

Научная статья

УДК 631.372:629.114.2

Исследование зависимостей радиуса поворота колёсного транспортного средства от физико-механических свойств почвы

Александр Сергеевич Вторников, Сергей Николаевич Марков, Семён Сергеевич Ус,
Сергей Васильевич Щитов, Евгений Евгеньевич Кузнецов
Дальневосточный ГАУ

Аннотация. При выполнении работ, связанных с перемещением груза на расстояние, большое влияние на эффективность перевозочного процесса оказывают природно-климатические и дорожные условия, в которых осуществляется транспортная операция. Это объясняется тем, что на процесс выполнения поворота оказывают влияние как состояние дорожного покрытия, так и геометрические параметры, конфигурация и рельефные особенности самой дороги. Вопросы времени прохождения и соблюдения скоростных характеристик энергетических средств в повороте являются актуальными для производства, так как от них во многом зависит эффективность использования самих энергетических средств, осуществляющих перевозку грузов. В Амурской области рассмотрение этих условий является необходимым, так как транспортировка грузов осуществляется в неблагоприятных условиях, связанных в зимний период времени с наличием гололёда или высокого снежного покрова, а в весенне-осенний период – с выпадением большого количества осадков. В Амурской области большой процент сельскохозяйственных дорог приходится на полевые грунтовые, особенно в северных районах области, куда при отсутствии железнодорожного сообщения необходимо поставлять все грузы только автомобильным транспортом. Обычно для выполнения объёма перевозок и снижения влияния указанных факторов используются полноприводные энергетические средства – автомобили многоцелевого назначения. В статье рассмотрены результаты теоретических и экспериментальных исследований по влиянию физико-механических свойств почвы на процесс поворота, выполняемого колёсным энергетическим средством.

Ключевые слова: колёсный транспорт, физико-механические свойства почвы, радиус поворота, сила сопротивления повороту, эффективность.

Для цитирования: Исследование зависимостей радиуса поворота колёсного транспортного средства от физико-механических свойств почвы / А.С. Вторников, С.Н. Марков, С.С. Ус [и др.] // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021. № 1 (87). С. 121–124.

Original article

Research on the reliance of the turn radius wheeled vehicle from the physical and mechanical properties of the soil

Alexander S. Vtornikov, Sergey N. Markov, Semyon S. Us,
Sergey V. Shchitov, Evgeniy E. Kuznetsov,
Far Eastern State Agrarian University

Abstract. When performing work related to the movement of cargo over a distance, the climatic and road conditions in which the transport operation is carried out have a great influence on the efficiency of the transportation process. This is due to the fact that the process of making a turn is influenced by both the state of the road surface and the geometric parameters, configuration and relief features of the road itself. The issues of transit time and observance of the speed characteristics of energy facilities in a turn are relevant for production, since the efficiency of the use of the energy facilities themselves, carrying out the transportation of goods, largely depends on them. In the Amur Region, consideration of these conditions is necessary, since the transportation of goods is carried out in unfavorable conditions associated with the presence of ice or high snow cover in the winter period, and with a large amount of precipitation in the spring-autumn period. In the Amur Region, a large percentage of agricultural roads fall on field unpaved roads, especially in the northern regions of the region, where, in the absence of a railway connection, it is necessary to deliver all goods only by road. Usually, to carry out the volume of traffic and reduce the influence of these factors, all-wheel drive energy means are used – multi-purpose vehicles. The article considers the results of theoretical and experimental studies on the influence of the physical and mechanical properties of the soil on the turning process performed by a wheeled power tool.

Keywords: wheeled transport, physical and mechanical properties of soil, turning radius, turning resistance force, efficiency.

For citation: Research on the reliance of the turn radius wheeled vehicle from the physical and mechanical properties of the soil / A.S. Vtornikov, S.N. Markov, S.S. Us et al. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2021; 87(1): 121–124. (In Russ.).

При выполнении процесса, связанного с поворотом, к энергетическому средству предъявляется основное требование – обеспечение безопасности движения, при котором энергетическое средство не выйдет за ширину транспортного коридора, даже при движении с сцепным агрегатом [1, 2].

В условиях дорог 1–3 технической категории движение происходит в условиях достаточного сцепления его движителей с поверхностью дороги [3], тогда как при осуществлении поворота в условиях недостаточных сцепных свойств на дорогах сельскохозяйственного назначения воз-

никают проблемы, связанные со следующими обстоятельствами:

- недостаточной силой бокового сопротивления почвы, возникающей от её сдвига;
- малой силой трения между поверхностью движения (почвой) и эластичным колесом;
- силой инерции на повороте больше результирующих сил, обозначенных выше [4, 5].

