжёлых суглинистых почвах.

Результаты исследований. При проведении экспериментальных исследований установлено, что при использовании колёсных энергетических средств, в частности на глинистых и тяжёлых суглинистых типах почв, наблюдается полное залипание протектора движителей. Для устранения данного недостатка предлагаются различные способы и методы, каждый из которых имеет свои

преимущества и недостатки [9, 11]. В процессе производственных наблюдений установлено, что одним из наиболее эффективных является установка дополнительного механического устройства с вращающимися рабочими элементами по типу комбинированного очистителя протектора колёсного движителя, заявка ФИПС № 2022106338 на трактор (рис. 1–4), позволяющего своевременно удалять налипшую почву с поверхности движителя

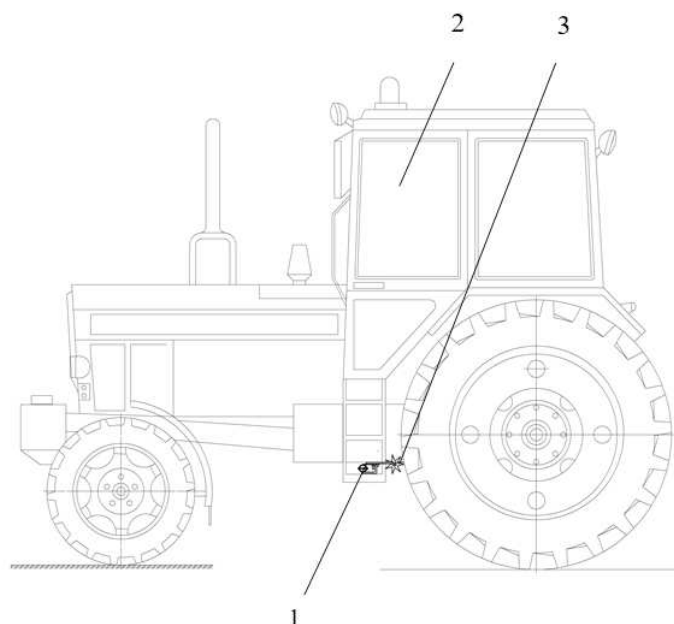


Рис. 1. Общий вид трактора с установленным устройством (комбинированный очиститель протектора колёсного движителя): 1 – устройство; 2 – трактор; 3 – полимерно-композитные очистители с лучеобразными вычищающими элементами

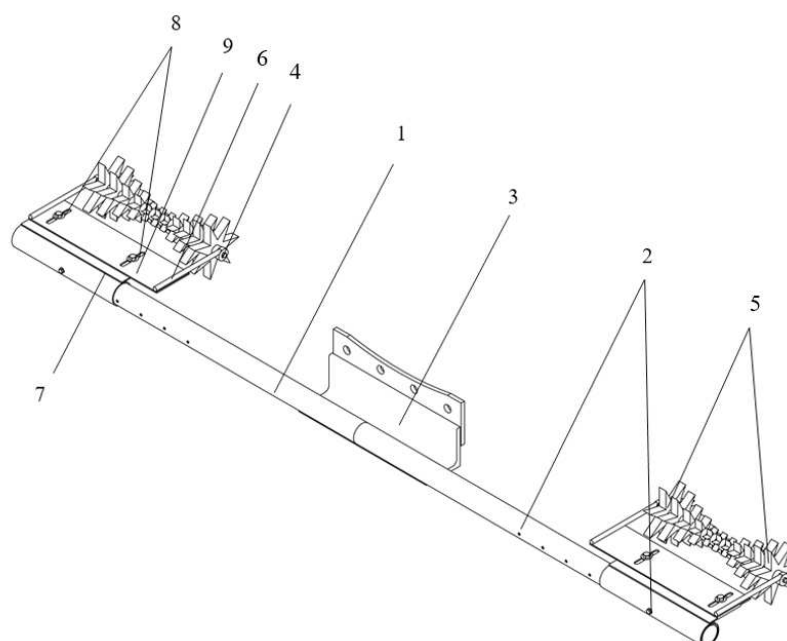


Рис. 2. Принципиальная схема комбинированного очистителя протектора колёсного движителя: 1 – несущая ось; 2 – металлическая трубчатая ось со сквозными горизонтальными отверстиями; 3 – кронштейн крепления; 4 – ось крепления вычищающих органов; 5 – съемные полимерно – композитные очистители с лучеобразными вычищающими элементами; 6 – направляющая регулируемой опоры; 7 – опорная площадка; 8 – продольные регулировочные вырезы; 9 – регулируемая опора

