

Научная статья

УДК 631.372:629.114.4

EDN VWMWPC

DOI: 10.22450/19996837_2022_2_151

Обоснование параметрической устойчивости автомобиля на склоновой поверхности

Евгений Евгеньевич Кузнецов¹, Зоя Фёдоровна Кривуца²,
Юрий Борисович Курков³, Наталья Фёдоровна Двойнова⁴,
Наталья Владимировна Соболева⁵

^{1, 2, 3, 5} Дальневосточный государственный аграрный университет,
Амурская область, Благовещенск, Россия

⁴ Сахалинский государственный университет, Сахалинская область,
Южно-Сахалинск, Россия

¹ jj.tor@mail.ru, ² zfk20091@mail.ru, ³ kurkov1@mail.ru,

⁴ dnfsach@yandex.ru, ⁵ soboleva.07@mail.ru

Аннотация. На основе теоретических исследований обосновано повышение эффективности эксплуатации автомобиля за счёт улучшения устойчивости в условиях склонного земледелия. Нарушение поперечной устойчивости зависит от условий движения, перераспределения нагрузок на оси заноса автомобиля. Для обеспечения надёжности и управляемости автомобилей на склоновых поверхностях при перевозке многотонных сельскохозяйственных грузов необходимо учитывать изменение эксплуатационно-технических параметров, обусловленных смещением положения центра масс транспортного средства. В связи с этим, в целях оценки эксплуатационных характеристик автомобиля проведена теоретическая оценка использования специальной конструкции «Рамочный регулятор нагрузки», которая выступает перераспределяющим устройством, предназначенным для повышения продольной и поперечной устойчивости автомобиля. Установлено, что при включённом рамочном регуляторе нагрузки происходит смещение центра масс автомобиля и, как следствие, наблюдается возрастание восстанавливающего момента за счёт увеличения плеча нормальной составляющей силы тяжести. Таким образом, воздействие рамочного регулятора нагрузки на конструкцию автомобиля характеризуется увеличением коэффициента стабилизации устойчивости автомобиля. Анализ теоретических исследований показал, что повышение эффективности автомобиля при выполнении транспортных работ в условиях склонного земледелия обеспечивается применением предлагаемого рамочного регулятора нагрузки, который позволяет повышать поперечную устойчивость, маневренность и скорость движения автомобилей за счёт перераспределения сцепного веса в конструкции энергетического средства.

Ключевые слова: автомобиль, поперечный уклон, центр тяжести, коэффициент догружения колеса, движение, эффективность

Для цитирования: Кузнецов Е. Е., Кривуца З. Ф., Курков Ю. Б., Двойнова Н. Ф., Соболева Н. В. Обоснование параметрической устойчивости автомобиля на склоновой поверхности // Дальневосточный аграрный вестник. 2022. Вып. 2 (62). С. 151–157. doi: 10.22450/19996837_2022_2_151.

Original article

Substantiation of the car parametric stability on hillside surface

Evgenii E. Kuznetsov¹, Zoya F. Krivutsa²,
Yurii B. Kurkov³, Natalya F. Dvoynova⁴, Natalya V. Soboleva⁵

^{1, 2, 3, 5} Far Eastern State Agrarian University, Amur Region, Blagoveshchensk, Russia

⁴ Sakhalin State University, Sakhalin region, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

¹ ji.tor@mail.ru, ² zfk20091@mail.ru, ³ kurkov1@mail.ru,
⁴ dnfsach@yandex.ru, ⁵ soboleva.07@mail.ru

Abstract. Based on theoretical studies, the article substantiates an efficiency increase in the of car operation by improving stability in slope farming conditions. Violation of transverse stability depends on the driving conditions, the redistribution of loads on the axis of the vehicle skid. To ensure the reliability and controllability of vehicles on hillside surfaces when transporting multi-ton agricultural goods, it is necessary to take into account the change in operational and technical parameters due to the position displacement of the vehicle mass center. In this regard, in order to assess the performance of the car, a theoretical assessment of the use of the special device "Frame load regulator" – a redistributing device designed to increase the longitudinal and transverse stability of the car, was made. It has been found that when the frame load regulator is turned on, the center of mass of the car shifts and, as a result, the restoring moment increases due to an increase in the arm of the normal component of gravity. Thus, the effect of the frame load regulator on the vehicle structure is characterized by an increase in the vehicle stability stabilization coefficient. The analysis of theoretical studies showed that the vehicle efficiency increase when performing transport work in slope farming conditions is ensured by the use of the proposed frame load regulator, which allows increasing transverse stability, maneuverability and speed of the vehicle by redistributing the grip weight in the design of the power vehicle.

