

DOI: 10.58168/ATER2025_105-113
УДК 629.3.017.3

Онищенко Д.О.

доктор техн. наук, профессор
кафедры поршневые двигатели
Московского государственного
технического университета
имени Н.Э. Баумана, РФ.

Прядкин В.И.

доктор техн. наук, профессор
кафедры автомобилей и сервиса
Воронежского государственного
лесотехнического университета
имени Г. Ф. Морозова, РФ

Артемов А.В.

кандидат техн. наук, старший
преподаватель кафедры автомобилей
и сервиса Воронежского государственного
лесотехнического университета
имени Г. Ф. Морозова, РФ

Колядин П.А.

ассистент кафедры автомобилей и сервиса
Воронежского государственного
лесотехнического университета имени
Г.Ф. Морозова, РФ

Татаринцев В.Ю.

ассистент кафедры автомобилей и сервиса
Воронежского государственного
лесотехнического университета
имени Г.Ф. Морозова, РФ

Onishchenko D.O.

Doctor of technical sciences,
professor of the Department of Piston Engines
Bauman Moscow State Technical University,
Russian Federation.

Pryadkin V.I.

Doktor of technical sciences, professor,
Department of Automobiles and Service
Voronezh State Forestry Engineering University
named after G. F. Morozov,
Russian Federation

Artyomov A.V.

Candidate of Technical Sciences, Senior
Lecturer, Department of cars and service,
Voronezh State Forestry Engineering
University,
Russian Federation

Kolyadin P.A.

assistant of the Department of cars and service,
Voronezh State University of Forestry
and Technologies named after G.F. Morozov,
Russian Federation

Tatarintsev V.Yu.

assistant of the Department of cars and service,
Voronezh State University of Forestry and
Technologies named after G.F. Morozov,
Russian Federation

ОЦЕНКА ПЛАВНОСТИ ХОДА СПЕЦИАЛЬНОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА «МАНГУСТ»

EVALUATION OF RIDE COMFORT OF THE SPECIAL TRANSPORT VEHICLE MANGUST

Аннотация. В работе представлены результаты лабораторно-дорожных испытаний специального транспортного средства МАНГУСТ с целью определения его вибрационных характеристик при преодолении единичной неровности. Приведены методические подходы к регистрации виброускорений, рассмотрены особенности спектрального анализа сигналов и проведена оценка плавности хода по результатам экспериментальных измерений. Полученные данные позволили установить закономерности изменения вибронагруженности в зависимости от скорости движения и выявить резонансные режимы, определяющие комфортность и надежность эксплуатации. Сформулированы направления дальнейших исследований, направленные на совершенствование подвески и шинной системы.

Abstract. This paper presents the results of laboratory and road tests of the special transport vehicle MANGUST aimed at assessing its ride comfort and vibration characteristics when travers-

ing a single artificial road irregularity. Ride comfort is a key parameter determining the operational reliability, structural durability, and ergonomic quality of special-purpose vehicles, especially those operating under increased dynamic loads. The experimental study included registration of tri-axial accelerations on the vehicle frame and on the driver's seat, followed by spectral analysis and evaluation of root-mean-square vibration levels at different vehicle speeds. The obtained results make it possible to identify the resonance range of the suspension system and to assess the influence of speed on the vehicle's vibrational response. The findings have been used to verify a mathematical model of the vehicle dynamics and provide the basis for further optimization of the suspension and tire systems.

Ключевые слова: специальное транспортное средство, виброускорение, плавность хода, неровность, спектральный анализ.

Keywords: special transport vehicle; ride comfort; vibration acceleration; spectral analysis; artificial road irregularity; vehicle dynamics; experimental investigation.

Введение

Проблематика оценки плавности хода занимает центральное место при исследовании динамики специальных транспортных средств, предназначенных для функционирования в условиях повышенной вибрационной нагруженности. Работоспособность узлов, комфорт экипажа, слагаемая надежность подвески и управляемость автомобиля существенно зависят от уровня вертикальных ускорений, возникающих при взаимодействии колес с неровностями дорожного профиля [1]. Для машин военного и спасательного назначения эти параметры приобретают еще большую значимость, так как эксплуатация нередко сопряжена с высокими динамическими воздействиями и необходимостью обеспечения работоспособности оборудования в неблагоприятных условиях.