Конструкция и технологические характеристики данного устройства подробно описана в [4, 10].

Представляет определённый научный интерес рассмотрение вопроса определения силовых характеристик усилия, которое необходимо затратить на привод предложенного устройства- комбинированного очистителя протектора колёсного движителя.





Рис. 3. Опытное экспериментальное устройство - комбинированный очиститель протектора колёсного движителя



Рис. 4. Фрагмент проведения производственных испытаний трактора с установленным комбинированным очистителем протектора колёсного движителя

На основании проведенного математического обоснования получена зависимость, позволяющая определить усилие F_d , которое необходимо затратить на удаление налипшей на движители почвы

$$F_d = F_{тр} + F_{л} - F_{и} = fN + KS + K_1NS + F_{отр} - m\omega^2R, \quad (1)$$

где $F_{тр}$ – сила трения возникающая от скольжения почвы по поверхности грунтозацепа, Н; $F_{л}$ – результирующая сила, возникающая от сопротивления отрыву и скольжению по поверхности движителя при его качении, Н; $F_{и}$ – сила инерции почвы, заключённой между грунтозацепами, стремящаяся оторвать грунт от поверхности колеса, Н; f – коэффициент трения почвы заключённой между грунтозацепами о стенки грунтозацепа; N – сила нормального давления почвы, заключённой между грунтозацепами, на поверхность грунтозацепа, Н; K – коэффициент удельного прилипания почвы, заключённой между грунтозацепами, при отсутствии нормального давления; S – площадь контакта почвы, заключённой между грунтозацепами, с поверхностью движителя, м²; K_1 – коэффициент удельного прилипания почвы, заключённой между грунтозацепами, от воздействия нормального давления; $F_{отр}$ – сила, необходимая для отрыва слоя почвы, заключённой между грунтозацепами от поверхности движителя, Н; m – масса почвы заключённой между грунтозацепами, кг; ω – угловая скорость почвы заключённой между грунтозацепами, рад/с; R – расстояние слоя почвы, заключённой между грунтозацепами от центра вращения колеса, м.

Анализ полученной формулы (1) показал, что рассматриваемое усилие во многом зависит от площади контакта почвы, заключённой между грунтозацепами, с поверхностью колёсного движителя.



Для нахождения площади контакта движителя с почвой использовали один из методов математической физики – метод Фурье, при этом учитывалось, что в ходе работы лучеобразные вычищающие органы устройства совершают волнообразное движение определённой траектории и амплитудности согласно схемы на рис. 5.

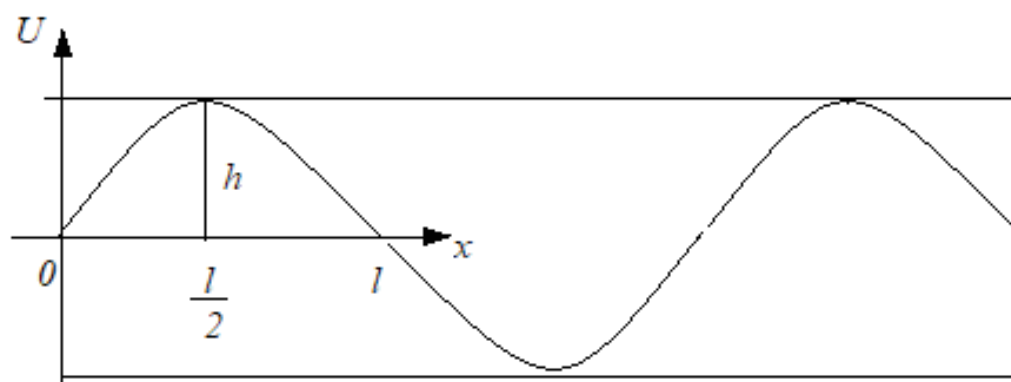


Рис. 5. Схема к определению движения единичного вычищающего элемента:
 h – отклонение от прямолинейного движения вычищающего элемента, м; l – длина волны, м.