Иными словами, должно выполняться следующее условие движения:

$$F_c \geq F_{\Pi} + F_T + F_{и}, \quad (1)$$

- где F_c – общая сила сопротивления, необходимая для осуществления поворота, Н;
 F_{Π} – сила сопротивления почвы, возникающая от сдвига почвы в горизонтальном направлении, Н;
 F_T – сила сопротивления, возникающая при скольжении колеса по почве, Н;
 $F_{и}$ – сила, возникающая от сил инерции на повороте, Н.

Рассмотрим более подробно составляющие перечисленных выше сил.

Если не будет выполняться условие (1), то при повороте будет возникать эффект скольжения, который приведёт к увеличению ширины транспортного коридора, а следовательно, и к снижению безопасности движения на повороте [6, 7].

Сила сопротивления почвы, возникающая от сдвига почвы в горизонтальном направлении, в общем случае определится по выражению:

$$F_{\Pi} = S_c \tau_t, \quad (2)$$

где S_c – боковая площадь среза почвы колесом, м²;

τ_t – касательное напряжение почвы, кПа.

Для определения силы сопротивления почвы, возникающей от её сдвига, необходимо знать касательные напряжения, возникающие в почве при её деформации при сдвиге. Для условий Амурской области касательное напряжение почвы равно [8]:

$$\tau_t = f_{ск} q t h \frac{S}{K_{\tau}}, \quad (3)$$

где τ_t – касательное напряжение почвы, кПа;
 $f_{ск}$ – коэффициент внешнего трения скольжения почвы;

S – величина смещения колеса относительно почвы, м;

K_{τ} – коэффициент деформации почвы.

С учётом коэффициента деформации формулу (3) можно представить следующим образом:

$$\tau_t = (c + qtgp) t h \frac{S}{K_{\tau}}, \quad (4)$$

где c – коэффициент сцепления почвы, кПа;
 ρ – угол внутреннего трения почвы, град;
 q – нормальное давление движителя на почву, кПа.

При скольжении колеса относительно почвы возникает его смещение, которое в общем случае можно определить по выражению:

$$S = \delta X, \quad (5)$$

где δ – буксование;

X – длина пятна контакта колеса с почвой, м.

С учётом выражения (5) формула (2) примет вид:

$$F_{\Pi} = S_c \tau_t = S_c (c + qtgp) B t h \delta / K_{\tau}, \quad (6)$$

где B – ширина колеса, м.

Сила трения, возникающая между поверхностью почвы и колесом, равна:

$$F_T = X B \mu q_{пр}, \quad (7)$$

где μ – коэффициент трения резины о почву;

$q_{пр}$ – удельное давление прицепа на почву, кПа.

Силу инерции на повороте можно определить по выражению:

$$F_{и} = M a, \quad (8)$$

где M – масса транспортного средства, кг;

a – ускорение, возникающее при повороте (центростремительное ускорение), м/с².

Таким образом, общая сила сопротивления повороту равна:

$$F_c = F_{\Pi} + F_T + F_{и} \quad (9)$$

или

$$F_c = S_c (c + qtgp) B t h \delta / K_{\tau} + X B \mu q_{пр} + M a. \quad (10)$$

Исходя из вышесказанного для обеспечения безопасного поворота должно выполняться условие согласно выражению (1):

$$F_c \geq S_c (c + qtgp) B t h \delta / K_{\tau} + X B \mu q_{пр} + M a. \quad (11)$$

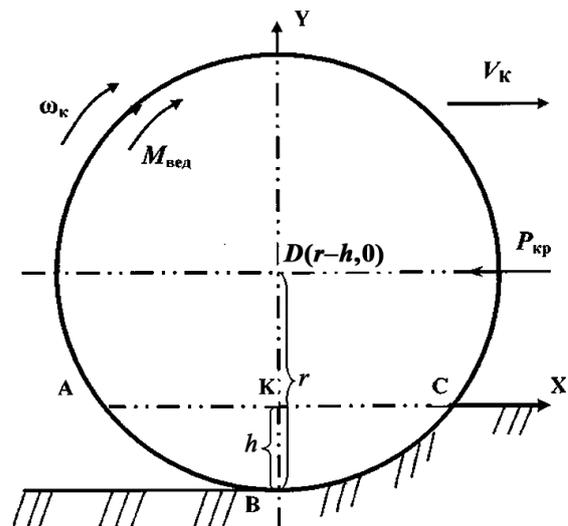


Рис. 1 – Схема качения колеса по деформированной поверхности:
 h – глубина погружения колеса в почву, м;
 $M_{вед}$ – ведущий момент, приложенный к колесу, с⁻¹; V_k – скорость движения колеса, м/с; D – диаметр колеса, м; r – радиус колеса, м; ω_k – угловая скорость колеса, рад/с;
 $P_{кр}$ – сила сопротивления движению, Н

