

**УДК 621.113**

**Магомедов Варис Камалудинович**

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)  
Махачкалинский филиал  
Россия, Махачкала<sup>1</sup>  
Кандидат технических наук, доцент  
[varis507@mail.ru](mailto:varis507@mail.ru)

**Сурхаев Гамзат Магомедович**

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)  
Махачкалинский филиал  
Россия, Махачкала  
Ассистент  
[madi1p2@mail.ru](mailto:madi1p2@mail.ru)

**Чернышов Константин Владимирович**

Волгоградский государственный технический университет  
Россия, Волгоград  
Кандидат технических наук, доцент  
[chernykv@rambler.ru](mailto:chernykv@rambler.ru)

**Надежность несущей системы полуприцепов автопоездов  
и ее повышение в горных условиях эксплуатации**

---

<sup>1</sup> 368260 Республика Дагестан, Хунзахский район, с. Хунзах

**Аннотация.** Надежность несущей системы полуприцепов автопоездов в горных условиях эксплуатации значительно снижается по сравнению с равнинными условиями. Одним из основных факторов, оказывающих влияние на снижение надежности полуприцепов в горных условиях эксплуатации, является большое количество поворотов, при преодолении которых возникают центробежные ускорения, действующие на автомобиль в поперечном направлении и вызывающие центробежные силы инерции, которые приводят к закручиванию рамы, что способствует развитию трещин в элементах несущей системы. Поэтому снизить нагруженность несущей системы полуприцепов автопоездов можно применением ряда мероприятий, позволяющих уменьшить угол закручивания рамы, что, в конечном итоге, приведет к повышению надежности несущей системы. Предлагаются следующие мероприятия: рациональное размещение груза, ограничение скорости движения на поворотах и предъявление обоснованных эксплуатационных требований к автопоезду по соотношению угловой жесткости подвески тягача и полуприцепа. Разработана расчетная схема нагружения несущей системы полуприцепа на повороте, учитывающая параметры тягача, полуприцепа и размещения груза, и выведены формулы зависимости угла закручивания рамы от параметров тягача, полуприцепа и размещения груза, по которым построены графики, обосновывающие предложенные мероприятия по снижению нагруженности рамы.

**Ключевые слова:** автопоезд; полуприцеп; несущая система; надежность автомобиля; горные условия эксплуатации; повороты; нагруженность несущей системы; угол закручивания рамы; мероприятия для повышения надежности.

Надежность – это свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования [1]. Общим вопросам надежности в технике посвящено большое количество работ [1–4]. Надежности несущей системы автомобиля уделено внимание в работах [5–11]. В частности, авторами работ [5, 6] В. С. Волковым и В. К. Магомедовым выявлено, что надежность несущей системы полуприцепов автопоездов в горных условиях эксплуатации значительно снижается по сравнению с равнинными условиями. Вследствие этого возникает рассогласование между потоками отказов полуприцепов и плановыми ремонтами, что значительно увеличивает расходы на их эксплуатацию. Для снижения этих расходов можно использовать два подхода.