В результате интегрального расчёта получена формула площади, вычищаемой одним лучеобразным рабочим органом.

$$S = \frac{32hl^2}{\pi^5(2n+1)^5 t} \sum_{n=0}^{\infty} \left(\sin \frac{(2n+1)\pi a_1}{l} - \sin \frac{(2n+1)\pi a_2}{l} \right) \cdot \sum_{n=0}^{\infty} \left(\cos \frac{(2n+1)\pi x_1}{l} - \cos \frac{(2n+1)\pi x_2}{l} \right). \quad (2)$$

где n – количество оборотов вычищающего элемента; a – угол отклонения вычищающего элемента, град; x – изменение траектории следа вычищающего элемента, м, π – математическая постоянная.

Таким образом, предложенная формула позволяет определить площадь вычищаемой контактирующей поверхности в звене «почвенный слой- протектор колёсного движителя» в зависимости от конструктивно-технологических параметров предлагаемого вычищающего устройства.

Результаты исследований. После проведения экспериментальных исследований в реальных условиях эксплуатации на глинистых и тяжёлых суглинистых почвах и анализа полученных результатов соответствующими методиками расчёта [6, 7] установлено, что снижение силы сопротивления движению при применении предлагаемой вычищающей конструкции позволило стабилизировать тягово-сцепные свойства колёсного движителя трактора и повысить скорость движения машинно-тракторного агрегата (МТА) на 14,1...15,3 % по сравнению с серийным МТА без очистителя протектора, работающим на выполнении полевых операций, за счёт снижения затрат сил на преодоление липкости почвы.

Закключение. На основании проведенных исследований установлено что использование комбинированного очистителя протектора колёсного движителя позволяет очистить поверхность движителя в движении и тем самым снизить силу сопротивления движению колёсного энергетического средства (трактор класса 1,4) на 10–12 % по сравнению с серийным МТА. Таким образом, предложенное устройство показало себя как достаточно эффективная конструкция, в сравнении с ранее известными техническими решениями [2, 8, 11], отличающаяся простотой и надёжностью, а, следовательно, и более значимой перспективой при промышленном внедрении в технологии агропромышленного производства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алдошин Н.В., Пехутов А.С. Повышение производительности при перевозке сельскохозяйственных грузов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2012. № 4. С. 26–27.
2. Гуськов Ю.А. Совершенствование сборочно-транспортного процесса и технических средств на заготовке грубых кормов: дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.01. Новосибирск, 2007. 211 с.





3. Кузнецов Е.Е., Щитов С.В. Повышение эффективности использования мобильных энергетических средств в технологии возделывания сельскохозяйственных культур. Благовещенск: Изд-во Дальневост. гос. аграр. ун-та, 2017. 272 с.

4. Рыбаков С.А., Щитов С.В., Кузнецов Е.Е. Исследование тягово-сцепных свойств энергетических средств в зависимости от залипания колёсного движителя // Техника и оборудование для села. 2015. № 12. С. 18–20

5. Практикум по сельскохозяйственным машинам / В.А. Скотников [и др.]. Минск, 1984. 375 с.

6. Методика изучения физико-механических свойств сельскохозяйственных растений. М.: ВИСХОМ, 1960. 269 с.

7. ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт экономики сельского хозяйства. URL: <http://www.vniiesh.ru> (дата обращения: 01.12.2022).

8. Худовец В.И., Щитов С.В., Использование многоосных энергетических средств класса 1,4. Благовещенск, 2013. 153 с.