Keywords: car, transverse grade, center of gravity, wheel loading factor, motion, efficiency

For citation: Kuznetsov E. E., Krivutsa Z. F., Kurkov Yu. B., Dvoynova N. F., Soboleva N. V. Obosnovanie parametricheskoi ustoychivosti avtomobilya na sklonovoi poverkhnosti [Substantiation of the car parametric stability on the inclined surface]. *Dal'nevostochnyy agrarnyy vestnik. – Far Eastern Agrarian Bulletin.* 2022; 2 (62): 151–157. (in Russ.). doi: 10.22450/19996837_2022_2_151.

Введение. При перевозке сельскохозяйственных грузов различных типов по склоновым поверхностям, что актуально для северных районов Амурской области, в целях обеспечения надёжности и управляемости автомобилей необходимо учитывать изменения эксплуатационно-технических параметров, обусловленных смещением положения центра масс транспортного средства [1, 2, 3, 4, 8, 9] в движении.

В этой связи, возникает необходимость разработки и обоснования производственного внедрения устройств, устанавливаемых в ходовой системе транспортного средства, позволяющих смещать центр масс, и тем самым увеличивать маневренность, надёжность и проходимость автомобиля при выполнении транспортных работ в условиях склонного земледелия [5, 6].

Результаты исследования. Проведём углубленную сравнительную оценку поперечной устойчивости движения автомобиля при включенном рамочном регуляторе нагрузки, принципиальная схема которого приведена на рисунке 1 [7].

Нарушение поперечной устойчивости зависит от условий движения, перераспределения нагрузок на оси заноса автомобиля.

Рассмотрим, как меняется нагрузка, приходящаяся на колёса автомобиля, при включенном и выключенном рамочном регуляторе нагрузки. Необходимо учитывать, что положение неустойчивого равновесия движущегося автомобиля по склону наступает при условии равенства опрокидывающего и восстанавливающего моментов $M_{on} = M_g$. Следовательно, согласно схеме на рисунке 2, получаем выражения (1) – (4):

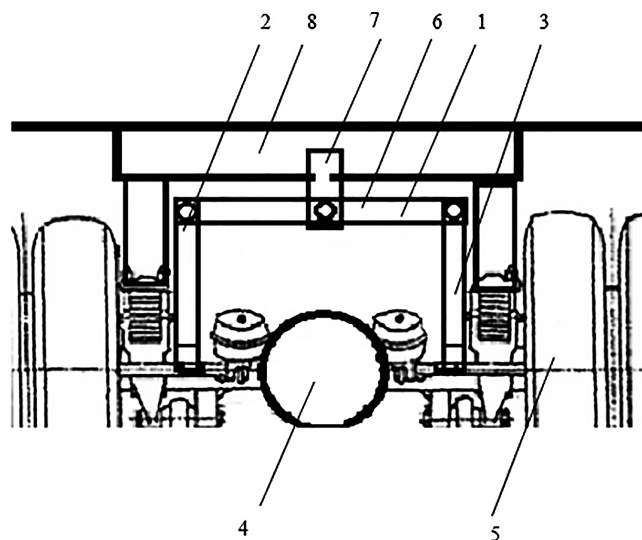
$$M_{on} = h_g \cdot M \cdot g \cdot \sin \beta, \quad (1)$$

$$M_g = 0,5B \cdot M \cdot g \cdot \cos \beta, \quad (2)$$

$$h_g \cdot M \cdot g \cdot \sin \beta = 0,5B \cdot M \cdot g \cdot \cos \beta, \quad (3)$$

