

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ШИН НА ПЛАВНОСТЬ ХОДА ГРУЗОВОГО АВТОМОБИЛЯ

Пака Н.И., Татаринцев В.Ю., Артёмов А.В., Колядин П.А., Прядкин В.И.

*Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова, Воронеж*

Ключевые слова: параметры шин, плавность хода, вибронегруженность, математическая модель, программа для ЭВМ, КАМАЗ-43118, опорное основание, колёсный движитель, грузовой автомобиль, шина низкого давления, параметры движения.

Аннотация. В статье рассматривается влияние параметров шины Кама-1260 и шины низкого давления Бел-91 на плавность хода грузового автомобиля КАМАЗ-43118. Разработана компьютерная программа и математическая модель, которые позволили получить зависимости вертикального ускорения сиденья водителя от скорости движения автомобиля и давления воздуха в шинах. Установлено, что шина низкого давления Бел-91 позволяют снизить амплитуду колебаний на сиденье водителя и повысить плавность хода грузового автомобиля.

ASSESSMENT OF THE EFFECT OF TIRE PARAMETERS ON THE SMOOTH RUNNING OF A TRUCK

Paka N.I. Tatarintsev V.Yu., Artyomov A.V., Kolyadin P.A., Pryadkin V.I.

Voronezh state forestry engineering University named after G.F. Morozov, Voronezh

Keywords: tire parameters, smooth running, vibration load, mathematical model, computer program, KAMAZ-43118, support base, wheel propulsion, truck, low-pressure tire, motion parameters.

Abstract. The article examines the effect of the parameters of the Kama-1260 tire and the Bel-91 low-pressure tire on the smooth running of the KAMAZ-43118 truck. A computer program and a mathematical model have been developed that allowed us to obtain the dependence of the vertical acceleration of the driver's seat on the speed of the car and the air pressure in the tires. It was found that the Bel-91 low-pressure tire can reduce the amplitude of vibrations in the driver's seat and increase the smoothness of the truck.

Во время движения грузового автомобиля по неровностям происходят непрерывные колебания его поддрессоренных и неподдрессоренных масс, которые оказывают негативное влияние на водителя, пассажиров и перевозимый груз, происходит ухудшение работы агрегатов и узлов автомобиля. Интенсивные колебания поддрессоренных частей автомобиля приводят к быстрому утомлению водителя, вследствие чего приходится снижать скорость движения. Это оказывает существенное влияние на производительность автомобиля. В настоящее время плавность хода грузовых автомобилей не в полной мере соответствует дорожным условиям эксплуатации. Поэтому улучшение плавности хода грузовых автомобилей является весьма актуальной проблемой, решение которой позволит существенно улучшить подвижность автомобилей и эффективность их использования [1].

Традиционные математические модели движения автомобиля для вибронегруженности водителя учитывают два вида возмущающего воздействия на автомобиль: воздействие со стороны дорожного полотна или опорного основания и воздействие со стороны силового агрегата и трансмиссии.

Оба источника воздействий сводятся к автомобильному колесу и далее передают воздействие на колебательную систему поддрессоренных и недрессоренных частей автомобиля.

Внешнее возмущающее воздействие на автомобиль со стороны опорного основания вызвано неровностями профиля дороги. Наиболее неблагоприятным является возмущающее воздействие, обусловленное неровностями дороги синусоидального профиля.

В данной работе рассматривается только возмущающее воздействие от неровности опорного основания.

В модели рассматривали трехосный грузовой автомобиль КАМАЗ-43118. Корпус автомобиля представлен как движущееся в двумерном пространстве абсолютно твердое тело, взаимодействующее с опорной поверхностью через два уровня упруго-вязких сил через материальные точки – колеса (рис. 1) [2, 3].