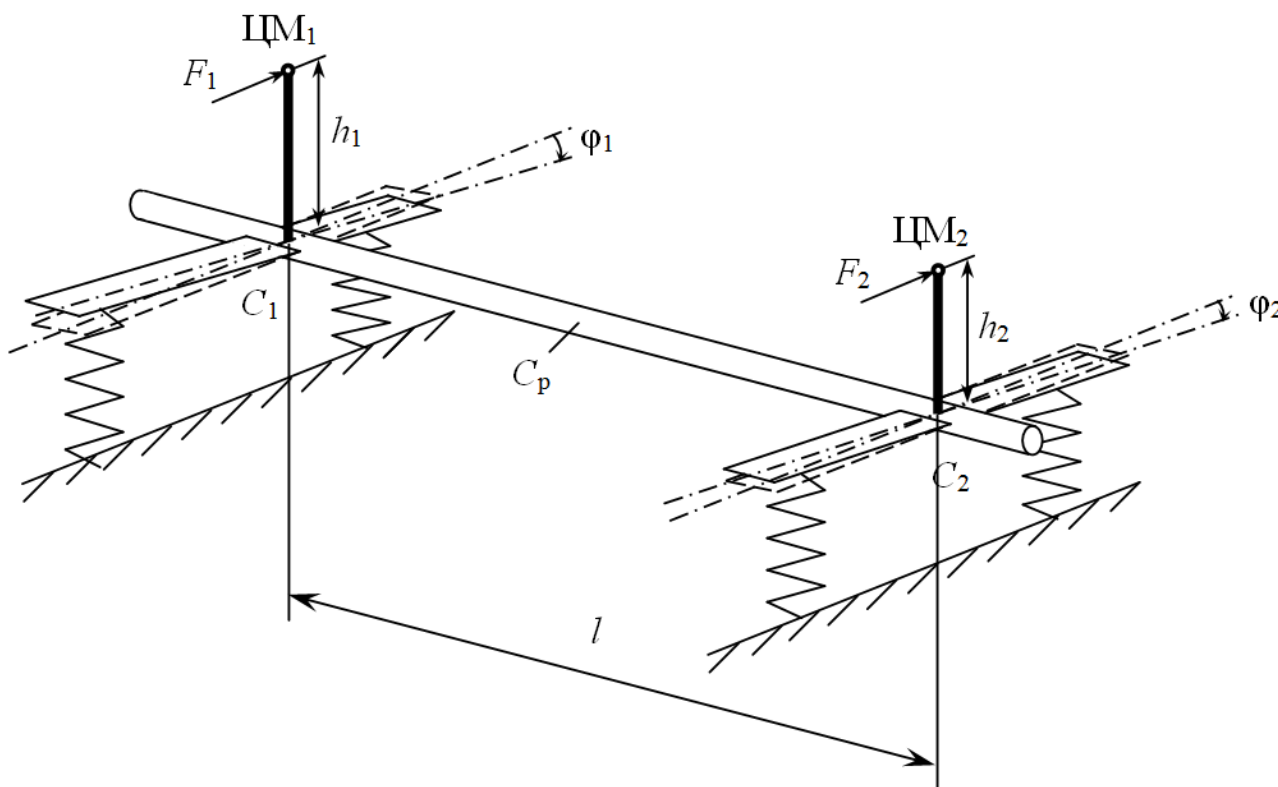
Первый подход был реализован и состоял в сборе статистической информации об отказах и повреждениях полуприцепов в горных условиях, установлении математических закономерностей отказов, разработке методики их прогнозирования и новых планов обслуживания и ремонта. В процессе сбора информации об отказах установлено, что для большинства видов отказов полуприцепов ОдАЗ-9357 и КЗАП-9370 характерно наступление предотказного состояния из-за постепенно развивающихся вследствие жесткости горных условий эксплуатации усталостных трещин в балках несущих элементов и в зонах сварных швов. Критериями отказов несущей системы полуприцепа являются трещины шириной более 1 мм в лонжеронах, в сварных соединениях центральных поперечин с лонжеронами и в сварных соединениях крайних поперечин с лонжеронами, прогиб опорного листа более 10 мм, трещины в опорном листе шириной более 2,0 мм и износ шейки шкворня по диаметру более 2,5 мм, а также усталостные трещины шириной более 2 мм в обвязке борта. Критериями предельного состояния полуприцепов является наличие трех и более заваренных поперечных трещин размером более 40 % высоты лонжерона, невозстанавливаемые деформации и разрушения (коробление, прогиб, изломы, усталостные трещины), требующие замены более пяти центральных поперечин, и предельное состояние рамы по двум и более признакам. Значения средней наработки до отказа рамы с настилом пола и опорного листа со шкворнем в сборе полуприцепа ОдАЗ-9357 при эксплуатации в горных условиях примерно одинаковы и составляют 62 тыс. км пробега, что примерно на 30 % меньше, чем в равнинных условиях эксплуатации. Этот подход позволяет сократить сроки проведения ремонтов и затраты, связанные с простоем подвижного состава. Однако число ремонтов и связанные с ними затраты при этом увеличиваются.

Таким образом, в первом подходе устранение рассогласования между потоками отказов полуприцепов в горных условиях и плановыми обслуживаниями и ремонтами осуществляется за счет увеличения количества плановых ремонтов, что существенно увеличивает затраты на эксплуатацию по сравнению с равнинными условиями.

