

Пономарев Н.В., Кривуца З.Ф., Худовец В.И., Шарипова Т.В., Поликутина Е.С., Щитов С.В.,
Кузнецов Е.Е. Обоснование режимов конструкции для повышения поперечной устойчивости
грузовых автомобилей в повороте

.....
Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
=====

ГРНТИ 68.85.87

УДК 631.372:629.114.2

**Обоснование режимов конструкции для повышения поперечной
устойчивости грузовых автомобилей в повороте**

*Пономарев Н.В., Кривуца З.Ф., Худовец В.И., Шарипова Т.В., Поликутина Е.С.,
Щитов С.В., Кузнецов Е.Е.*

Дальневосточный государственный аграрный университет

Аннотация

При эксплуатации грузового транспорта в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур, в небольших хозяйствах в частности, возникает необходимость перевозки грузов, перевозка которых должна осуществляться специальными автомобилями. В частности речь идет о жидких и сыпучих грузах. Перевозка таких грузов должна осуществляться с особой осторожностью, так как они имеют важную особенность, которая заключается в том, что при выполнении маневра поворота эти грузы создают дополнительный переворачивающий момент, возникающий от его перемещения по поверхности платформы кузова (центробежной силы). В связи с тем, что в небольших сельскохозяйственных предприятиях, в частности в крестьянско-фермерских хозяйствах, автомобильный парк не всегда обеспечен специальными автомобилями эти перевозки осуществляются в основном бортовыми автомобилями, не приспособленными для этих целей.

В представленной статье нашли отражение результаты исследований, направленных на решение обозначенной выше проблемы, за счёт установки дополнительного устройства, позволяющего снизить влияние дополнительного переворачивающего момента от перемещения груза по платформе кузова (центробежной силы).

Ключевые слова: АВТОМОБИЛЬ, ПЕРЕВОЗКА, ПЛАТФОРМА КУЗОВА, ПЕРЕВОРАЧИВАЮЩИЙ МОМЕНТ, ВОЗМУЩАЮЩИЙ МОМЕНТ, ПОПЕРЕЧНАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ, ЭФФЕКТИВНОСТЬ

Пономарев Н.В., Кривуца З.Ф., Худовец В.И., Шарипова Т.В., Поликутина Е.С., Щитов С.В.,
Кузнецов Е.Е. Обоснование режимов конструкции для повышения поперечной устойчивости
грузовых автомобилей в повороте

.....
Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
=====

Введение

Неотъемлемой частью технологии возделывания сельскохозяйственных культур являются транспортные работы, которые предусматривают перевозку как жидких (наливных), так и сыпучих грузов [1]. В больших хозяйствах для этих целей имеются специальные автомобили-цистерны, которые способны безопасно выполнять эту операцию [2]. В небольших же крестьянско-фермерских хозяйствах (КФХ) зачастую данную работу выполняют автомобилями, не приспособленными к этим перевозкам.

Поэтому часто возникают случаи, когда автомобили теряют поперечную устойчивость вследствие того, что данные грузы во время поворота смещаются по инерции в сторону, противоположную направлению поворота, создавая при этом значительный переворачивающий момент [3]. При этом необходимо отметить и тот факт, что перевозка наливных и сыпучих грузов требует особых навыков и умений водителя. С этой целью водители, занятые на перевозке этого вида грузов, проходят специальное дополнительное обучение по правилам перевозки опасных грузов.

Сказанное выше определяет необходимость поиска технических решений данной проблемы с целью предложения конструкций, которые бы при использовании позволили бы снизить вероятность перемещения груза по платформе при совершении поворота за счёт горизонтальной стабилизации платформы кузова.

В статье рассматривается вопрос повышения эффективности использования грузового автомобильного транспорта при перевозке жидких и сыпучих грузов за счёт установки специального устройства, позволяющего повысить поперечную устойчивость автомобиля за счёт стабилизации горизонтального положения платформы кузова в повороте.