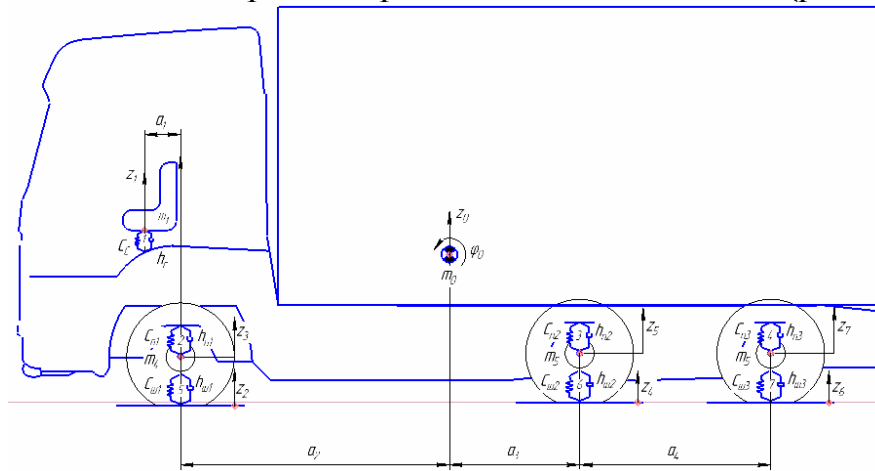


Рис. 1. Расчетная схема для построения динамической модели трёхосного грузового автомобиля КАМАЗ-43118

Автомобиль в модели характеризуется массой m_a и моментом инерции J_a , который рассчитывается для текущего момента времени относительно мгновенной оси вращения тела. Положения автомобиля в пространстве характеризуется декартовыми координатами его центра тяжести (x_a, z_a) , а также углами отклонения локальной системы координат от неподвижной базовой (ϕ_{xa}, ϕ_{za}) [2-5].

Движение автомобиля в модели описывается системой дифференциальных уравнений, составленной на базе основных законов динамики поступательного и вращательного движения:

$$\begin{cases} m_a \frac{d^2 x_a}{dt^2} = \sum_{i=1}^6 F_{ni}^x; \\ m_a \frac{d^2 z_a}{dt^2} = -m_a \cdot g + \sum_{i=1}^6 F_{ni}^z; \\ J_{ax} \frac{d^2 \phi_{xa}}{dt^2} = \sum_{i=1}^6 M^x(F_{ni}); \\ J_{az} \frac{d^2 \phi_{za}}{dt^2} = \sum_{i=1}^6 M^z(F_{ni}), \end{cases}$$

где t – время; F_{ni} – силы, действующие на корпус от подвески i -го колеса; M^k – моменты рассматриваемых сил относительно декартовой оси k .

Для исследования вертикальных колебаний сиденья водителя объекта исследований в рамках данной работы рассмотрено два характерных профиля (рис. 2):

- единичная трапециевидальная неровность на ровном участке дороги;
- гауссовский профиль грунтовой дороги.