9. Шишлов С.А., Редкокашин А.А., Шапарь М.С. Качественная предпосевная обработка почвы и посев - залог высокого урожая сои // Научное обозрение. 2015. № 15. С. 23–27.

10. Шуравин А.А., Кузнецов Е.Е. Способ корректирования тягово-сцепных свойств колёсного энергетического средства в повороте // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021. № 2 (88). С. 164–167.

11. Belyaev V.I., Fruhauf M., Mainel T. Ecological Consequences of Conversion of Steppe to arable Land in Western Siberia // *Europa Regional*. 2004. Vol. 1. No. 4. P.13–21.

12. Shchitov S.V., Tikhonchuk P.V., Bumbar I.V., Krivuca Z.F., Samuilo V.V., Yakimenko A.V., Mitrokhina O.P. Increasing The Shallowness Of The Wheeled Tractors // *Journal of Mechanical Engineering*. 1752. 41 (2) (2018). P. 31–34. Website: <https://jmerd.org.my/Paper/2018%2C%20VOLUME%202%2C%20ISSUE%202/31-34.pdfnull>.

REFERENCES

1. Aldoshin N.V., Pekhutov A.S. Increasing productivity in the transportation of agricultural goods. *Mechanization and electrification of agriculture*. 2012; 4: 26–27. (In Russ.).

2. Guskov Yu.A. Improvement of the assembly and transport process and technical means for the preparation of coarse feed: dissertation of the Doctor of Technical Sciences: 05.20.01. Novosibirsk, 2007. 211 p. (In Russ.).

3. Kuznetsov E.E., Shchitov S.V. Improving the efficiency of the use of mobile energy resources in the technology of cultivation of agricultural crops. *Blagoveshchensk*, 2017. 272 p. (In Russ.).

4. Rybakov S.A., Shchitov S.V., Kuznetsov E.E. Investigation of traction-coupling properties of energy means depending on the sticking of the wheel mover. *Machinery and equipment for the village*. 2015; 12: 18–20. (In Russ.).

5. Workshop on agricultural machines / V. A. Skotnikov. et al. Minsk, 1984. 375 p.

6. Methods of studying the physical and mechanical properties of agricultural plants. Moscow: VISKHOM, 1960. 269 p.

7. FGBNU All-Russian Research Institute of Agricultural Economics. URL: <http://www.vniiesh.ru> (date of reference: 01.12.2022).

8. Khudovets V.I., Shchitov S.V. The use of multiaxial energy means of class 1,4. *Blagoveshchensk*, 2013. 153 p. (In Russ.).

9. Shishlov S.A., Redkokashin A.A., Shapar M.S. Qualitative pre-sowing tillage and sowing - the key to a high yield of soybeans. *Scientific review*. 2015; 15: 23–27. (In Russ.).

10. Shuravin A.A., Kuznetsov E.E. A method for correcting the traction and coupling properties of a wheeled power tool in a turn. *Izvestiya of the Orenburg State Agrarian University*. 2021; 2 (88): 164–167. (In Russ.).

11. Belyaev V.I., Fruhauf M., Mainel T. Ecological Consequences of Conversion of Steppe to arable Land in Western Siberia. *Europa Regional*. 2004; 1; 4: 13–21.

12. Shchitov S.V., Tikhonchuk P.V., Bumbar I.V., Krivuca Z.F., Samuilo V.V., Yakimenko A.V., Mitrokhina O.P. Increasing The Shallowness of The Wheeled Tractors. *Journal of Mechanical Engineering*. 2018; 1752; 41 (2): 31–34. Website: <https://jmerd.org.my/Paper/2018%2C%20VOLUME%202%2C%20ISSUE%202/31-34.pdfnull>.

Статья поступила в редакцию 7.12.2022; одобрена после рецензирования 04.02.2023; принята к публикации 30.02.2023.

The article was submitted 7.12.2022; approved after reviewing 04.02.2023; accepted for publication 30.02.2023.