Результаты исследований

На основании ранее проведенных исследований, патентного поиска и анализа научных работ было предложено устройство по патенту РФ № 158328 (рис. 1), которое способствовало перераспределению нагрузки между движителями, находящимися на одной оси при движении по склоновым поверхностям [4].



Рис. 1. Общий вид многоцелевого автомобиля, оборудованного устройством для перераспределения нагрузки между двигателями

Предложенное приспособление хорошо зарекомендовало себя при опытной эксплуатации, получило ряд положительных отзывов и позволило эксплуатировать автомобили на склоновых поверхностях за счёт увеличения коэффициента поперечной стабилизации [5].

В то же время, как показали проведенные исследования [3, 5], данное приспособление в движении при повороте не в полной мере отвечало требованиям безопасности при перевозке жидких и сыпучих грузов, что является достаточно критическим замечанием и основанием для продолжения дальнейших научно-исследовательских работ в выбранном направлении.

Пономарев Н.В., Кривуца З.Ф., Худовец В.И., Шарипова Т.В., Поликутина Е.С., Щитов С.В.,
Кузнецов Е.Е. Обоснование режимов конструкции для повышения поперечной устойчивости
грузовых автомобилей в повороте

.....
Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

=====

В ходе углублённого поиска решения проблемы было предложено устройство, которое позволило не только совместить в себе все положительные качества ранее предложенного технического решения, но и способствовало стабилизации горизонтального положения платформы кузова при повороте. Это было достигнуто за счёт установки дополнительных пружин сжатия, которые реагируют на отклонения рамы автомобиля и позволяют при коротких поворотах удерживать горизонтальные углы, не допуская резких смещений кузова, а при длинных затяжных поворотах - плавно опускают платформу кузова без значительного её отклонения, что позволяет не уменьшать скорость движения транспортного средства в повороте.

Из теории движения автомобиля известно, что при его перемещении во время поворота возникает момент инерции, который стремится переместить груз по платформе в одну из сторон, в зависимости от направления поворота, при этом изменяется горизонтальное положение кузова и тем самым дополнительно создаётся условие для перемещения груза.

В рамках проводимого исследования целесообразно проанализировать влияние сил инерции, действующих на автомобиль при движении на повороте с меняющимся углом управляющих колес и с переменной скоростью (рис. 2).