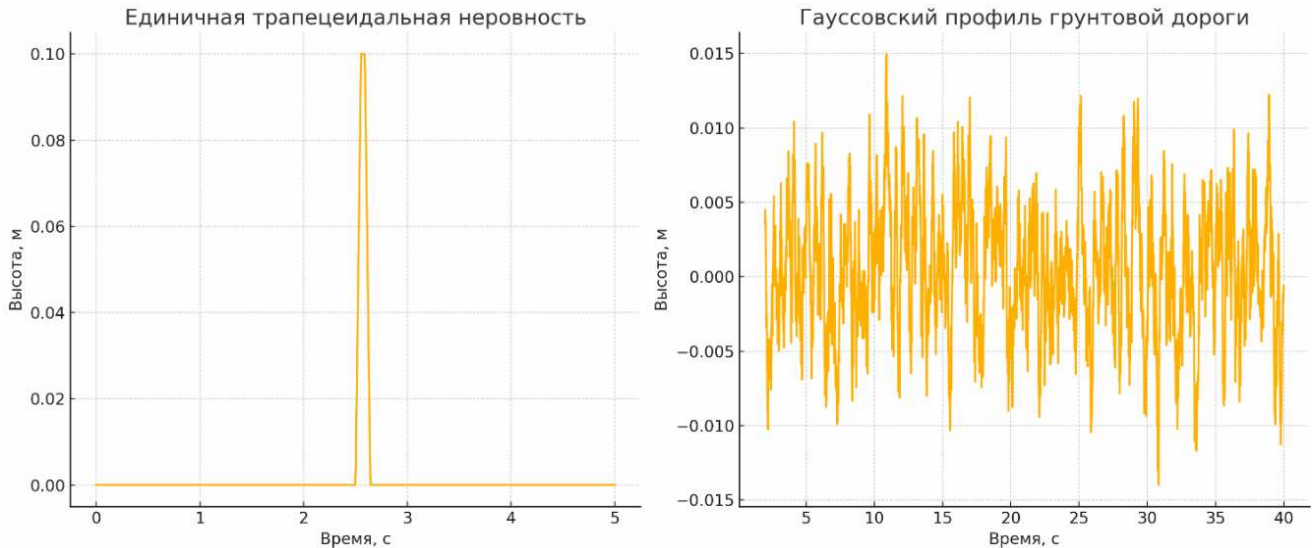


Рис. 2. Изменение профиля дороги во времени

На основе разработанного математического аппарата написана программа для ЭВМ на языке Python.

Программа предназначена для моделирования движения трехосного грузового автомобиля с заданным давлением воздуха в шинах и с заданной скоростью по опорной поверхности, как с единичной трапециевидной неровностью, так и со случайными неровностями.

Для исследования зависимости максимального вертикального ускорения сиденья водителя от давления воздуха в шинах и скорости движения провели по две серии компьютерных экспериментов для шины Кама-1260 и шины низкого давления Бел-91.

В первой серии компьютерных экспериментов изучали влияние скорости движения автомобиля v , и параметр v изменяли от 5 до 50 км/ч с шагом 5 км/ч. Во второй серии компьютерных экспериментов изучали влияние давления воздуха в шинах P_w , и параметр P_w варьировали на 3 уровнях.

Обнаружено, что наибольшие значения a_{zm} принимает при скоростях движения 5...15 км/ч (рис. 3 и 4).

Разработанная трехмерная модель позволяет с высоким уровнем физической адекватности воспроизвести движение грузового автомобиля по неровной дороге. Для одного и того же профиля опорной поверхности со случайными неровностями были проведены два компьютерных эксперимента по движению автомобиля с шинами Бел-91 (0,2 МПа) и Кама-1260 (0,35 МПа). В данных компьютерных экспериментах автомобиль двигался со скоростью 30 км/ч.

Сравнивая графики колебаний сиденья водителя $z_e(t)$ можно сделать вывод, что использование шины низкого давления Бел-91 вместо Кама-1260 позволяет снизить амплитуду колебаний сиденья с 0,16 до 0,11 м (рис. 5) [6-8].

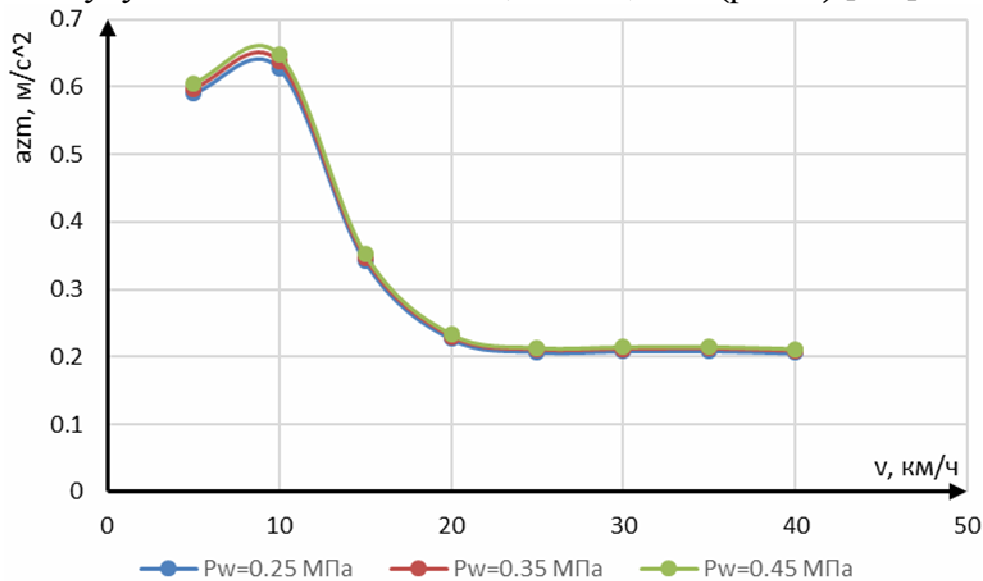


Рис. 3. Зависимость максимального ускорения на сиденье водителя a_{zm} от скорости движения автомобиля v при различных значениях давления воздуха в шине P_w для шины Кама-1260