Второй подход, предлагаемый в настоящей статье, состоит в установлении причин, вызывающих увеличение потока отказов несущей системы полуприцепа, и разработке способов снижения негативного влияния этих причин. В результате анализа основных особенностей движения автопоезда в горных условиях была выдвинута гипотеза, что увеличение потока отказов несущей системы полуприцепа происходит в результате действия на нее повышенных знакопеременных нагрузок при преодолении большого количества правых и левых поворотов, число которых достигает 200–300 на тысячу км пробега. Параметры поворотов приведены в работах [12, 13]. При преодолении поворотов возникают центробежные ускорения, вызывающие центробежные силы инерции, которые закручивают раму полуприцепа. При закручивании рамы полуприцепа в ней возникают нагрузки, пропорциональные углу закручивания, которые способствуют развитию трещин в элементах несущей системы. Следовательно, снизить нагруженность несущей системы

полуприцепов автопоездов можно применением ряда мероприятий, позволяющих уменьшить угол закручивания рамы, что, в конечном итоге, приведет к повышению надежности несущей системы. Предлагаются следующие мероприятия: рациональное размещение груза, ограничение скорости движения на поворотах и предъявление обоснованных эксплуатационных требований к автопоезду по соотношению угловой жесткости подвески тягача и полуприцепа.

Для обоснования предложенных мероприятий по снижению нагруженности рамы разработана математическая модель нагружения несущей системы полуприцепа на повороте, учитывающая параметры тягача, полуприцепа и размещения груза. Использовалась расчетная схема, приведенная на рис. 1, и схема (рис. 2), на которой указаны координаты центров масс передней ЦМ<sub>1</sub> и задней ЦМ<sub>2</sub> частей автопоезда.



**Рис. 1.** Схема расчета угла закручивания рамы:  $C_1$  – угловая жесткость подвески тягача;  $C_2$  – угловая жесткость подвески полуприцепа;  $C_p$  – угловая жесткость полуприцепа; ЦМ<sub>1</sub> – координата центра масс передней части автопоезда; ЦМ<sub>2</sub> – координата центра масс задней части автопоезда;  $h_1$  и  $h_2$  – расстояния от центров крена до соответствующих центров масс;  $F_1$  и  $F_2$  – центробежные силы, действующие, соответственно, на переднюю и заднюю части автопоезда  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  – углы крена

По расчетной схеме (рис. 3) составлены уравнения

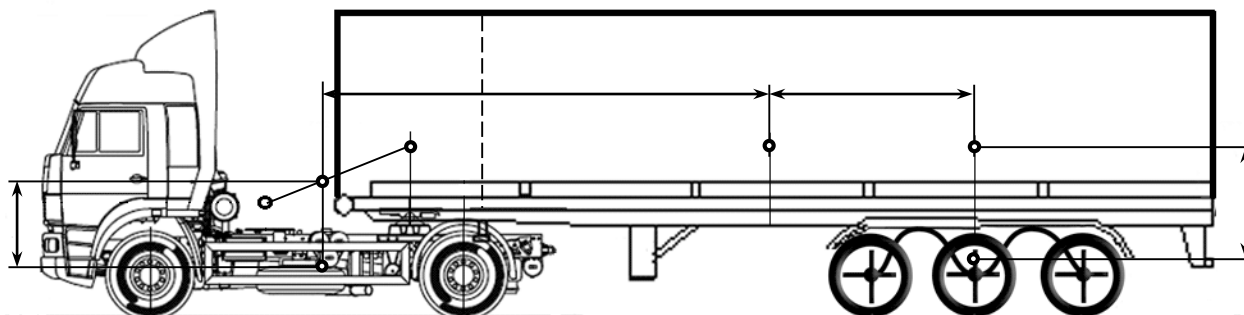
$$\begin{cases} m_1 a h_1 = C_1 \varphi_1 + C_p (\varphi_1 - \varphi_2), \\ m_2 a h_2 = C_2 \varphi_2 - C_p (\varphi_1 - \varphi_2). \end{cases} \quad (1)$$

Отсюда углы крена

$$\varphi_1 = \frac{m_1 a h_1 (C_2 + C_p) + m_2 a h_2 C_p}{C_1 C_2 + C_1 C_p + C_2 C_p} \quad (2)$$

и

$$\varphi_2 = \frac{m_2 a h_2 (C_1 + C_p) + m_1 a h_1 C_p}{C_1 C_2 + C_1 C_p + C_2 C_p} \quad (3)$$