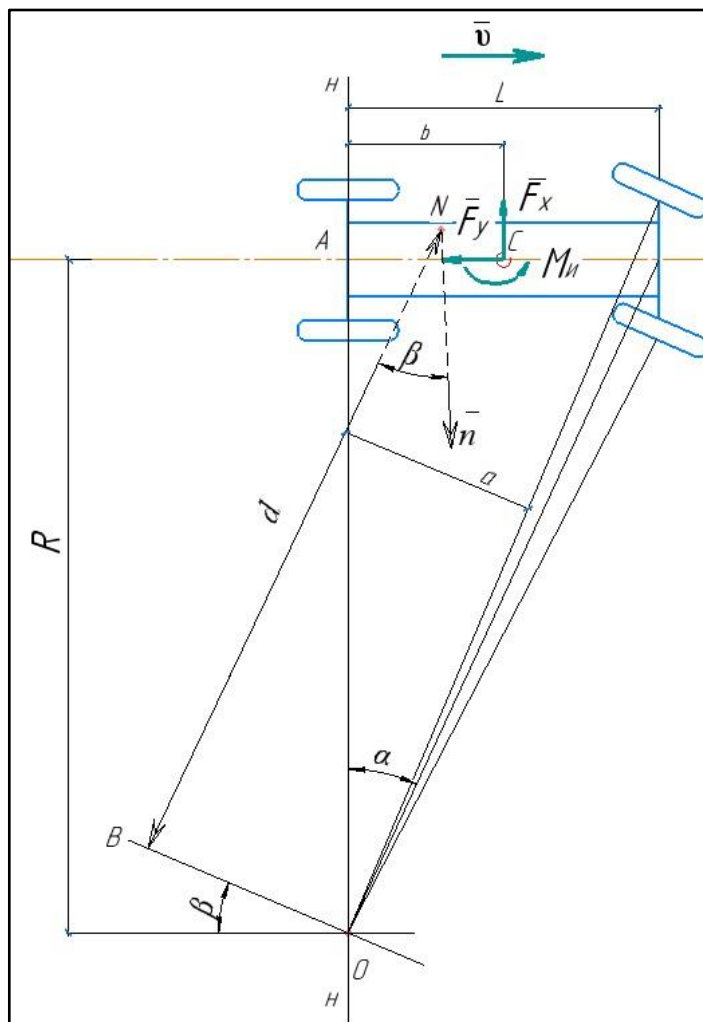


Рис. 2. Схема сил действующих на груз в повороте при горизонтальном положении платформы кузова

Примечание: α - средний угол поворота обоих управляемых колес, град; O - мгновенный полюс вращения; v - поступательная скорость автомобиля, м/с; R - радиус поворота отнесенный к середине задней оси автомобиля, м.

Учитывая, что средний угол поворота обоих управляемых колес α постоянен, то в любой момент времени автомобиль поворачивается около мгновенного полюса вращения O , положение которого не изменяется и движение автомобиля можно рассматривать, как вращение в плоскости вокруг полюса вращения O (рис. 2). В случае изменения угла поворота α положение полюса будет меняться.

Полное ускорение мгновенного полюса вращения O может быть записано в следующем виде:

$$j_0 = a\sqrt{\omega^4 + \varepsilon^2} = R\varepsilon - \frac{dv}{dt}, \quad (1)$$

где ω – угловая скорость автомобиля, $\frac{\text{рад}}{\text{с}}$; ε – угловое ускорение автомобиля, $\frac{\text{рад}}{\text{с}^2}$; R – радиус поворота, отнесенный к середине задней оси автомобиля, м.

Ускорение центра масс C , относительно точки A , определяется геометрической суммой тангенциального ускорения \vec{a}_τ и нормального ускорения \vec{a}_n

$$j_C = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2} = b\sqrt{\omega^4 + \varepsilon^2}, \quad (2)$$

С целью определения критических параметров устойчивости в рассматриваемом случае удобно воспользоваться методом Даламбера, т. е. рассматривать условия равновесия автомобиля с учетом силы инерции F приложенной в центре масс. Для определения силы инерции, приложенной к центру масс, применительно к рассматриваемому случаю целесообразно разложить её на две составляющие по осям (рисунок 3). Сила инерции F прямо пропорциональна массе автомобиля и его ускорению и направлена противоположно ускорению. Следовательно, учитывая формулу (1-2) составляющая силы инерции, вдоль оси автомобиля равна

$$F_x = \frac{G}{g} \left(\frac{dv}{dt} - b\omega^2 \right), \quad (3)$$

нормальная составляющая силы инерции определяется выражением

$$F_y = \frac{G}{g} (R\omega^2 + b\varepsilon) = \frac{G}{g} \left(\frac{v^2}{R} + b\varepsilon \right), \quad (4)$$

Следовательно, результирующая сила инерции имеет вид

$$F = \frac{G}{g} \sqrt{\left(\frac{dv}{dt} - b\omega^2 \right)^2 + \left(\frac{v^2}{R} + b\varepsilon \right)^2}, \quad (5)$$

где G – вес автомобиля без груза, Н; g – ускорение силы тяжести, $\text{м}/\text{с}^2$.

Анализируя уравнения (3-5), видим, составляющие силы инерции, приложенные к центру масс, пропорциональны массе автомобиля, скорости движения и его ускорению.

