

Научная статья

УДК 629.33

EDN YIOZNW

DOI: 10.22450/199996837\_2022\_4\_108

### Повышение эффективности использования грузовых транспортных средств при перевозке наливных грузов

Николай Вениаминович Пономарев<sup>1</sup>, Дмитрий Владимирович Беляков<sup>2</sup>,  
Зоя Фёдоровна Кривуца<sup>3</sup>, Сергей Васильевич Щитов<sup>4</sup>,  
Евгений Евгеньевич Кузнецов<sup>5</sup>

<sup>1, 2, 3, 4, 5</sup> Дальневосточный государственный аграрный университет

Амурская область, Благовещенск, Россия

<sup>3</sup> [zfk20091@mail.ru](mailto:zfk20091@mail.ru), <sup>4</sup> [shitov.sv1955@mail.ru](mailto:shitov.sv1955@mail.ru), <sup>5</sup> [ji.tor@mail.ru](mailto:ji.tor@mail.ru)

**Аннотация.** В ходе производственных наблюдений за эксплуатацией автомобилей семейства КамАЗ в агропромышленном комплексе региона неоднократно наблюдались случаи, когда грузовой бортовой многоцелевой автомобиль использовался на перевозке наливных грузов, в частности органических или жидких минеральных удобрений, горюче-смазочных материалов. Необходимость использования автомобиля на такого рода транспортных операциях обоснована отсутствием в небольших крестьянско-фермерских хозяйствах специализированного автотранспорта для перевозки таких грузов. Характерной особенностью этого вида транспортных операций является такая важная отличительная черта, как смещение перевозимой жидкости в емкости в сторону выполняемого маневра, что наиболее значительно проявляется при движении по дорогам, имеющим поперечный или продольный уклон поверхности движения, приближенный к критическому. В этом случае, за счет неконтролируемого перетекания жидкости возникает дополнительный опрокидывающий момент, обусловленный смещением центра тяжести как груза, так и агрегата в общем случае. Особенно это опасно, когда приходится перевозить наливные грузы в частично заполненных емкостях без выравнивающих перегородок. Анализ теоретических исследований, показал, что на устойчивость движения оказывают значительное влияние как объем, вязкость и распределение жидкости в цистерне, так и силы, возникающие при внутреннем перемещении наливных грузов при криволинейном неравномерном движении автомобиля. Таким образом, с целью повышения управляемости, устойчивости, повышения надежности использования автомобиля, оборудованного емкостью для перевозки наливных грузов, с частичным заполнением жидкостью, необходимо применение инженерных подходов и поиск новых технических решений. В статье приводится обоснование воздействия на конструкцию автомобиля перемещения наливных грузов в перевозимой емкости в зависимости от уклона местности и состояния поверхности движения.

**Ключевые слова:** автомобиль, наливные грузы, стабилизирующий момент, возмущающий момент, автоцистерна, коэффициент устойчивости, центр масс, эффективность

**Для цитирования:** Пономарев Н. В., Беляков Д. В., Кривуца З. Ф., Щитов С. В., Кузнецов Е. Е. Повышение эффективности использования грузовых транспортных средств при перевозке наливных грузов // Дальневосточный аграрный вестник. 2022. Том 16. № 4. С. 108–113. doi: 10.22450/199996837\_2022\_4\_108.

Original article

### Efficiency improving of the cargo vehicles use in the bulk freight transportation

Nikolay V. Ponomarev<sup>1</sup>, Dmitry V. Belyakov<sup>2</sup>, Zoya F. Krivutsa<sup>3</sup>,  
Sergey V. Shchitov<sup>4</sup>, Evgeny E. Kuznetsov<sup>5</sup>

<sup>1, 2, 3, 4, 5</sup> Far Eastern State Agrarian University, Amur region, Blagoveshchensk, Russia

<sup>3</sup> [zfk20091@mail.ru](mailto:zfk20091@mail.ru), <sup>4</sup> [shitov.sv1955@mail.ru](mailto:shitov.sv1955@mail.ru), <sup>5</sup> [ji.tor@mail.ru](mailto:ji.tor@mail.ru)