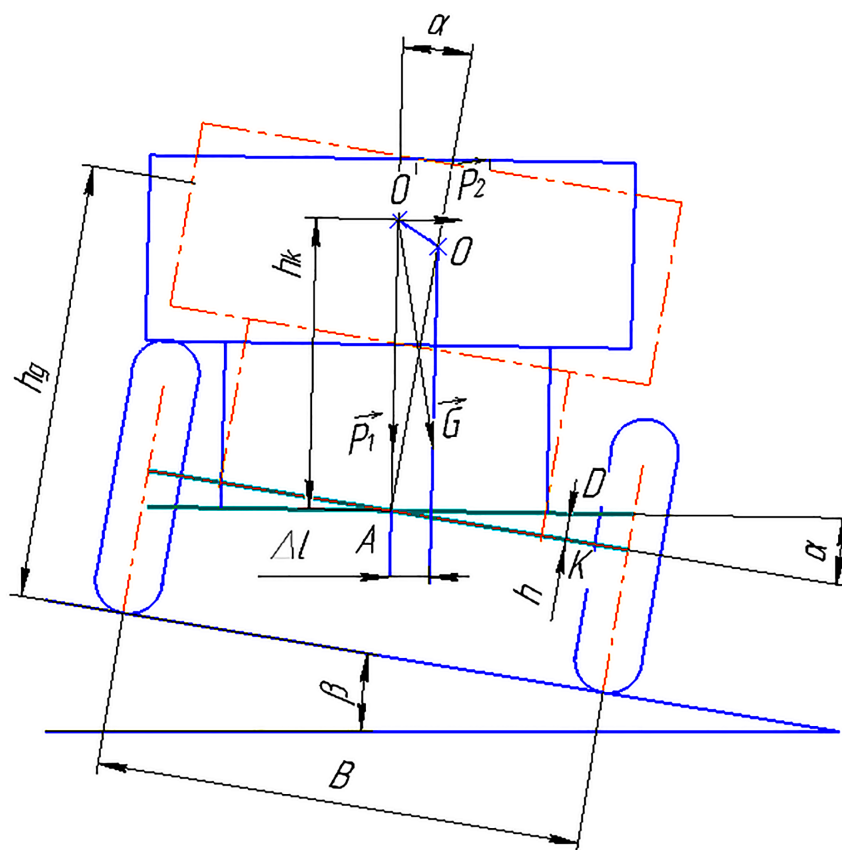
$$\eta = \operatorname{tg} \beta_{\max} = \frac{B}{2h_g} \quad (4)$$

где M_{on} – опрокидывающий момент, Н·м;
 h_g – высота центра тяжести, м;
 M_g – масса энергетического средства, т;
 g – ускорение свободного падения, м/с²;
 β – угол наклона дороги, град;



1 – конструкция; 2, 3 – реактивные штанги; 4 – мост; 5 – автомобиль;
6 – узел коромысла; 7 – рычаг; 8 – поперечная траверса рамы

Рисунок 1 – Схема рамочного регулятора нагрузки для автомобиля



h_g – расстояние положения центра тяжести энергетического средства от опорной поверхности, м;
 Δl – величина смещения центра масс относительно оси наклона, м;
 α – угол наклона, град; h – высота смещения моста, м; h_k – высота крена, м;
 l – длина поперечного габарита моста, м; B – поперечная база автомобиля, м;
 β – угол наклона дороги, град

Рисунок 2 – Схема к определению восстанавливающего момента

M_e – восстанавливающий момент, Н·м;
 η – коэффициент стабилизации устойчивости.

При включённом рамочном регуляторе нагрузки происходит смещение центра масс автомобиля и, как следствие, возрастание восстанавливающего момента за счёт увеличения плеча нормальной составляющей силы тяжести (рис. 2).

Восстанавливающий момент, согласно рисунку 2, определяется выражением (5):

$$M_e = (0,5B + \Delta l) \cdot M \cdot g \cdot \cos \beta \quad (5)$$

где Δl – проекция смещения центра масс, м.