При движении автомобиля с грузом в повороте возникающая сила инерции стремится сместить груз в сторону и тем самым снизить поперечную устойчивость автомобиля (рис. 3). В этом случае сила инерции возрастает и определяется формулой

Пономарев Н.В., Кривуца З.Ф., Худовец В.И., Шарипова Т.В., Поликутина Е.С., Щитов С.В.,
Кузнецов Е.Е. Обоснование режимов конструкции для повышения поперечной устойчивости
грузовых автомобилей в повороте

.....
Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
=====

$$F = \frac{(G + M)}{g} \sqrt{\left(\frac{dv}{dt} - b\omega^2\right)^2 + \left(\frac{v^2}{R} + b\varepsilon\right)^2}, \quad (6)$$

где М – вес груза, Н.

Учитывая, что основным критерием устойчивости автомобиля является коэффициент устойчивости, устанавливающий зависимость условий сцепления колес автомобиля с поверхностью дорожного полотна и физическими параметрами автомобиля, определим данный критерий относительно точки контакта с дорогой колеса А по формуле

$$\mu = \frac{M_{\text{ст}}}{M_{\text{воз}}}, \quad (7)$$

где μ – коэффициент устойчивости груженого автомобиля $M_{\text{ст}}$ – стабилизирующий момент груженого автомобиля, Н · м; $M_{\text{воз}}$ – возмущающий момент, Н · м.