**Abstract.** During production observations of the operation of cars of the KamAZ family in the agro-industrial complex of the region, cases have been repeatedly observed when a cargo on-board multi-purpose vehicle was used to transport bulk freight, in particular organic or liquid mineral fertilizers, fuels and lubricants. The need to use a car on such transport operations is justified by the lack of specialized vehicles in small peasant farms to transport such goods. A characteristic feature of this transport operation type is such an important distinguishing feature as the displacement of the transported liquid in the tank towards the maneuver being performed, which is most significantly manifested when driving on roads with a transverse or longitudinal slope of the movement surface, close to critical. In this case, due to uncontrolled flow of liquid, an additional overturning moment occurs due to the displacement of the center of gravity of both the cargo and the aggregate in the general case. This is especially dangerous when you have to transport bulk freight in partially filled containers without leveling partitions. An analysis of theoretical studies, showed that the movement stability is significantly influenced by both the volume, viscosity and distribution of liquid in the tank car, as well as the forces that arise during the internal movement of bulk freight with curvilinear uneven vehicle movement. Thus, in order to increase controllability, stability and the reliability of using a car equipped with a container for bulk freight transportation with partial filling with liquid, it is necessary to use engineering approaches and find new technical solutions. The article provides a justification for the impact on the design of the car of the movement of bulk goods in the transported container, depending on the terrain slope and the movement surface state.

**Keywords:** car, bulk freight, stabilizing moment, disturbing moment, tanker truck, stability factor, center of mass, efficiency

**For citation:** Ponomarev N. V., Belyakov D. V., Krivutsa Z. F., Shchitov S. V., Kuznetsov E. E. Povyshenie effektivnosti ispol'zovaniya gruzovykh transportnykh sredstv pri perevozke nalivnykh gruzov [Efficiency improving of the cargo vehicles use in the bulk freight transportation]. *Dal'nevostochnyj agrarnyj vestnik*. – *Far Eastern Agrarian Bulletin*. 2022; 16; 4: 108–113. (in Russ.). doi: 10.22450/199996837\_2022\_4\_108.

**Введение.** При перевозке наливных или сыпучих грузов нередко наблюдается изменение устойчивости автомобиля следующих видов [1]:

- 1) нарушение поперечной устойчивости;
- 2) нарушение продольной устойчивости;
- 3) нарушение траекторной устойчивости вследствие скольжения колес автомобиля.

При перевозке наливных грузов наиболее часто встречаемое последствие нарушения устойчивости транспортного средства – поперечное опрокидывание или выезд за габариты дороги из-за скольжения колес по поверхности движения при недостаточных сцепных качествах в пятне контакта движителя и дороги [2]. При этом необходимо отметить, что продольное опрокидывание автомобиля наблюдается очень редко, так как продольный

габарит автомобиля значительно выше поперечного [3, 4].

Таким образом, возникает проблема по обеспечению безопасности движения автомобиля с наливными грузами, в частности, при выполнении им поворота или движения по дорогам, имеющим значительный продольный или поперечный уклон [5, 6].

При поиске технических решений данной проблемы необходимо, чтобы предложенная конструкция осуществляла выравнивание и заложенные воздействия в автоматическом режиме, а также являлась встраиваемой в ходовую систему автомобиля.

**Целью исследований явилось обоснование воздействия на конструкцию автомобиля перемещения наливных грузов в перевозимой емкости в зависимости от уклона местности и состояния поверхности движения в повороте при**

**установке дополнительного выравнивающего-корректирующего устройства.**

**Результаты исследований.** На основании анализа ранее проведенных исследований установлено, что при перевозке наливных грузов в дополнительной устанавливаемой емкости в повороте возникает дополнительный момент, стремящийся перевернуть автомобиль.

Для реализации поставленной цели и проведения теоретического обоснования исследуем механическую систему, состоящую из емкости (цистерны), частично заполненной жидкостью. При проведении исследований необходимо учитывать, что уровень заполнения цистерны напрямую влияет на поперечную устойчивость автомобиля, в связи с тем, что силы, создающие поворачивающие моменты, зависят от смещения центров масс жидкости в цистерне.

При проведении исследования движения механической системы, состоящей из автоцистерны и жидкости, целесообразно применить принцип Даламбера [7]. Согласно данному принципу, исследуемая

система является уравновешенной тогда и только тогда, когда к действующей на автомобиль активной силе прикладываются дополнительные силы инерции.

