

## Эксплуатация автомобильного транспорта / Operation of Road Transport

Научная статья

Original article

DOI: [10.12731/3033-5965-2026-16-1-398](https://doi.org/10.12731/3033-5965-2026-16-1-398)

EDN: AICXYP

УДК 631.372



### Исследование влияния интеграции механизма Уатта в роли стабилизатора в тракторомобиль сельского назначения

Ю.В. Жилин, В.Н. Сидоров

*КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Российская Федерация*

#### **Аннотация**

**Обоснование.** Статья посвящена изучению динамики механизма Уатта в качестве устройства стабилизации подвески колесной машины на базе экспериментальной модели легкового мобильного малогабаритного транспортного средства НАМИ-2339. Ключевая проблема при проектировании независимых подвесок – минимизация нежелательных паразитных перемещений колеса в горизонтальной плоскости (изменение колеи, схождения, продольного перемещения) при его вертикальном ходе. В качестве альтернативы предлагается кинематическая схема, основанная на параллелограммном механизме Уатта (известном как механизм для воспроизведения приближенно прямолинейного движения).

**Цель** – получение результатов исследования под воздействием возникающих сил и усилий в результате работы подвески.

**Методология.** Исследования движения механизма Уатта проводились в среде SolidWorks Motion.

**Результаты.** Получены зависимости перемещения центра масс основных элементов механизма и их числовые параметры под воздействием приложенных сил.

**Область применения результатов.** Полученные результаты могут быть использованы при разработке и производстве колесных машин.

**Ключевые слова:** автомобиль; механизм; исследование; гармоническое колебание

**Для цитирования.** Жилин, Ю. В., & Сидоров, В. Н. (2026). Исследование влияния интеграции механизма Уатта в роли стабилизатора в тракторомобиль

мобиль сельского назначения. *Transportation and Information Technologies in Russia / Транспорт и информационные технологии*, 16(1), 83–95. <https://doi.org/10.12731/3033-5965-2026-16-1-398>

## Study of the impact of integrating the Watt linkage as a stabilizer in an agricultural tractor-vehicle

Yu.V. Zhilin, V.N. Sidorov

*Bauman Moscow State Technical University (Kaluga Branch),  
Kaluga, Russian Federation*

### *Abstract*

**Background.** The article is devoted to the study of the dynamics of the Watt mechanism as a suspension stabilization device for a wheeled vehicle based on an experimental model of a passenger mobile small-sized vehicle NAMI-2339. The key problem in the design of independent suspensions is the minimization of undesirable parasitic movements of the wheel in the horizontal plane (track change, convergence, longitudinal displacement) during its vertical course. As an alternative, a kinematic scheme based on the Watt parallelogram mechanism (known as a mechanism for reproducing approximately rectilinear motion) is proposed.

**Purpose.** To obtain results under the influence of emerging forces and efforts as a result of suspension operation.

**Methodology.** Studies of the movement of the Watt mechanism were conducted in the SolidWorks Motion environment.

**Results.** The dependences of the displacement of the center of mass of the main elements of the mechanism and their numerical parameters under the influence of applied forces are obtained.

**Practical implications.** The results can be used in the development and production of wheeled vehicles.

**Keywords:** vehicle; mechanism; study; harmonic oscillation

**For citation.** Zhilin, Yu. V., & Sidorov, V. N. (2026). Study of the impact of integrating the Watt linkage as a stabilizer in an agricultural tractor-vehicle. *Transportation and Information Technologies in Russia*, 16(1), 83–95. <https://doi.org/10.12731/3033-5965-2026-16-1-398>

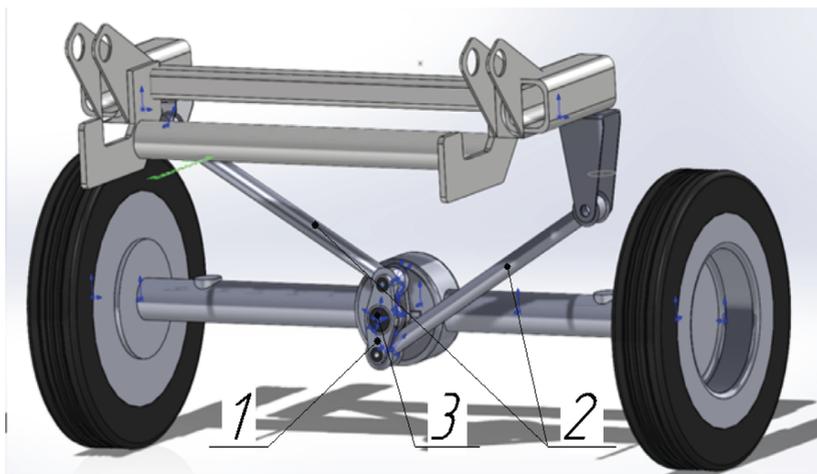
### **Введение**

Механизм Уатта – это плоский шарнирный механизм с двумя степенями свободы, состоящий из трех жестких звеньев, соединен-

ных между собой и с основанием (стойкой) четырьмя вращательными кинематическими парами пятого класса, предназначенный для приближенного воспроизведения прямолинейного движения заданной точки (точки Уатта) на его центральном звене [1; 2].