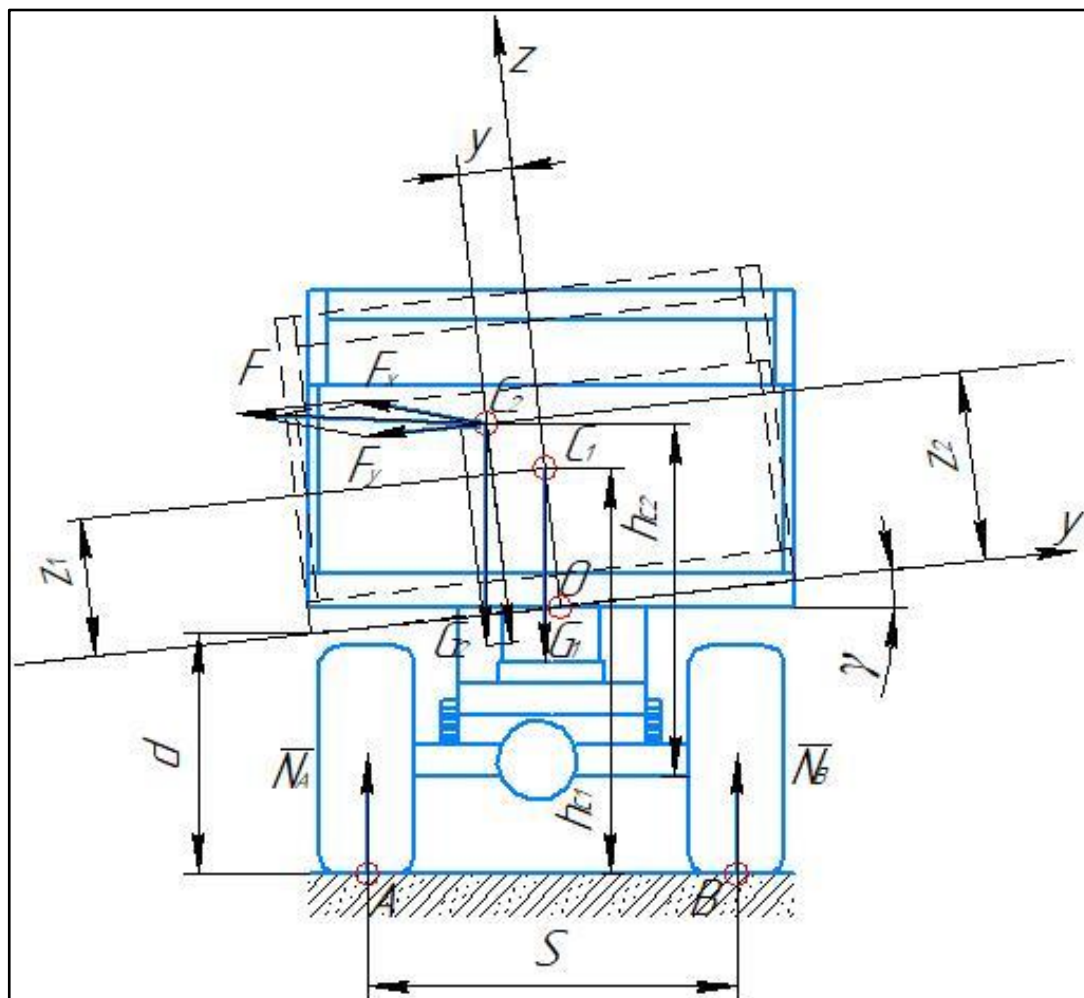


Рис. 3. Расчетная схема сил, действующих на автомобиль с сыпучим грузом на повороте при наклонном положении платформы кузова

где C_1 – центр масс автомобиля без груза с координатами $(0, z_1)$; C_2 – центр масс груженого автомобиля с координатами $(-y, z_2)$.

Поскольку боковая составляющая веса автомобиля и нормальная составляющая силы инерции, возникающая при повороте действуют в одном направлении, следовательно, создаваемый возмущающий момент $M_{\text{воз}}$ в соответствии со схемой сил, представленной на рис. 3, определяется выражением:

$$\begin{aligned}
 M_{\text{воз}} &= \left((G + M) \sin \gamma + F_y \sin \gamma \right) (d - d \sin \gamma + z_2) \\
 &= \left((G + M) \sin \gamma + \frac{(G + M)}{g} \left(\frac{v^2}{R} + b\varepsilon \right) \sin \gamma \right) (d - d \sin \gamma + z_2) \\
 &= (G + M) \sin \gamma \left(1 + \frac{\left(\frac{v^2}{R} + b\varepsilon \right)}{g} \right) (d - d \sin \gamma + z_2), \quad (8)
 \end{aligned}$$

где γ – угол наклона рамы грузового автомобиля, возникающего вследствие смещения центра масс, рад; d – расстояние от поверхности дорожного полотна до рамы автомобиля, м.

Составляющая сила тяжести создает стабилизирующий момент относительно точки контакта с дорогой колеса А

$$M_{\text{ст}} = (G + M) \cos \gamma (0,5 B \cos \gamma - y), \quad (9)$$

где B – колея автомобиля, м.

Учитывая выражения (6-9) коэффициент устойчивости грузового автомобиля имеет вид

$$\begin{aligned}
 \mu &= \frac{(G + M) \cos \gamma (0,5 B \cos \gamma - y)}{(G + M) \sin \gamma \left(1 + \frac{\left(\frac{v^2}{R} + b\varepsilon \right)}{g} \right) (d - d \sin \gamma + z_2)} \\
 &= \frac{0,5 B \cos \gamma - y}{\left(1 + \frac{\left(\frac{v^2}{R} + b\varepsilon \right)}{g} \right) (d - d \sin \gamma + z_2)} \operatorname{ctg} \gamma. \quad (10)
 \end{aligned}$$

Полученные в результате исследований математические зависимости (8,9) позволили определить возникающий дополнительный возмущающий момент $M_{\text{воз}}$ при повороте и рассчитать конструктивно-технологические параметры пружин, снижающие воздействия данного момента.

Результаты и обсуждение

В результате проведенных исследований установлено, что использование предлагаемого приспособления для повышения поперечной устойчивости автомобиля в

Пономарев Н.В., Кривуца З.Ф., Худолец В.И., Шарипова Т.В., Поликутина Е.С., Щитов С.В.,
Кузнецов Е.Е. Обоснование режимов конструкции для повышения поперечной устойчивости
грузовых автомобилей в повороте

.....
Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
=====

повороте позволило повысить коэффициент устойчивости груженого автомобиля на 10...18%. по сравнению с серийным. Таким образом полученное теоретическое обоснование соответствует основным технологическим параметрам предлагаемого устройства, подтверждённым экспериментально.