Критерием поперечной устойчивости движения транспортного средства на повороте или при движении по дороге, имеющей поперечный уклон, является коэффициент устойчивости автомобиля  $\mu_A$ :

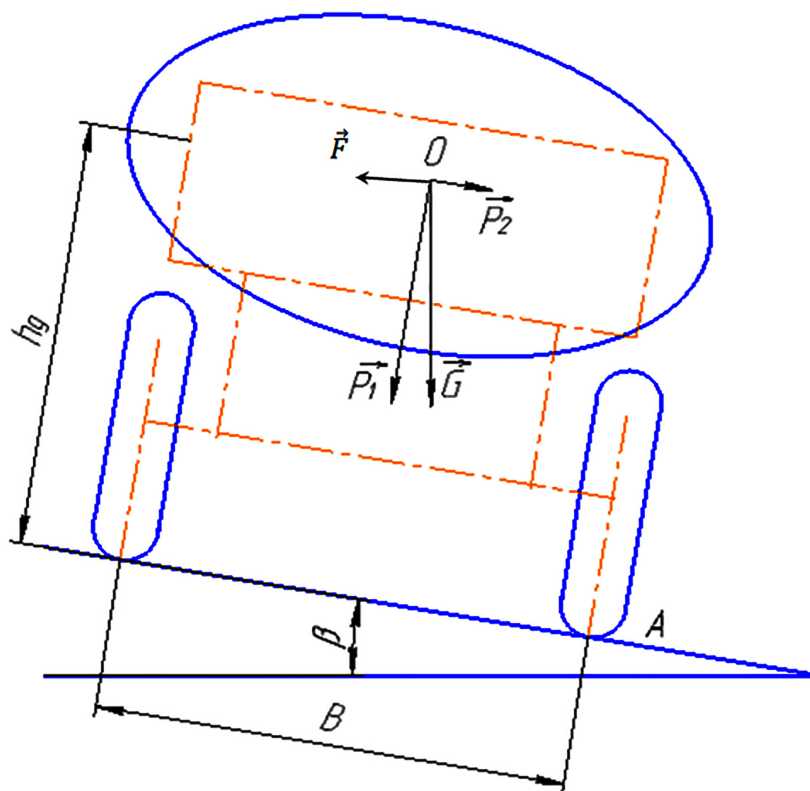
$$\mu_A = \frac{M_{\text{ст}(A)}}{M_{\text{воз}(A)}} \quad (1)$$

где  $M_{\text{ст}(A)}$  – стабилизирующий момент относительно точки  $A$ , Н·м;

$M_{\text{воз}(A)}$  – возмущающий момент относительно точки  $A$ , Н·м.

Для определения значения коэффициента стабилизации устойчивости ( $\mu_A$ ) проанализируем действие сил на движущуюся по наклонному участку дороги пустую автоцистерну (рис. 1).

В соответствии с рисунком 1, в точке контакта с дорогой наружного колеса  $A$  стабилизирующий момент создается сила-



**Рисунок 1 – Расчетная схема сил, действующих на пустую автоцистерну при поперечном уклоне дороги**

ми тяжести и силами инерции, и определяется выражением (2):

$$M_{\text{ст}} = (P_1 + F \sin \beta)0,5B + Fh_g \cos \beta = (G \cos \beta + F \sin \beta)0,5B + Fh_g \cos \beta \quad (2)$$

где  $P_1$  – тангенциальная составляющая силы тяжести, Н;

$G$  – сила тяжести автомобиля и пустой цистерны, Н;

$\beta$  – угол наклона дороги, град;

$B$  – поперечная база автомобиля, м;

$h_g$  – высота центра тяжести, м.

Возмущающий момент относительно точки  $A$  создается составляющей силы тяжести  $P_2$  и определяется выражением (3):

$$M_{\text{воз}(A)} = P_2 h_g = G h_g \sin \beta \quad (3)$$

Подставляя в формулу (1) соответствующие значения стабилизирующего момента (2) и возмущающего момента (3), определим значение коэффициента устойчивости пустой автоцистерны:

$$\mu_{A1} = \frac{(G \cos \beta + F \sin \beta)0,5B + Fh_g \cos \beta}{G h_g \sin \beta} \quad (4)$$

При выполнении транспортных работ автоцистерной, частично заполненной жидкостью, происходит снижение поперечной устойчивости на криволинейном участке дороги за счет смещения центра масс жидкости в цистерне. Оценим коэффициент устойчивости автоцистерны, частично заполненной жидкостью, используя схему сил, представленную на рисунке 2.