**Рис. 2.** Схема для определения координат центров масс:  $ЦМ_m$  – координата центра масс тягача;  $ЦМ_0$  – координата центра масс части груза и кузова, расположенной над седлом тягача;  $ЦМ_1$  – координата центра масс передней части автопоезда, состоящих из массы тягача и массы части груза, расположенной над седлом тягача;  $ЦМ_2$  – координата центра масс части груза и кузова, расположенной над подвеской полуприцепа;  $h_1$  и  $h_2$  – расстояния от центров крена до соответствующих центров масс;  $l_1$  – расстояние от центра масс груза до центра масс передней части автопоезда;  $l_2$  – расстояние от центра масс груза до подвески полуприцепа

$$\text{Угол закручивания рамы } \Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{m_1 a h_1 - m_2 a h_2 \frac{C_1}{C_2}}{C_1 + \left(\frac{C_1}{C_2} + 1\right) C_p} \quad (4)$$

или

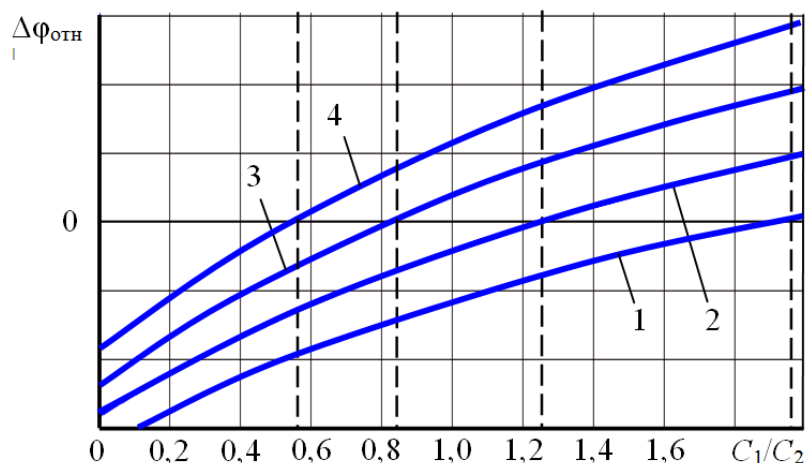
$$\Delta\varphi = \frac{\frac{l_2}{l} h_1 - \frac{C_1}{C_2} h_2 + \frac{C_1}{C_2} \frac{l_2}{l} h_2}{C_1 + \left(\frac{C_1}{C_2} + 1\right) C_p} M a, \quad (5)$$

где  $M$  – суммарная нагрузка на оси автопоезда.

Удельный угол закручивания рамы полуприцепа

$$\Delta\varphi_{\text{отн}} = \Delta\varphi / a. \quad (6)$$

На рис 3. приведена зависимость удельного угла закручивания рамы от относительной поперечной жесткости подвески автопоезда



**Рис. 3.** Зависимость удельного угла закручивания рамы от относительной поперечной жесткости подвески автопоезда (а) при  $h_1 = 1,5$  м,  $h_2 = 1,8$  м и соотношении  $l_2/l_1$  равном: 0,4 – кривая 1; 0,5 – кривая 2; 0,6, – кривая 3; 0,7 – кривая 4

Вертикальные штриховые линии на рис. 3 показывают те значения относительной поперечной жесткости подвески автопоезда, при которых удельный угол закручивания рамы полуприцепа на повороте равен нулю.

Для нахождения параметров автопоезда, при которых удельный угол закручивания рамы при преодолении поворота будет равен нулю, можно использовать зависимость