Выразим величину смещения центра масс автомобиля (рис. 3) через конструктивные параметры рамочного регулятора нагрузки, учитывая влияние плеча поворота рамочного регулятора нагрузки относительно оси крена, формулой (6):

$$\Delta l = h_k \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad (6)$$

где α – угол поворота, град.

Исходя из геометрического подобия треугольников AOO' и ADK , зависимость тангенса угла поворота от высоты смещения моста имеет вид формулы (7):

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{0,5l} \rightarrow \Delta l = h_k \cdot \frac{h}{0,5l} \quad (7)$$

где h – высоты смещения моста, м;

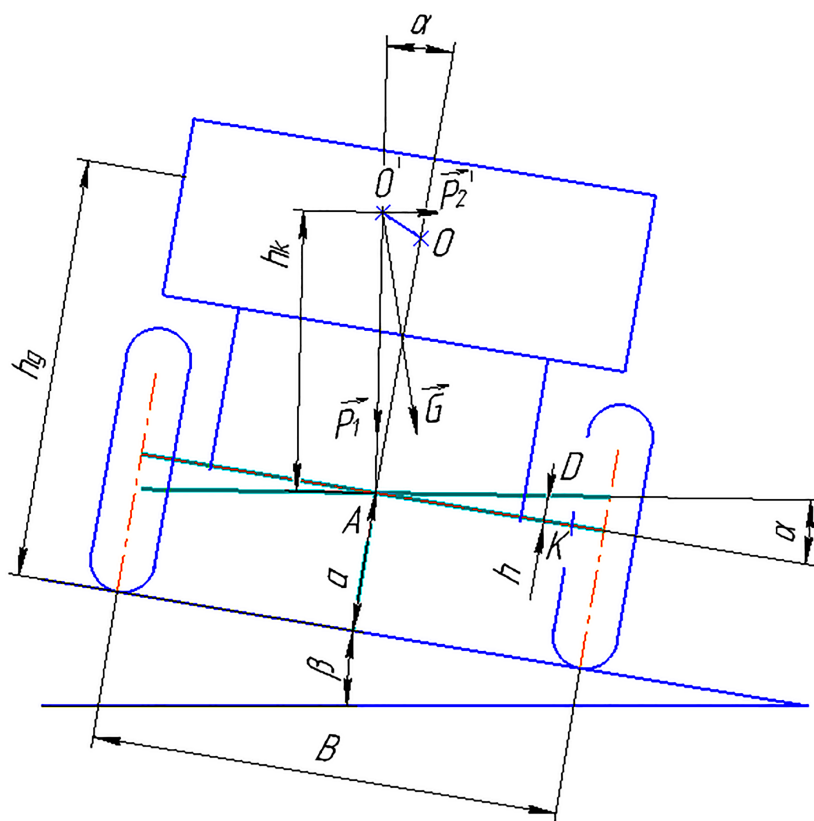
l – длина поперечного габарита моста, м.

Пользуясь схемой рисунка 3, можно записать выражение (8):

$$\Delta l = \frac{(h_g - a) \cdot h \cdot \cos \alpha}{0,5l} \quad (8)$$

где a – высота моста, м

Учитывая выражения (3), (4), (5) и (8), коэффициент стабилизации устойчи-



h – высоты смещения моста, м; a – высота моста, м

Рисунок 3 – Расчётная схема для определения величины смещения центра масс

восте движения автомобиля при использовании рамочного регулятора нагрузки определяется выражением (9):

$$= \left(0,5B + \frac{h_g \cdot M \cdot g \cdot \sin \beta}{0,5l} \right) \cdot M \cdot g \cdot \cos \beta \quad (9)$$

Следовательно, получаем выражение (10):

$$\eta = \frac{B}{2h_g} + \frac{(h_g - a) \cdot h \cdot \cos \alpha}{0,5l \cdot h_g} \quad (10)$$