В точке контакта с дорогой наружного колеса  $A$  стабилизирующий момент создается силами тяжести, силами инерции и определяется выражением (5):

$$M_{\text{ст}} = (G \cos \beta + F \sin \beta)0,5B + Fh_g \cos \beta + (G_{\text{ж}} \cos \beta + F_{\text{ж}} \sin \beta)(0,5B - a) + F_{\text{ж}} h_k \cos \beta \quad (5)$$

где  $G_{\text{ж}}$  – сила тяжести наливной жидкости, Н;

$F$  – сила инерции автомобиля и пустой цистерны, Н;

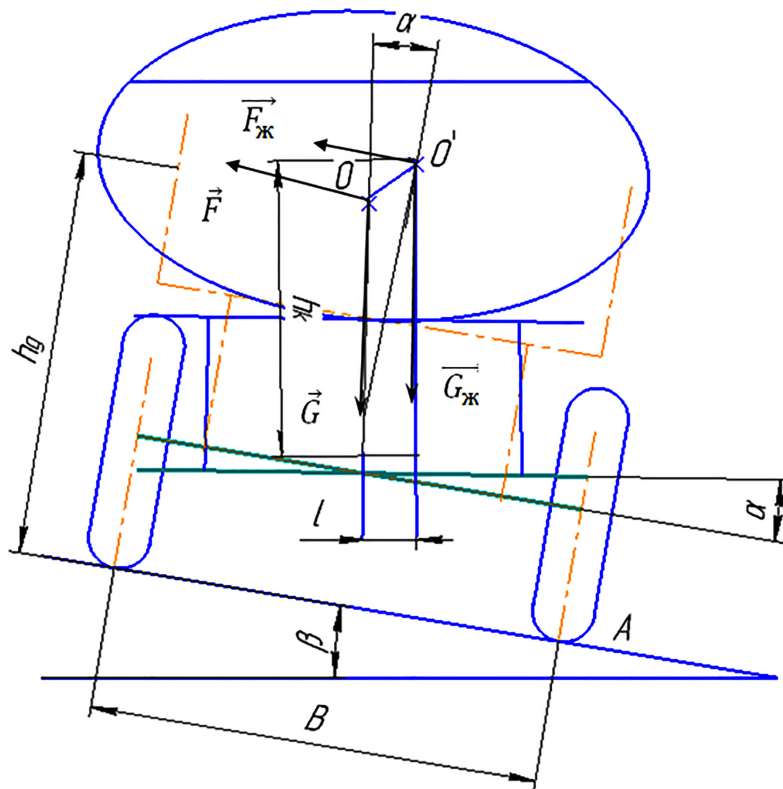


Рисунок 2 – Расчетная схема сил, действующих на автоцистерну, частично заполненную жидкостью

$F_{ж}$  – сила инерции наливной жидкости, Н;  
 $h_k$  – высота центра тяжести жидкости, м.

Значение возмущающего момента относительно точки  $A$  зависит от сил тяжести незаполненной автоцистерны и силы тяжести наливной жидкостью:

$$M_{воз(A)} = (Gh_g + G_жh_k) \sin \beta \quad (6)$$

Учитывая выражения (5) и (6), коэффициент устойчивости автоцистерны, частично заполненной жидкостью, вычисляется формулой (7).

Анализ полученных формул (4) и (7) позволяет предположить, что установка предлагаемого устройства в значительной мере влияет на изменение значения ко-

эффициента устойчивости автомобиля за счет смещения центра масс наливной жидкостью.

$$\mu_{A2} = \frac{(G \cos \beta + F \sin \beta)0,5B + Fh_g \cos \beta}{(Gh_g + G_жh_k) \sin \beta} + \frac{(G_ж \cos \beta + F_ж \sin \beta)(0,5B - a) + F_жh_k \operatorname{ctg} \beta}{(Gh_g + G_жh_k) \sin \beta} + \frac{F_жh_k \operatorname{ctg} \beta}{Gh_g + G_жh_k} \quad (7)$$

**Заключение.** Сопоставляя значения коэффициентов устойчивости автоцистерны без жидкости и частично заполненной жидкостью, можно отметить, что на устойчивость движения автомобиля оказывают значительное влияние объем жидкости в цистерне и силы, возникающие в ходе внутреннего перемещения наливных грузов при криволинейном неравномерном движении автомобиля.