Основная задача данного механизма – обеспечить строго вертикальное (или близкое к заданному) перемещение центра заднего моста (или неразрезной балки) относительно кузова при работе подвески, минимизируя боковые смещения [3]. Он создает приближенно прямолинейную траекторию центра моста, сводя паразитные боковые перемещения к минимуму.

Механизм состоит из трех жестких звеньев [4], соединенных шарнирными связями (Рис. 1).



**Рис. 1.** 3D Модель подвески с механизмом Уатта  
1 – центральное звено; 2 – два боковых рычага; 3 – шарнир

**Fig. 1.** 3D model of a suspension with a Watt mechanism  
1 – central link; 2 – two side links; 3 – hinge

Центральное (вертикальное) звено (Center Link / Floating Link) - это жесткая тяга, шарнирно соединенная с серединой оси моста, которая является контрольной точкой (tracing point траекторию которой необходимо обеспечить вертикальной [5]).



Механизм Уатта является приближенной реализацией прямолинейно-направляющего механизма Чебышева. Траектория контрольной точки описывается кривой, близкой к лемнискате (figure-eight), но на рабочем участке хода подвески ( $\sim \pm 50-70$  мм) ее отклонение от вертикали составляет миллиметры [10].

При сжатии тяги АС кузов в точке А поднимается под действием силы  $F1$ :

$$F1 = \frac{1}{2} \cdot F_{\psi} \cdot \sin(\varphi).$$

где  $\varphi$  – угол крена кузова автомобиля.

При растягивании тяги ВD кузов в точке В прижимается с такой же силой. Возникает довольно большой момент крена, равный:

$$M_{кр} = F_{\psi} \cdot CO.$$

При этом добавляется момент:

$$M = \frac{1}{2} AB \cdot F_{\psi} \cdot \sin(\alpha).$$

За счет этого тяга СВ сжимается и поднимает кузов в т. О. Тяга AD разжимается и поднимает левое колесо под действием силы  $F2$ :

$$F2 = \frac{1}{2} \cdot F_{\psi} \cdot \sin(\alpha).$$

После превышения силы тяжести левого колеса, сила  $F2$  будет прижимать кузов в т. О, но в это же время с такой же силой тяга ОВ будет поднимать его, минимизируя крен кузова [11; 12].

Используя технические характеристики транспортного средства НАМИ-2339, было произведено исследование в среде SolidWorks ситуации наезда колеса на неровность дорожного покрытия. Изначально была спроектирована кинематическая схема в 3D в среде SolidWorks, к которой были приложены нагрузки, соответствующие массам моста и подрессоренной части [13-15].

Демпферы и пружины были созданы функциями доступными в дополнении SolidWorks Motion, которые соответствуют техническим характеристикам реального амортизатора и упругого элемента [16-18]. Используя функцию “Пружина” было проведено

исследование упругого элемента подвески. Ход упругого элемента составил 200 мм, а угол закручивания центрального звена –  $68^\circ$ .

Анализ является статическим без учета динамического воздействия на подвеску транспортного средства, так же не были учтены степень износа и повреждения элементов (исследования проводилось в идеальной среде, имитируя вибростенд) [19; 20]. В ходе исследования были получены значения поступательного момента  $\pm 10\text{кН/м}$  и амплитуды продольных колебаний рамы автомобиля.

### Результаты

Под воздействие гармонического нагружения подвески (учитываются боковые силы и вертикальная нагрузка на одно колесо) [20, 21] были получены следующие эпюры (Рис. 3 – 6).

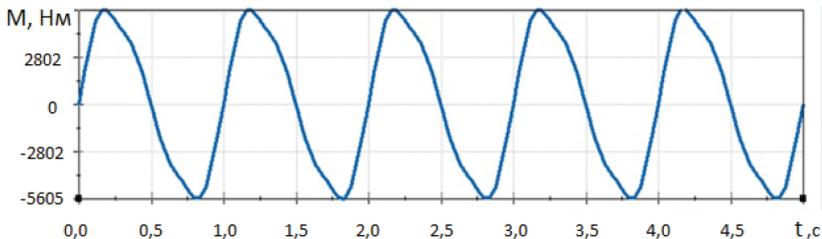


Рис. 3. Эпюра гармонического поступательного момента  
Fig. 3. Diagram of harmonic torque