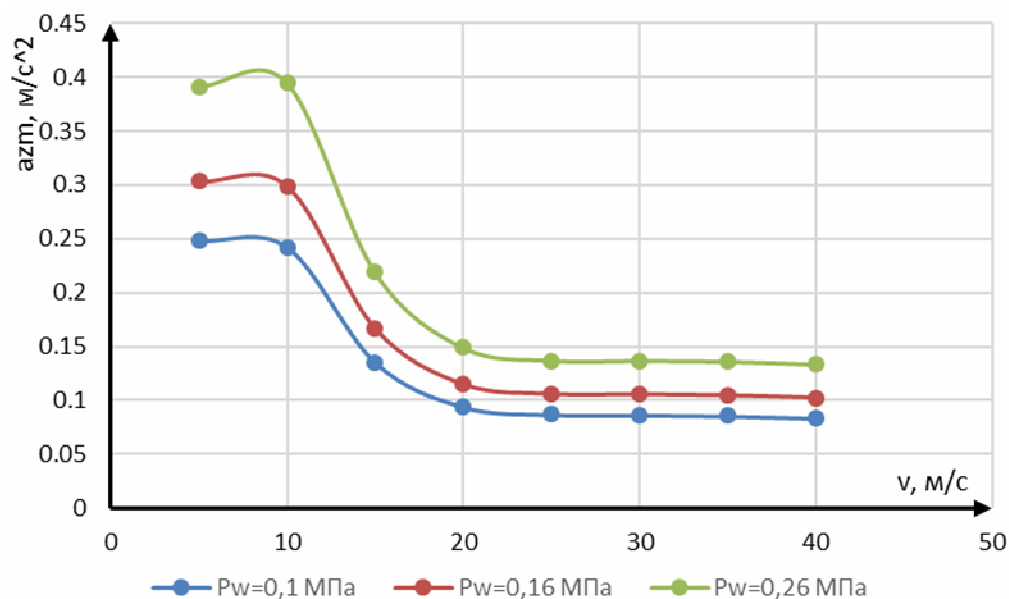


Рис. 4. Зависимость максимального ускорения на сиденье водителя a_{zm} от скорости движения автомобиля v при различных значениях давления воздуха в шине P_w для шины низкого давления Бел-91

На основе сравнительного анализа спектров установлены преимущества шины низкого давления Бел-91 перед Кама-1260, а именно:

- снижается на 12% интенсивность колебаний в диапазоне частот колебаний 0,0...0,8 Гц;
- снижается на 30% интенсивность колебаний в диапазоне частот 0,8...2 Гц;
- снижается на 40-50% интенсивность колебаний в диапазоне частот 2...4 Гц.

Таким образом, проведенное теоретическое исследование свидетельствует об улучшении плавности хода трёхосного автомобиля при использовании шин низкого давления Бел-91 вместо шин Кама-1260.