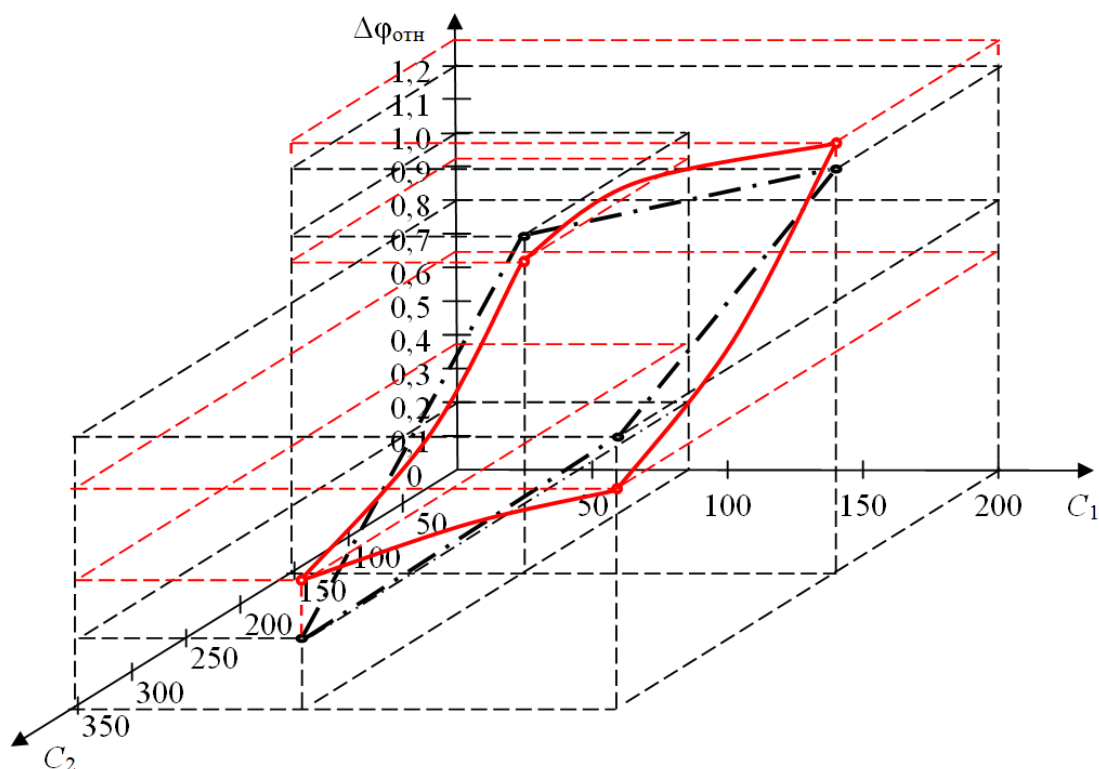
$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{h_1}{h_2} \cdot \frac{l_2}{1 - \frac{l_2}{l}} \quad (7)$$

Из уравнения (7) видно, что в случае, когда нельзя изменить геометрические параметры автопоезда (правая часть уравнения), добиться отсутствия закручивания рамы на повороте можно изменением угловой жесткости тягача. С другой стороны, анализ этой зависимости показывает, что при заданном соотношении угловой жесткости тягача и полуприцепа добиться отсутствия закручивания рамы можно подбором соотношения высот центра масс передней и задней частей автопоезда по уравнению (8) или подбором расположения центра масс груза по длине автопоезда по уравнению (9).

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{C_1}{C_2} \cdot \frac{1 - \frac{l_2}{l}}{\frac{l_2}{l}} \quad (8)$$

$$\frac{l_2}{l} = \frac{C_2 h_1}{C_1 h_2} + 1 \quad (9)$$

По формуле (5) и по данным М. А. Носенкова и В. М. Торно [7] были построены, соответственно, расчетные и экспериментальные зависимости относительного угла закручивания рамы от соотношения поперечной жесткости передней и задней подвески автомобиля (рис. 4).



**Рис. 4.** Зависимость угла закручивания рамы от относительной поперечной жесткости подвески автомобиля массой 10600 кг:

— — — — — график, построенный по формуле (5) при  $C_p = 101$  кН·м/рад;  $h_1 = 0,2$  м;  $h_2 = 1,0$  м;

$$l_2/l = 0,25;$$

— · — — — — график, построенный по результатам экспериментального исследования М. А. Носенкова и В. М. Торно

Исследование движения автомобиля проводилось по дугам различных радиусов со скоростью 60 км/ч. При этом фиксировались углы крена над передней и задней осями и боковое ускорение. Из рис. 4 видно, что качественно расчетный и экспериментальный графики соответствуют друг другу. При увеличении поперечной жесткости задней подвески автомобиля  $C_2$  и снижении аналогичной жесткости передней подвески  $C_1$  угол закручивания рамы уменьшается и стремится к нулю.

Таким образом, в статье доказано, что предложенные мероприятия позволяют снизить нагруженность несущей системы полуприцепа автопоезда при прохождении поворотов и тем самым повысить надежность автопоездов при эксплуатации в горных условиях.

## ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения [Текст] / М.: Изд-во стандартов, 1989. – 38 с.
2. ГОСТ 27.103-83. Надежность в технике. Критерии отказов и предельных состояний. Основные положения [Текст] / М.: Изд-во стандартов, 1983. – 5 с.
3. ГОСТ 27.310-95 Надежность в технике. Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения [Текст] / М.: Изд-во стандартов, 1995. – 22 с.
4. Надежность и эффективность в технике [Текст]: Справочник, т. 10: Справочные данные по условиям эксплуатации и характеристикам надежности / Под общ. ред. В. А. Кузнецова. М.: Машиностроение, 1990. – 330 с.
5. Волков, В. С. Оценка безотказности полуприцепов КЗАП-9370 при эксплуатации в горных условиях [Текст] / В. С. Волков, В. К. Магомедов // Вестник Воронежского государственного технического университета ISSN 1729-6501. Том 6, № 1, 2010 – С. 27 – 29.
6. Волков, В. С. Расчёт средней наработки до отказа магистральных автопоездов [Текст] / В. С. Волков, В. К. Магомедов // Проблемы качества и эксплуатации автотранспортных средств: Материалы VI международной научно-технической конференции. Ч. 1. – Пенза: ПГУАС, 2010. С. 9 – 13.
7. Носенков, М. А. Влияние податливости несущей системы автомобиля на его крен и перераспределение нормальных реакций колес [Текст] / М. А. Носенков, В. М. Торно // Автомобильная промышленность. – 1984. – № 4. – С. 16 – 17.
8. Браун, В. Н. Расчет ресурса автомобильных рам по их деформациям [Текст] / В. Н. Браун, П. Д. Павленко, Ю. А. Шабрат, Ю. Н. Петер // Автомобильная промышленность. – 1984. – № 8. – С. 15 – 17.
9. Почтенный, Е. К. Ресурс несущих конструкций грузовых автомобилей с учетом многочастотности и многорежимности нагружения / Е. К. Почтенный, П. П. Капуста // Грузовик. 2006. № 1. – С. 11 – 15.
10. Капуста, П. П. Принципы обеспечения надежности и ресурсного проектирования несущих систем мобильных машин [Текст] / П. П. Капуста // Грузовик. 2013. № 3. – С. 22 – 31.
11. Лукинский, В. С. Прогнозирование надежности автомобилей [Текст] / В. С. Лукинский, Е. И. Зайцев // Л.: Политехника, 1991. – 222 с.
12. СНиП 2.05.02-85 Автомобильные дороги.
13. Сурхаев, Г. М. Определение статистических характеристик радиусов поворотов горных дорог и поперечных сил инерции, действующих на автомобиль на этих поворотах [Электронный ресурс] / Г. М. Сурхаев, М. М. Мамакурбанов, М. Ш. Абдуллаев, Н. С. Агапов // Наукovedение, 2014. – Выпуск 3 (22) (май – июнь 2014). – URL:<http://naukovedenie.ru/PDF/145TVN314.pdf> (дата обращения: 03.09.2014).

**Рецензент:** Рябов Игорь Михайлович, профессор, доктор технических наук, Волгоградский государственный технический университет.



**Varis Magomedov**

Makhachkala branch of Moscow automobile and road state technical university (MADI)  
Russia, Makhachkala  
[varis507@mail.ru](mailto:varis507@mail.ru)

**Gamzat Surkhayev**

Makhachkala branch of Moscow automobile and road state technical university (MADI)  
Russia, Makhachkala  
[madi1p2@mail.ru](mailto:madi1p2@mail.ru)

**Konstantin Chernykv**

Volgograd State Technical University  
Russia, Volgograd  
[chernykv@rambler.ru](mailto:chernykv@rambler.ru)

## **The reliability of a bearing system of semi trucks and its increase in mountain conditions**

**Abstract.** Reliability of the support system semi trucks in mountainous conditions is greatly reduced compared to lowland conditions. One of the main factors that influence the decrease of reliability semi-mountainous conditions, is the large number of turns, which occur at overcoming torsional acceleration acting on the vehicle in the lateral direction and causing the centrifugal forces of inertia, which lead to the spinning-set frame, which promotes cracking in the elements of the carrier. Therefore, to reduce the loading of the support system of semi-trucks can be using a number of activities to reduce the angle of twist of the frame, which ultimately will lead to increased reliability of the carrier system. Following measures are proposed: the rational distribution of the load, the speed limit on the turns and performance standards for road trains on corner suspension stiffness of the tractor and semi-trailer. Developed an even dis-loading scheme carrier semitrailer system at the turn, take into account settings-decreasing tractor, semitrailer and stowage, and derived formulas depending on the angle of twist of the frame on the parameters of the tractor, semi-trailer and placing a cargo for which the graphs, justify the proposed measures to reduce the loading of the frame.