Специальное транспортное средство МАНГУСТ, являясь развитием проекта СТРЕЛА, сохранило ряд конструктивных особенностей предшественника, однако было адаптировано под расширенный спектр задач, включая движение по пересеченной местности [2]. Наибольший интерес представляет независимая диагональная подвеска, способная формировать характерные резонансные зоны в диапазоне эксплуатационных скоростей. В этой связи возникает необходимость экспериментального подтверждения расчетных характеристик и последующей верификации математической модели динамики [3].

В основе настоящей работы лежит методический подход, аналогичный использованному в исследовании и вибродинамики мобильного энергетического средства [3]. Тестирование СТС МАНГУСТ проводилось по схожему принципу, однако в иных скоростных режимах и без изменения давления воздуха в шинах. Такой подход позволил сосредоточить внимание именно на характеристиках подвески и кинематике взаимодействия с единичной неровностью.

Материалы и методы

Объектом исследования является специальное транспортное средство МАНГУСТ, основные конструктивные параметры которого приведены в таблице 1[2]. Общий вид машины представлен на рисунке 1, а характерные элементы рамы и независимой подвески – на рисунке 2.

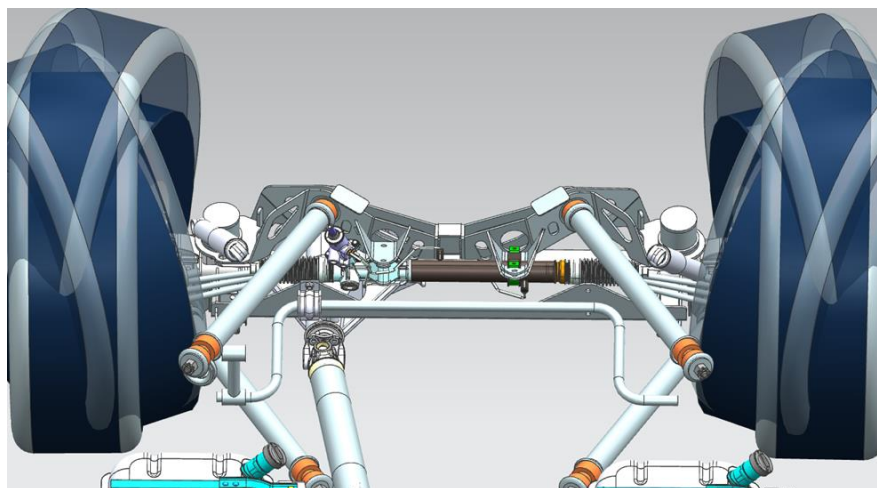
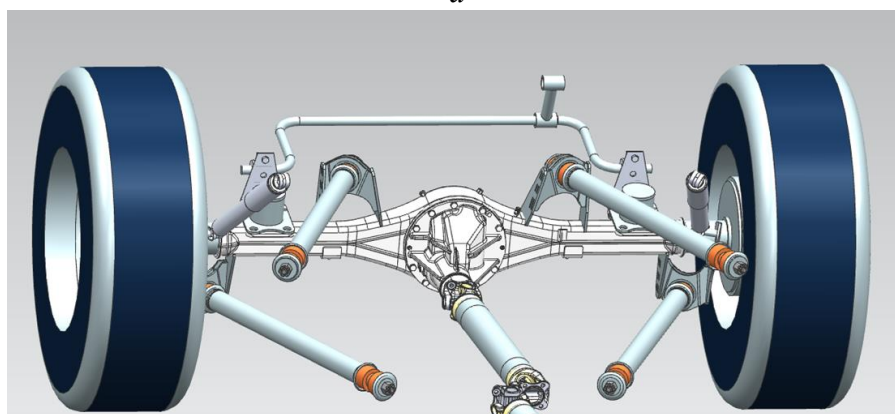
Таблица 1 – Технические характеристики СТС «МАНГУСТ»

Показатель	Значение показателя
Разработчик	МСИТК при участии студентов МГТУ им. Баумана
Тип машины	Вездеход среднего класса
Колесная формула	4x4
Двигатель	Cummins ISF2.8s4129P 88,3 кВт
Подвеска	независимая пружинная, оригинальной разработки, усиленная
Рама	пространственная, трубчатая
Снаряженная масса	2440 кг
Грузоподъемность	1000 кг
Вместимость	2-4 чел
Дорожный просвет	300 мм



Рисунок 1 – Общий вид СТС МАНГУСТ

Испытания проводились на ровном асфальтированном участке длиной 635 м (рис. 3 а), что обеспечивало стабильность условий возбуждения колебаний. Искусственная неровность представляла собой трапецидальный порог высотой 70 мм и использовалась в качестве возмущающего воздействия (рис. 3 б).