### Список 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. Повышение продольно-поперечной устойчивости и снижение техногенного воздействия на почву колесных мобильных энергетических средств : монография / С. В. Щитов, Е. Е. Кузнецов, Е. С. Поликутина, О. А. Кузнецова. Благовещенск : Дальневосточный государственный аграрный университет, 2020. 148 с.
3. Обоснование параметрической устойчивости автомобиля на склоновой поверхности / Е. Е. Кузнецов, З. Ф. Кривуца, Ю. Б. Курков [и др.] // Дальневосточный аграрный вестник. 2022. № 2 (62). С.151–157.
4. Марков С. Н., Гончарук А. И. Влияние догружающе-распределяющего модуля на технологические характеристики колесного транспортного агрегата // Технический сервис машин. 2022. Т. 59. № 1 (146). С. 79–86.
5. Щитов С. В., Кузнецов Е. Е. Повышение эффективности использования мобильных энергетических средств в технологии возделывания сельскохозяйственных культур : монография. Благовещенск : Дальневосточный государственный аграрный университет, 2017. 272 с.
6. 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. PP. 13–21.
7. Эрдеди А. А., Эрдеди Н. А. Теоретическая механика. М. : КноРус, 2018. 416 с.

### References

1. Aldoshin N. V., Pekhutov A. S. Povyshenie proizvoditel'nosti pri perevozke sel'skokhozyaistvennykh грузов [Improving productivity in the transportation of agricultural goods]. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaistva. – Mechanization and electrification of agriculture*, 2012; 4: 26–27 (in Russ.).
2. Shchitov S. V., Kuznetsov E. E., Polikutina E. S., Kuznetsova O. A. *Povyshenie prodol'no-poperechnoi ustoichivosti i snizhenie tekhnogenogo vozdeistviya na pochvu kolesnykh mobil'nykh*

*energeticheskikh sredstv: monografiya [Increasing the longitudinal-transverse stability and reducing the technogenic impact on the soil of wheeled mobile power vehicles: monograph]*, Blagoveshchensk, Dal'nevostochnyj gosudarstvennyj agrarnyj universitet, 2020, 148 p. (in Russ.).

3. Kuznetsov E. E., Krivutsa Z. F., Kurkov Yu. B., Dvoynova N. F., Soboleva N. V. Obosnovanie parametricheskoi ustoichivosti avtomobilya na sklonovoi poverkhnosti [Substantiation of the car parametric stability on hillside surface]. *Dal'nevostochnyi agrarnyi vestnik. – Far Eastern Agrarian Bulletin*, 2022; 2: 151–157 (in Russ.).

4. Markov S. N., Goncharuk A. I. Vliyanie dogruzhayushche-raspredelyayushchego modulya na tekhnologicheskie kharakteristiki kolesnogo transportnogo agregata [Influence of the loading and distributing module on the technological characteristics of a wheeled transport unit]. *Tekhnicheskii servis mashin. – Technical service of machines*, 2022; 59; 1: 79–86 (in Russ.).

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

6. 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.

7. Erdedi A. A., Erdedi N. A. *Teoreticheskaya mekhanika [Theoretical mechanics]*, Moskva, KnoRus, 2018, 416 p. (in Russ.).

© Пономарев Н. В., Беляков Д. В., Кривуца З. Ф., Щитов С. В., Кузнецов Е. Е., 2022

Статья поступила в редакцию 01.11.2022; одобрена после рецензирования 30.11.2022; принята к публикации 07.12.2022.

The article was submitted 01.11.2022; approved after reviewing 30.11.2022; accepted for publication 07.12.2022.

### **Информация об авторах**

**Пономарев Николай Вениаминович**, аспирант, Дальневосточный государственный аграрный университет;

**Беляков Дмитрий Владимирович**, аспирант, Дальневосточный государственный аграрный университет;

**Кривуца Зоя Федоровна**, доктор технических наук, доцент, Дальневосточный государственный аграрный университет, [zfk20091@mail.ru](mailto:zfk20091@mail.ru);

**Щитов Сергей Васильевич**, доктор технических наук, профессор, Дальневосточный государственный аграрный университет, [shitov.sv1955@mail.ru](mailto:shitov.sv1955@mail.ru);

**Кузнецов Евгений Евгеньевич**, доктор технических наук, доцент, Дальневосточный государственный аграрный университет, [ji.tor@mail.ru](mailto:ji.tor@mail.ru)

### **Information about authors**

**Nikolay V. Ponomarev**, Postgraduate Student, Far Eastern State Agrarian University;

**Dmitry V. Belyakov**, Postgraduate Student, Far Eastern State Agrarian University;

**Zoya F. Krivutsa**, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Far Eastern State Agrarian University, [zfk20091@rambler.ru](mailto:zfk20091@rambler.ru);

**Sergei V. Shchitov**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Far Eastern State Agrarian University, [shitov.sv1955@mail.ru](mailto:shitov.sv1955@mail.ru);

**Evgenii E. Kuznetsov**, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Far Eastern State Agrarian University, [ji.tor@mail.ru](mailto:ji.tor@mail.ru)