Анализ выражений (4) и (10) показывает, что коэффициент стабилизации устойчивости η автомобиля увеличивается на величину, задаваемую конструктивными параметрами рамочного регулятора нагрузки (11):

$$\frac{(h_g - a) \cdot h \cdot \cos \alpha}{0,5l \cdot h_g} > 0 \quad (11)$$

Вывод. На основе проведённых теоретических исследований установлено,

что повышение эффективности автомобилей при выполнении транспортных работ в условиях склонного земледелия обеспечивается применением рамочного регулятора нагрузки предлагаемой конструкции, отличающейся оригинальным техническим решением и исполнением. Воздействие рамочного регулятора нагрузки на конструкцию автомобиля обусловлено увеличением коэффициента стабилизации устойчивости автомобиля. Предлагаемое устройство позволяет повышать поперечную устойчивость, маневренность и скорость движения автомобилей за счёт перераспределения сцепного веса.

Разработанное устройство, в совокупности рассмотренных конструктивно-технологических признаков, наряду с низкой стоимостью и простотой исполнения, выгодно отличается от ранее применяемых технических решений, что несомненно выделяет его из рассматриваемой отрасли техники, обосновывая значимую перспективу масштабного применения в транспортно-технологическом обеспечении агропромышленного комплекса как Амурской области, так и регионов Российской Федерации.

Список источников

1. Алдошин Н. В., Егоров Р. В. Оптимизация транспортных процессов : учебное пособие. М. : Мичуринский государственный аграрный университет, 2011. 40 с.
2. Антонов Д. А. Теория устойчивости движения многоосных автомобилей. М. : Машиностроение, 1970. 176 с.
3. Гребнев В. П., Бочаров А. В. Эффективность корректирования вертикальных нагрузок на колёса тракторного транспортного агрегата // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2001. № 7. С. 5–7.
4. Кривуца З. Ф. Повышение эффективности транспортно-технологического обеспечения АПК Амурской области : дис. ... докт. техн. наук. Благовещенск, 2015. 362 с.
5. Кузнецов Е. Е., Щитов С. В. Повышение эффективности использования мобильных энергетических средств в технологии возделывания сельскохозяйственных культур : монография. Благовещенск : Дальневосточный государственный аграрный университет, 2017. 272 с.
6. Кузнецов Е. Е., Щитов С. В., Поликутина Е. С. Повышение продольно-поперечной устойчивости и снижение техногенного воздействия на почву колёсных мобильных энергетических средств : монография. Благовещенск : Дальневосточный государственный аграрный университет, 2020. 148 с.
7. Рамочный регулятор нагрузки / С. В. Щитов, Е. Е. Кузнецов, Т. В. Шарипова [и др.] : пат. № 166665. Рос. Федерация. № 2016130257/11 ; заявл. 22.07.2016 ; опубл. 10.12.2016, Бюл. № 34. 2 с.

8. Шишлов С. А., Шишлов А. Н. Разрушение почвы почвозацепами гусеничного движителя // Аграрный вестник Приморья. 2019. № 1 (13). С. 40–41.

9. Шишлов С. А., Шишлов А. Н., Шапарь М. С. Напряжения на упорной поверхности почвозацепа гусеничного движителя // Дальневосточный аграрный вестник. 2018. № 3 (47). С. 141–144.

References

1. Aldoshin N. V., Egorov R. V. *Optimizatsiya transportnykh protsessov: uchebnoe posobie [Optimization of transport processes: textbook]*, Moskva, Michurinskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet, 2011, 40 p. (in Russ.).

2. Antonov D. A. *Teoriya ustoichivosti dvizheniya mnogoosnykh avtomobilei [Theory of motion stability of multi-axle vehicles]*, Moskva, Mashinostroenie, 1970, 176 p. (in Russ.).

3. Grebnev V. P., Bocharov A. V. Effektivnost' korrektsirovaniya vertikal'nykh nagruzok na kolesa traktornogo transportnogo agregata [Efficiency of correcting of vertical loads on the wheels of a tractor transport unit]. *Traktory i sel'skokhozyaistvennyye mashiny. – Tractors and agricultural machines*, 2001; 7: 5–7 (in Russ.).