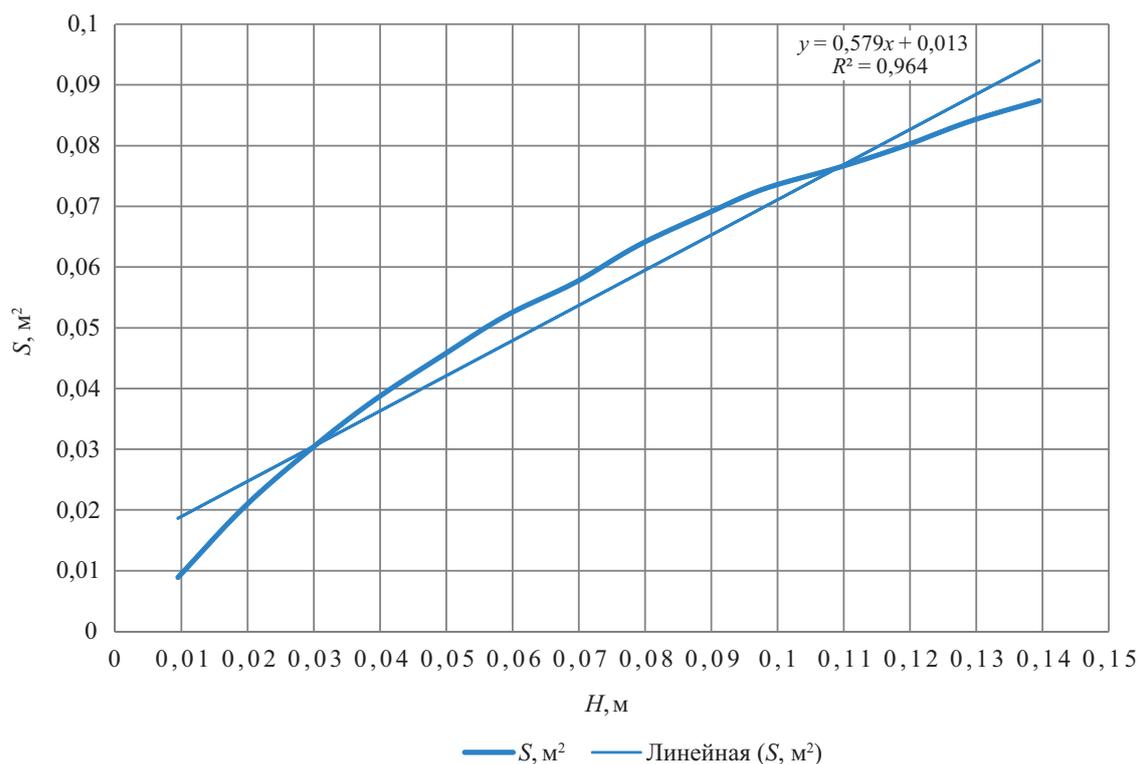


Рис. 2 – Зависимость площади сдвига почвы от глубины погружения

Как показывает анализ уравнения (11), на общую силу сопротивления сдвигу будут оказывать влияние следующие величины: боковая площадь среза почвы колесом, длина контакта колеса с почвой и масса транспортного средства.

Более детальный анализ показал [5], что основное влияние на процесс поворота оказывает сила сопротивления почвы, возникающая от сдвига почвы в горизонтальном направлении, на которую в свою очередь оказывает влияние площадь сдвига почвы в горизонтальном направлении. Силы, действующие на колесо при движении по деформируемой поверхности, показаны на рисунке 1.

Как показывает рисунок 2, площадь сдвига почвы колесом в горизонтальной плоскости зависит от глубины его погружения в почву. С целью определения площади сдвига почвы колесом в горизонтальной плоскости [8], которая зависит от глубины его погружения, были проведены исследования на основании методик [9, 10], результаты которых показаны на рисунке 2.