*а**б*

а – подвеска переднего моста; *б* – подвеска заднего моста

Рисунок 2 – Общий вид системы подпрессоривания СТС МАНГУСТ

Для регистрации виброускорений применялись приборы «Ассистент Total» и «Октава 101» (рис. 4), оснащенные трехкоординатными акселерометрами. Датчики устанавливались на раме над передним мостом и на подушке сиденья водителя, что позволяло фиксировать как отклик подпрессоренной массы, так и воздействие на экипаж [3].

*а**б*

а – участок дороги для проведения испытаний; *б* – единичные неровности на участке дороги

Рисунок 3 – Условия проведения испытаний

Частотный диапазон приборов (0,8–80 Гц по общей вибрации) обеспечивал регистрацию всех значимых компонент вертикального ускорения, включая резонансные пики и высокочастотные составляющие, возникающие при ударном характере возбуждения [3].



АССИСТЕНТ TOTAL



ОКТАВА 101

Рисунок 4 – Применяемые измерительные приборы

Испытания выполнялись при скоростях 10, 20, 30, 40 и 50 км/ч. Для повышения статистической достоверности каждая скорость повторялась пять раз. В завершение проводились контрольные проходы без преодоления неровности, по которым определялись собственные частоты системы «подвеска – шины – рама» и впоследствии исключалось их влияние.

Регистрация сигналов осуществлялась одновременно по трем осям. На этапе обработки выполнялось выделение участка, соответствующего пересечению неровности, после чего данные подвергались фильтрации для устранения высокочастотных шумов. Далее проводился спектральный анализ, позволивший определить доминирующие частоты возбуждения. Среднеквадратическое значение вертикальных ускорений вычислялось по стандартной методике, что позволило количественно оценить вибронагруженность рабочего места водителя [3].

Результаты и обсуждение

Полученные зависимости виброускорений от скорости движения представлены на рисунке 5.