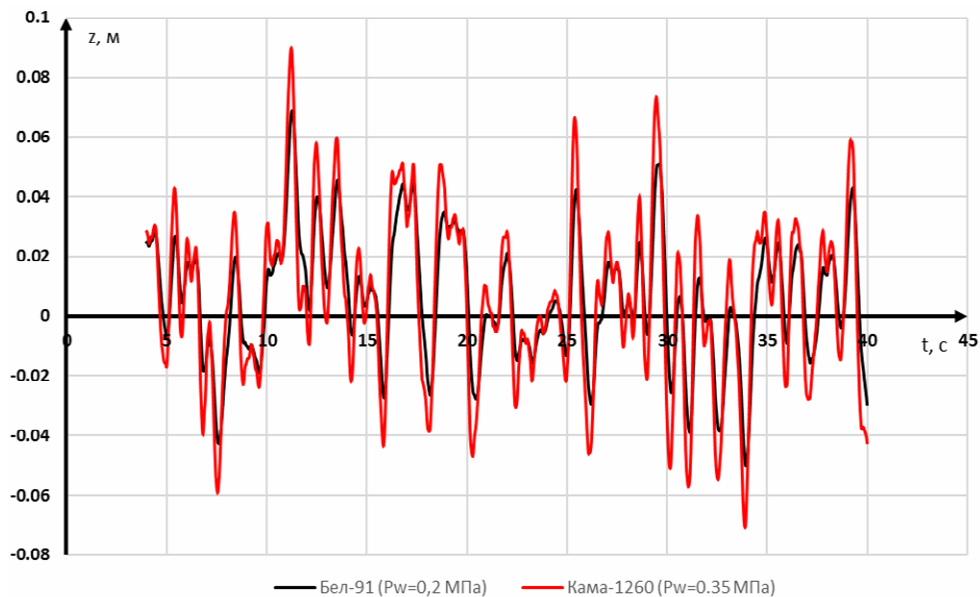


Рис. 5. Зависимость от времени t вертикальной координаты сиденья водителя z_{θ}

На спектральных графиках (рис. 6) видно, что основная энергия колебаний сконцентрирована в диапазоне частот от 1 до 4 Гц, что совпадает с диапазоном наиболее выраженного воздействия на организм водителя. У шины Кама-1260 наблюдаются выраженные пиковые значения, тогда как у Бел-91 спектр более равномерный, но шире. Это указывает на то, что вибрационные нагрузки от шины Кама-1260 носят более резкий, ударный характер, в то время как Бел-91 возбуждает более плавные, но продолжительные колебания [7-9].

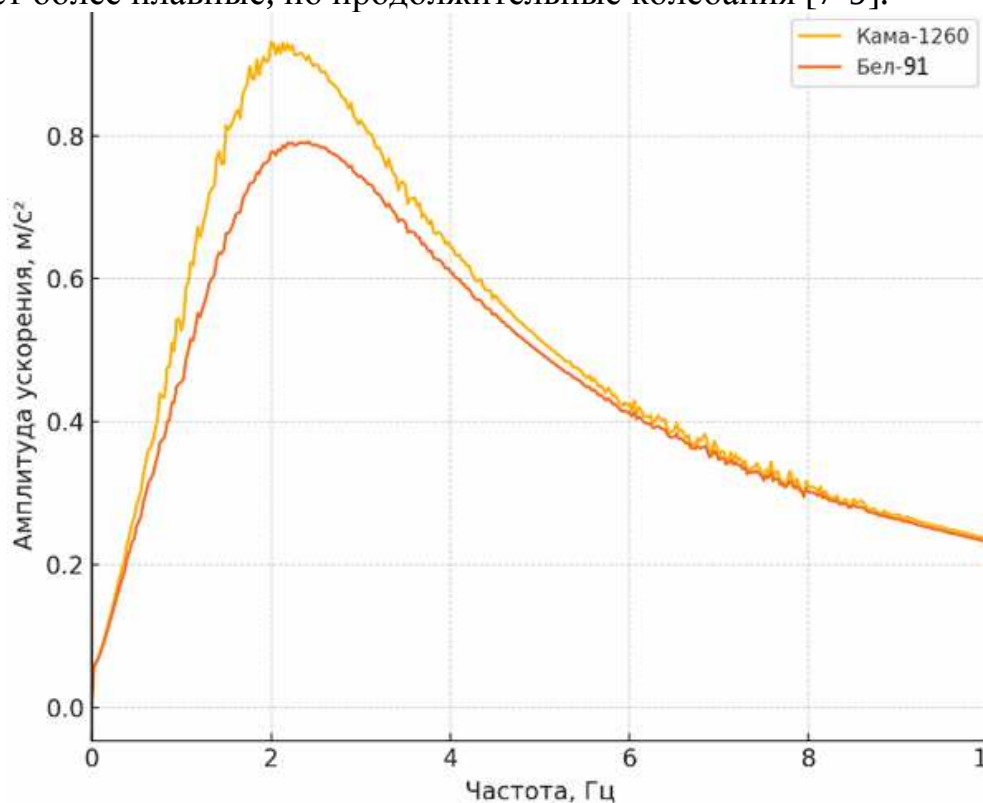


Рис. 6. Спектры амплитудных колебаний сиденья водителя

В таблице 1 представлены результаты определения среднеквадратических ускорений на сиденье водителя при движении грузового автомобиля КАМАЗ-43118 по грунтовой дороге, профиль которой описывается гауссовской функцией.