Полученная зависимость может быть описана предлагаемым уравнением регрессии:

$$y = 0,5797x + 0,0131. \quad (12)$$

Результаты экспериментальных исследований подтверждают теоретические зависимости и показывают, что с увеличением глубины погружения колеса в почвенный слой площадь сдвига увеличивается и, как следствие, повышается и сила сопротивления сдвигу в горизонтальной плоскости.

На основании вышеизложенного можно сделать **вывод**, что на процесс поворота колёсного энергетического средства значительное влияние оказывают её физико-механические свойства.

Литература

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. Новосибирск, 2007. 211 с.
3. Increasing the shallowness of the wheeled tractors / Shchitov S.V., Tikhonchuk P.V., Bumbar I.V. et al. // Journal of Mechanical Engineering. 2018. 41 (2). P. 31–34.
4. Кушнарев А.Н., Кузнецов Е.Е., Кривуца З.Ф. Совершенствование использования многозвенных тракторно-транспортных поездов // Техника и оборудования для села. 2020. № 6 (276). С. 14–17.
5. Повышение продольно-поперечной устойчивости и снижение техногенного воздействия на почву колёсных мобильных энергетических средств: монография / С.В. Щитов, Е.Е. Кузнецов, Е.С. Поликутина [и др.] Благовещенск: Изд-во Дальневост. гос. аграр. ун-та, 2020. 148 с.
6. Методологическое обоснование выбора конструкции устройств рационального перераспределения сцепного веса / С.В. Щитов, Е.Е. Кузнецов [и др.] // Электронный научно-производственный журнал «АгроЭкоИнфо». 2016. № 2 (24). 24 с.
7. Худовец В.И., Щитов С.В., Использование многоосных энергетических средств класса 1,4: монография. Благовещенск, 2013. 153 с.
8. Пути повышения эффективности использования колёсных тракторов класса 1,4 в условиях Амурской

области: монография / И.А. Архипов В.И. Злобин, И.Д. Темнюк [и др.]. Благовещенск: Изд-во Дальневост. гос. аграр. ун-та, 2009. 267 с.

9. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М.: Наука, 1976. 279 с.

10. Кузнецов Е.Е., Щитов С.В. Повышение эффективности использования мобильных энергетических средств в технологии возделывания сельскохозяйственных культур: монография. Благовещенск, 2017. 272 с.

Александр Сергеевич Вторников, аспирант. ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный аграрный университет». Россия, 675005, Амурская область, г. Благовещенск, ул. Политехническая, 86, avtornikov@mail.ru

Сергей Николаевич Марков, аспирант. ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный аграрный университет». Россия, 675005, Амурская область, г. Благовещенск, ул. Политехническая, 86, toyota103@mail.ru

Семён Сергеевич Ус, магистрант. ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный аграрный университет». Россия, 675005, Амурская область, г. Благовещенск, ул. Политехническая, 86, 30robostudio30@gmail.com

Сергей Васильевич Щитов, доктор технических наук, профессор. ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный аграрный университет». Россия, 675005, Амурская область, г. Благовещенск, ул. Политехническая, 86, shitov.sv1955@mail.ru

Евгений Евгеньевич Кузнецов, доктор технических наук, доцент. ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный аграрный университет». Россия, 675005, Амурская область, г. Благовещенск, ул. Политехническая, 86, ji.tor@mail.ru

Alexander S. Vtornikov, postgraduate. Far Eastern State Agrarian University. 86, Polytechnicheskaya St., Blagoveshchensk, Amur Region, Russia, avtornikov@mail.ru

Sergey N. Markov, postgraduate. Far Eastern State Agrarian University. 86, Polytechnicheskaya St., Blagoveshchensk, Amur Region, Russia, toyota103@mail.ru

Semyon S. Us, research worker. Far Eastern State Agrarian University. 86, Polytechnicheskaya St., Blagoveshchensk, Amur Region, Russia, 30robostudio30@gmail.com

Sergey V. Shchitov, Doctor of Technical Sciences, Professor. Far Eastern State Agrarian University. 86, Polytechnicheskaya St., Blagoveshchensk, Amur Region, Russia, shitov.sv1955@mail.ru

Evgeniy E. Kuznetsov, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor. Far Eastern State Agrarian University. 86, Polytechnicheskaya St., Blagoveshchensk, Amur Region, Russia, ji.tor@mail.ru