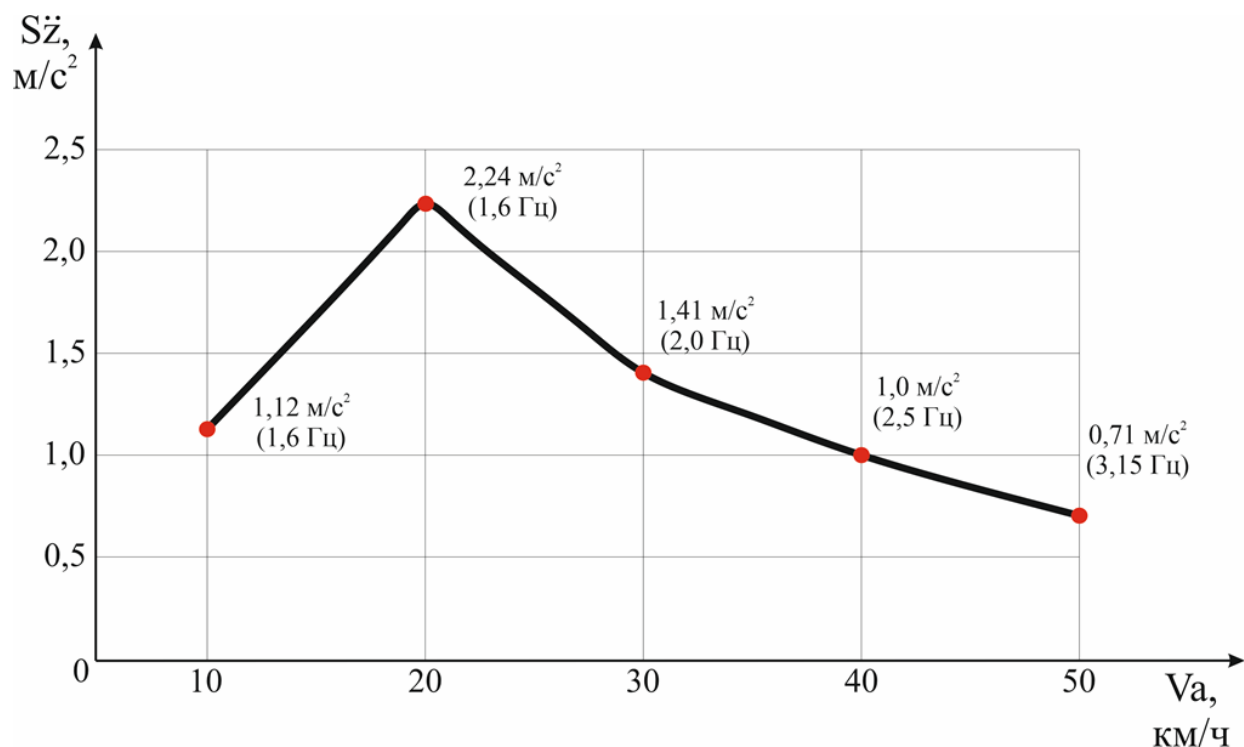


Рисунок 5 – Экспериментальные значения среднеквадратических ускорений на сидении водителя

Наиболее характерной особенностью является наличие выраженного резонансного пика при скорости около 20 км/ч, где наблюдается максимальное значение RMS ускорения – 2,24 м/с². При дальнейшем увеличении скорости амплитуда вибраций начинает снижаться: на скорости 40 км/ч она составляет около 1,0 м/с², а при 50 км/ч – не превышает 0,71 м/с².

Подобная динамика отражает принципиальные закономерности взаимодействия подвески с дорожной неровностью. При малых скоростях возбуждение недостаточно интенсивно, в то время как увеличение скорости до определенного диапазона приводит к совпадению частоты внешнего воздействия с собственными частотами системы, что и проявляется в резонансном росте виброускорений. На высоких скоростях время контакта со ступенчатой неровностью сокращается, и система фактически выходит из зоны резонанса, что сопровождается снижением вибрационной нагрузки.

Спектры ускорений показывают, что доминирующая частота при максимальной вибрации составляет около 1,6 Гц, что соответствует собственным частотам колебаний сиденья и нижней части подрессоренной массы [4]. При скоростях 40–50 км/ч доминирующая частота смещается в область 2,5–3,15 Гц, что отражает переход к иным режимам взаимодействия колеса с дорожным профилем.

Полученные данные позволяют сделать вывод о том, что конструктивные особенности подвески СТС МАНГУСТ формируют выраженную резонансную зо-

ну в диапазоне средних скоростей движения. В этой области автомобиль наиболее чувствителен к возмущениям, и параметры подвески (жесткость пружин, характеристики амортизаторов, давление в шинах) оказывают максимальное влияние на амплитуду виброускорений.

Сравнение результатов с литературными данными, включая исследования мобильных энергетических средств, показывает, что для автомобилей схожей массогабаритной категории характерно подобное распределение виброускорений по скоростям. Это подтверждает корректность примененной методики и позволяет использовать ее для дальнейшей оценки других типов машин [4, 5].

Снижение вибраций при скорости движения выше 40 км/ч свидетельствует о достаточно эффективной работе подвески в динамически выгодных режимах. Однако максимальные значения ускорений в области 20 км/ч указывают на необходимость дальнейшей оптимизации элементов подвески. Наиболее перспективным направлением является исследование упруго-демпфирующих характеристик шин и пружин, так как именно эти элементы определяют форму отклика системы при единичных импульсных воздействиях [6].

Выводы

Экспериментальная оценка вибронагруженности СТС МАНГУСТ при движении через единичную неровность позволила выявить ключевые особенности динамического поведения автомобиля.

Установлено наличие выраженного резонансного режима в диапазоне 20–30 км/ч и значительное снижение вибраций при высоких скоростях движения.

Примененная методика регистрации виброускорений и спектрального анализа показала свою эффективность и может использоваться для последующей верификации математических моделей.

Дальнейшие исследования целесообразно направить на уточнение динамических параметров подвески и шин. Изменение давления воздуха в шинах способно существенно повлиять на частоту собственных колебаний колеса, что позволит сместить резонансную зону в более благоприятный диапазон скоростей. Важным направлением является оптимизация характеристик амортизаторов, поскольку нелинейные режимы их работы определяют степень демпфирования колебаний на ударных воздействиях.

Кроме того, внедрение адаптивных систем подвески на основе регулируемых амортизаторов или пневматических элементов может существенно повысить комфортность и безопасность движения. Верифицированная в рамках настоящей рабо-

ты математическая модель будет служить надежным инструментом для дальнейшего компьютерного анализа эффективности таких решений.