4. Krivutsa Z. F. Povyshenie effektivnosti transportno-tekhnologicheskogo obespecheniya APK Amurskoi oblasti [Increasing of the efficiency of transport and technological support of the agro-industrial complex of the Amur region]. *Doctor's thesis*. Blagoveshchensk, 2015, 362 p. (in Russ.).

5. Kuznetsov E. E., Shchitov S. V. *Povyshenie effektivnosti ispol'zovaniya mobil'nykh energeticheskikh sredstv v tekhnologii vozdeystviya sel'skokhozyaistvennykh kul'tur: monografiya [Improving the efficiency of using mobile energy resources in the technology of cultivation of agricultural crops: monograph]*, Blagoveshchensk, Dal'nevostochnyj gosudarstvennyj agrarnyj universitet, 2017, 272 p. (in Russ.).

6. Kuznetsov E. E., Shchitov S. V., Polikutina E. S. *Povyshenie prodol'no-poperechnoi ustoichivosti i snizhenie tekhnogenogo vozdeystviya na pochvu kolesnykh mobil'nykh energeticheskikh sredstv: monografiya [Increasing of the longitudinal-transverse stability and reducing of the technogenic impact on the soil of wheeled mobile power means: monograph]*, Blagoveshchensk, Dal'nevostochnyj gosudarstvennyj agrarnyj universitet, 2020, 148 p. (in Russ.).

7. Shchitov S. V., Kuznetsov E. E., Sharipova T. V., Mitrokhina O. P., Petrov S. V. Ramochnyi regulyator nagruzki [Frame load regulator] *Patent RF, no 166665 patents.google.com* 2016 Retrieved from <https://patents.google.com/patent/RU166665U1/ru> (Accessed 20 February 2022) (in Russ.).

8. Shishlov S. A., Shishlov A. N. Razrushenie pochvy pochvozatsepami gusenichnogo dvizhitelya [The destruction of the soil by grouser of the crawler mover]. *Agrarnyi vestnik Primor'ya. – Agrarian Bulletin of Primorye*, 2019; 1 (13): 40–41 (in Russ.).

9. Shishlov S. A., Shishlov A. N., Shapar' M. S. Napryazheniya na upornoj poverkhnosti pochvozatsepa gusenichnogo dvizhitelya [Stresses on the thrust surface of grouser of the crawler tractor]. *Dal'nevostochnyj agrarnyj vestnik. – Far Eastern Agrarian Herald*, 2018; 3 (47): 141–144 (in Russ.).

© Кузнецов Е. Е., Кривуца З. Ф., Курков Ю. Б., Двойнова Н. Ф., Соболева Н. В., 2022

Статья поступила в редакцию 09.04.2022; одобрена после рецензирования 16.05.2022; принята к публикации 24.05.2022.

The article was submitted 09.04.2022; approved after reviewing 16.05.2022; accepted for publication 24.05.2022.

Информация об авторах

Кузнецов Евгений Евгеньевич, доктор технических наук, доцент, Дальневосточный государственный аграрный университет, ji.tor@mail.ru;

Кривуца Зоя Федоровна, доктор технических наук, доцент, Дальневосточный государственный аграрный университет, zfk20091@mail.ru;

Курков Юрий Борисович, доктор технических наук, профессор, Дальневосточный государственный аграрный университет, kurkov1@mail.ru;

Двойнова Наталья Федоровна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, Сахалинский государственный университет, dnfsach@yandex.ru;

Соболева Наталья Владимировна, старший преподаватель, Дальневосточный государственный аграрный университет, soboleva.07@mail.ru

Information about authors

Evgenii E. Kuznetsov, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Far Eastern State Agrarian University, ji.tor@mail.ru;

Zoya F. Krivutsa, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Far Eastern State Agrarian University, zfk20091@rambler.ru;

Yurii B. Kurkov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Far Eastern State Agrarian University, kurkov1@mail.ru;

Natalya F. Dvoynova, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Sakhalin State University, dnfsach@yandex.ru;

Natalya V. Soboleva, Senior Lecturer, Far Eastern State Agrarian University, soboleva.07@mail.ru