Заключение

Опытное использование предлагаемого устройства позволяет сделать вывод о том, что поперечная устойчивость автомобиля при прохождении поворота возрастает за счёт горизонтальной стабилизации угла наклона платформы кузова вследствие работы установленных пружин двойного действия, позволяющих снизить влияние дополнительного возмущающего момента от сил инерции, что позволяет повысить безопасность движения автомобиля, в частности при движении по склоновым поверхностям. Установлено, что предложенная конструкция, наряду с осуществлением перераспределения нагрузки между колёсами, находящимися на одной оси, одновременно позволяет автоматически регулировать угол наклона платформы кузова, что значимо выделяет рассматриваемое техническое решение, в сравнении с имеющимися аналогами в области транспортной техники [6-8] и обосновывает видимую перспективу его широкого применения в технологиях грузоперевозок.

Список использованных источников:

1. Алдошин Н.В., Пехутов А.С. Повышение производительности при перевозке сельскохозяйственных грузов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2012. - №4. - С. 26–27.
2. Щитов С.В., Кузнецов Е.Е. Обоснование параметрической устойчивости автомобиля на склоновой поверхности [и др.] // Дальневосточный аграрный вестник. - 2022. - № 2 (62). - С. 151–157.
3. Кузнецов Е.Е., Щитов С.В., Панова Е.В. К вопросу стабилизации ходовой системы и повышения устойчивости против опрокидывания колесного энергетического средства // Дальневосточный аграрный вестник. - 2022. - № 4 (16). - С. 144–150; DOI: [10.22450/199996837_2022_4_144](https://doi.org/10.22450/199996837_2022_4_144).
4. Рамочный регулятор нагрузки / Щитов С.В, Кузнецов Е.Е. // Пат. на полезную модель № 158328 Рос. Федерация заявитель и патентообладатель Дальневосточный гос. агр. университет. заявл. 05.05.2014, зарегистрирована 05.05.2014, опубл. 10.09.2014, Бюл. № 25.

Пономарев Н.В., Кривуца З.Ф., Худолец В.И., Шарипова Т.В., Поликутина Е.С., Щитов С.В.,
Кузнецов Е.Е. Обоснование режимов конструкции для повышения поперечной устойчивости
грузовых автомобилей в повороте

.....
Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
=====

10 с.

5. Кузнецов Е.Е., Кривуца З.Ф., Шарвадзе Р.Л., Краснощекова Т.А., Перепёлкина Л.И., Кузнецова О.А., Авняв М.А. Экспериментальные исследования эффективности конструкции для межколёсного перераспределения весовой нагрузки [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2018. – № 4. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2018/4/st_462.doc

6. Скурятин Н.Ф., Соловьев Е.В., Соловьёв С.В., Бондарев А.В. Методы оптимизации конструктивных и эксплуатационных параметров тракторных транспортно-технологических агрегатов: монография. Москва; Белгород: ООО «Издательско-книготорговый центр Колос», 2020. – 129 с.

7. Кушнарев А.Н., Шуравин А.А., Леонов В.В., Поликутина Е.С., Щитов С.В., Кузнецов Е.Е. Результаты исследований по расширению условий использования тракторно-транспортных агрегатов на склоновых поверхностях [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2021. – № 3. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2021/3/st_301.pdf; DOI: <https://doi.org/10.51419/20213301>

8. Раднаев Д.Н. К методике проектирования технологических процессов // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова.- 2011. - № 1 (22). - С. 71-75.

=====

Цитирование:

Пономарев Н.В., Кривуца З.Ф., Худолец В.И., Шарипова Т.В., Поликутина Е.С., Щитов С.В., Кузнецов Е.Е. Обоснование режимов конструкции для повышения поперечной устойчивости грузовых автомобилей в повороте [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2023. – № 1. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2023/1/st_133.pdf.