Табл. 1. Виброускорение на сиденье водителя

Тип шины	Значение среднеквадратического виброускорения, м/с^2	
	RMS	ISO 2631
Кама-1260 (0.45 МПа)	1,88	1,19
Бел-91 (0.16 МПа)	1,19	1,13

Сравнение среднеквадратических ускорений и эквивалентных уровней вибрации по ISO 2631 показывает, что оба типа шин обеспечивают вибрационную нагрузку, находящуюся в пределах допустимых норм. Тем не менее, значения для Кама-1260 превышают аналогичные значения для Бел-91, что подтверждает вывод о более жёстком характере воздействия этой шины на сиденье водителя.

Выводы

1. Разработанный математический аппарат и компьютерная программа позволили получить зависимости вертикального ускорения сиденья водителя от скорости и давления воздуха в шинах. Наибольшие значения ускорения сиденья водителя принимает при скоростях движения 15...30 км/ч.

2. Использование шин низкого давления вместо Кама-1260 позволяет снизить амплитуду колебаний сиденья с 0,16 до 0,11 м.

3. На основе сравнительного анализа спектров установлены преимущества шины низкого давления Бел-91 перед Кама-1260.

Список литературы

1. Репин С.В., Масленников Н.А., Орлов Д.С., Лутов Д.С. Исследование процессов обеспечения плавности хода транспортно-технологических машин на базе шасси грузовых автомобилей в сложных дорожных условиях // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2023. – № 23. – С. 76-84. – DOI: 10.26160/2658-3305-2023-23-76-84.
2. Тарасик В.П. Математическое моделирование прямолинейного движения автомобиля // Автомобильная промышленность. – 2017. – № 10. – С. 19-23.
3. Ковалев Э.В., Кольцов А.Ю., Прядкин В.И. Плавность хода автомобиля КАМАЗ-4310, оборудованного широкопрофильными шинами низкого давления // Повышение эксплуатационных качеств мобильных транспортно-технологических средств: материалы Всероссийской научной конференции, Воронеж, 15 ноября 2023 года. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2023. – С. 48-57. – DOI: 10.58168/IPMTTM2023_48-57.
4. Прядкин В.И., Шапиро В.Я., Годжаев З.А., Гончаренко С.В. Транспортно-технологические средства на шинах сверхнизкого давления. – Воронеж: ВГЛУ, 2019 – 492 с.
5. Прядкин В.И. Мобильные энергосредства сельскохозяйственного назначения на шинах сверхнизкого давления: Автореф. дисс. ... докт. техн. наук. – М., 2013. – 351 с.
6. Уразов Б.А. Способы снижения вибрационных нагрузок поддресоренных частей грузовых автотранспортных средств за счет улучшения качества системы поддресоривания // Вестник науки. – 2022. – Т. 1, №1(46). – С. 136-140.
7. Зайцев С.Д., Стребленченко Л.С., Гончаренко С.В., Прядкин В.И. Экспериментальная оценка тягово-сцепных качеств широкопрофильной шины // Тракторы и сельхозмашины. – 2010. – № 8. – С. 25-27.

8. Кручинин П.А. Исследование колебаний человека при спокойном стоянии. – М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, 2018. – С.21-23.
9. Казаков Ю.Ф., Медведев В.И., Батманов В.Н., Ильин В.В. Повышение эксплуатационных характеристик колесных движителей // Инновационное развитие агропромышленного комплекса как фактор конкурентоспособности: проблемы, тенденции, перспективы: Коллективная монография. Часть 1. – Киров: Вятская государственная сельскохозяйственная академия, 2020. – С. 230-250.

Сведения об авторах:

Пака Никита Иванович – магистрант;

Татаринцев Василий Юрьевич – преподаватель кафедры автомобилей и сервиса;

Артёмов Артём Владимирович – старший преподаватель кафедры автомобилей и сервиса;

Колядин Павел Александрович – ассистент кафедры автомобилей и сервиса;

Прядкин Владимир Ильич – д.т.н., профессор кафедры автомобилей и сервиса.