**Keywords:** trailer; semi-trailer; carrying system; the reliability of the car; mountain conditions of operation; turning; loading of the support system for angle-torsional frame measures to improve the reliability.

## REFERENCES

1. GOST 27.002-89. Nadezhnost v tekhnike. Osnovnye ponyatiya. Terminy i opredeleniya [Tekst] / M.: Izd-vo standartov, 1989. – 38 s.
2. GOST 27.103-83. Nadezhnost v tekhnike. Kriterii otkazov i predelnykh sostoyaniy. Osnovnye polozheniya [Tekst] / M.: Izd-vo standartov, 1983. – 5 s.
3. GOST 27.310-95 Nadezhnost v tekhnike. Analiz vidov, posledstviy i kritichnosti otkazov. Osnovnye polozheniya [Tekst] / M.: Izd-vo standartov, 1995. – 22 s.
4. Nadezhnost i effektivnost v tekhnike [Tekst]: Spravochnik, t. 10: Spravochnye dannye po usloviyam ekspluatatsii i kharakteristikam nadezhnosti / Pod obshch. red. V. A. Kuznetso-va. M.: Mashinostroenie, 1990. – 330 s.
5. Volkov, V. S. Otsenka bezotkaznosti polupritsepov KZAP-9370 pri ekspluatatsii v gor-nykh usloviyakh [Tekst] / V. S. Volkov, V. K. Magomedov // Vestnik Voronezhskogo gosudar-stvennogo tekhnicheskogo universiteta ISSN 1729-6501. Tom 6, № 1, 2010 – S. 27 – 29.
6. Volkov, V. S. Raschet sredney narabotki do otkaza magistralnykh avtopoezdov [Tekst] / V. S. Volkov, V. K. Magomedov // Problemy kachestva i ekspluatatsii avtotransportnykh sredstv: Materialy VI mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. Ch. 1. – Penza: PGUAS, 2010. S. 9 – 13.
7. Nosenkov, M. A. Vliyanie podatlivosti nesushchey sistemy avtomobilya na ego kren i pe-reraspredelenie normalnykh reaktsiy koles [Tekst] / M. A. Nosenkov, V. M. Torno // Av-tomobilnaya promyshlennost. – 1984. – № 4. – С. 16 – 17.
8. Braun, V. N. Raschet resursa avtomobilnykh ram po ikh deformatsiyam [Tekst] / V. N. Bra-un, P. D. Pavlenko, Yu. A. Shabrat, Yu. N. Peter // Avtomobilnaya promyshlennost. – 1984. – № 8. – С. 15 – 17.
9. Pochtenny, Ye. K. Resurs nesushchikh konstruksiy gruzovykh avtomobiley s uchetom mnogo-chastotnosti i mnogorezhimnosti nagruzheniya / Ye. K. Pochtenny, P. P. Kapusta // Gruzo-vik. 2006. № 1. – S. 11 – 15.
10. Kapusta, P. P. Printsipy obespecheniya nadezhnosti i resursnogo proektirovaniya nesushchikh sistem mobilnykh mashin [Tekst] / P. P. Kapusta // Gruzovik. 2013. № 3. – S. 22 – 31.
11. Lukinskiy, V. S. Prognozirovanie nadezhnosti avtomobiley [Tekst] / V. S. Lukin-skiy, Ye. I. Zaytsev // L.: Politekhnik, 1991. – 222 s.
12. SNiP 2.05.02-85 Avtomobilnye dorogi.
13. Surkhaev, G. M. Opredelenie statisticheskikh kharakteristik radiusov povorotov gor-nykh dorog i poperechnykh sil inertsii, deystvuyushchikh na avtomobil na etikh povorotakh [Elektronnyy resurs] / G. M. Surkhaev, M. M. Mamakurbanov, M. Sh. Abdullaev, N. S. Agapov // Naukovedenie, 2014. – Vypusk 3 (22) (may – iyun 2014). – URL:[http:// naukovedenie.ru/PDF/145TVN314.pdf](http://naukovedenie.ru/PDF/145TVN314.pdf) (data obrashcheniya: 03.09.2014).