Список литературы

1. Балабин, И.В. Испытания автомобилей / И.В. Балабин, Б.А. Куров, С.А. Лаптев. – М.: Машиностроение, 1988. – 192 с.
2. Онищенко Д.О., Мобильные средства специального назначения: Мировой опыт, тенденции в создании / Д. О. Онищенко, Н. С. Ложкин, А. Б. Счастливцев [и др.] // Автотракторная отрасль России: проблемы и перспективы : Материалы Всероссийской студенческой научной конференции, Воронеж, 17 апреля 2025 года. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2025. – С. 71-80. – DOI 10.58168/RAuIPP2025_71-80. – EDN VHKEKN.
3. Годжаев З.А., Перспективные мобильные средства на шинах сверхнизкого давления для сельскохозяйственного производства / З. А. Годжаев, В. И. Прядкин, П. А. Колядин, В. Артемов // Тракторы и сельхозмашины. – 2022. – Т. 89, № 4. – С. 277-286. – DOI 10.17816/0321-4443-115016. – EDN EHPEDS.
4. Колядин П.А. Расчетно-экспериментальное определение характеристик упругих элементов виброзащитной системы автомобиля / П. А. Колядин, В. Ю. Татаринцев, Е. Г. Рубцов, В. И. Прядкин // Проблемы и перспективы конструктивного совершенствования отечественного автомобилестроения : материалы Всероссийской научно-технической конференции, Воронеж, 12 апреля 2023 года. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2023. – С. 86-93. – DOI 10.58168/AutIndustry2023_86-93. – EDN BWOZGG.
5. Малеев, С.И. Аналитические исследования динамики подвески [Текст] / С.И. Малеев, С.М. Огороднов, Е.В. Степанов, А.В. Пинчин // Современные наукоемкие технологии. - 2019. - № 6.- С. 88-95. EDN: FBDCCC
6. Степанов, Е.В. Оценка плавности хода автомобиля с гидроэластомерной подвеской [Текст] / Е.В. Степанов, Ю.И. Молев, С.М. Огороднов, А.С. Вашурин // Труды НГТУ имени П. Е. Алексеева. - 2020. - № 3 (130). - С. 120-131. EDN: ITOPHQ

References

1. Balabin, I.V. Vehicle Testing / I.V. Balabin, B.A. Kurov, S.A. Laptev. – Moscow: Mashinostroenie, 1988. – 192 p.
2. Onishchenko D.O., Special-Purpose Mobile Vehicles: Global Experience and Development Trends / D.O. Onishchenko, N.S. Lozhkin, A.B. Schastlivtsev [et al.] // Automotive and Tractor Industry of Russia: Problems and Prospects : Proceedings of the All-Russian Student Scientific Conference, Voronezh, April 17, 2025. – Voronezh: Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, 2025. – pp. 71–80. – DOI 10.58168/RAuIPP2025_71-80. – EDN VHKEKN.
3. Godzhaev Z.A., Promising Mobile Vehicles on Ultra-Low-Pressure Tires for Agricultural Production / Z.A. Godzhaev, V.I. Pryadkin, P.A. Kolyadin, A.V. Artemov // Tractors and Agricultural Machines. – 2022. – Vol. 89, No. 4. – pp. 277–286. – DOI 10.17816/0321-4443-115016. – EDN EHPEDS.
4. Kolyadin P.A. Computational and Experimental Determination of Characteristics of Elastic Elements of a Vehicle Vibration Protection System / P.A. Kolyadin, V.Yu. Tatarintsev, E.G. Rubtsov, V.I. Pryadkin // Problems and Prospects of Structural Improvement of Domestic Automotive Engineering : Proceedings of the All-Russian Scientific and Technical Conference, Voronezh, April 12, 2023. – Voronezh: Voronezh State University of Forestry and Technologies

named after G.F. Morozov, 2023. – pp. 86–93. – DOI 10.58168/AutIndustry2023_86-93. – EDN BWOZGG.

5. Maleev S.I. Analytical Studies of Suspension Dynamics / S.I. Maleev, S.M. Ogorodnov, E.V. Stepanov, A.V. Pinchin // Modern High Technologies. – 2019. – No. 6. – pp. 88–95. – EDN: FBDCCC.

6. Stepanov E.V. Evaluation of the Ride Comfort of a Vehicle with a Hydroelastomeric Suspension / E.V. Stepanov, Yu.I. Molev, S.M. Ogorodnov, A.S. Vashurin // Proceedings of the Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev. – 2020. – No. 3 (130). – pp. 120–131. – EDN: ITOPHQ.