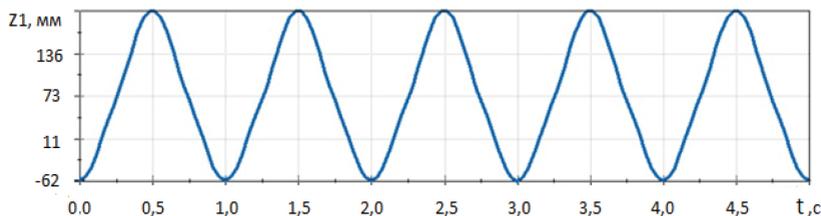
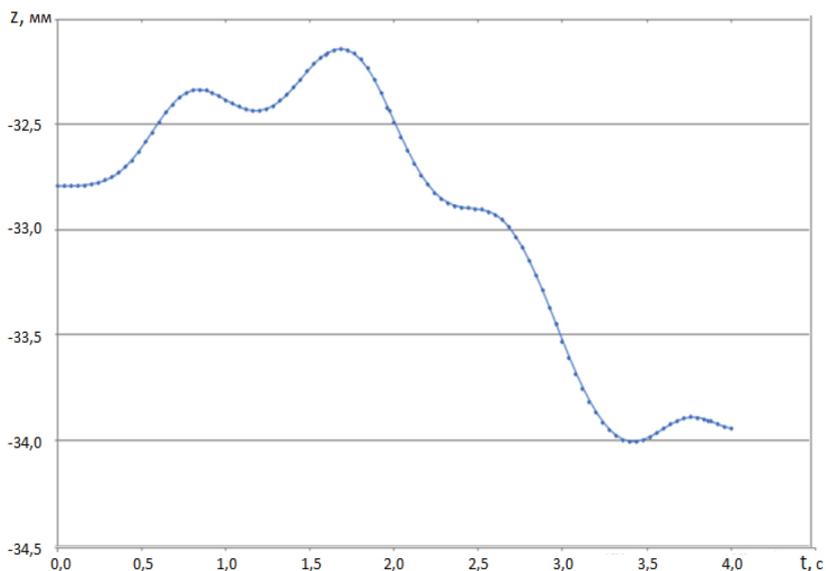


Рис. 4. Эпюра вертикального хода амортизатора  
Fig. 4. Diagram of the shock absorber's vertical travel

Анализируя график поступательного момента, можно отметить, что подвески подвергается гармоническому воздействию с

амплитудой момента равной 5605 Нм и периодом равным 1 с, который совпадает с периодом вертикальных колебаний амортизатора (рис.4). Амплитуда вертикальных колебаний амортизатора составила 89 мм.

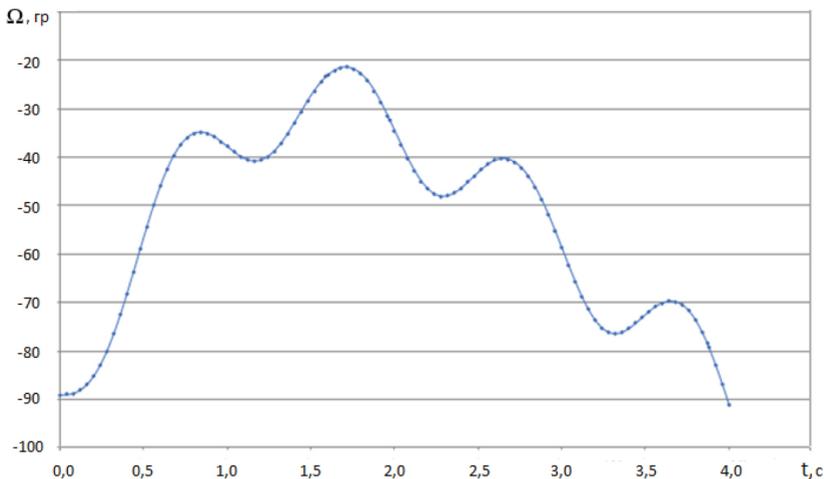
Анализируя график вертикального перемещения центра масс рамы колесной машины, можно отметить, что при вертикальном колебании амортизатора с амплитудой равной 89 мм, максимальное колебание центра масс рамы составило всего 2 мм. Это свидетельствует о положительном влиянии интегрированного механизма на стабилизацию вертикальных колебаний центра масс рамы.



**Рис. 5.** Эпюра вертикального перемещения центра масс рамы КМ

**Fig. 5.** Diagram of the vertical displacement of the center of mass of the KM frame

Из графика угла закручивания центрального звена (рис.6) можно отметить, что центральное звено делает оборот равный  $70^\circ$ . Это обеспечивает практически стабильное положение центра масс рамы в вертикальной плоскости.



**Рис. 6.** Эпюра угла закручивания центрального звена при заданной нагрузке  
**Fig. 6.** Diagram of the twist angle of the center link under a given load

## Выводы

1. Динамические исследования показали, что при гармоническом воздействии, вызывающем вертикальный ход амортизатора с амплитудой – 89 мм вертикальное перемещение центра масс моста составляет всего 2 мм за счет закручивания центрального звена на угол до  $70^\circ$ .

2. Применение интегрированного механизма в подвеске заднего моста тракторомобиля в качестве стабилизирующего устройства позволит снизить вертикальные колебания центра масс рамы.

## Список литературы

1. Гольд, Б. В. (1959). *Конструкция и расчёт автомобиля. Т. 1: Шасси*. Москва: Машгиз. 487 с.
2. Резников, Н. А. (1988). *Автомобильные подвески. Конструкция и расчёт*. Москва: Машиностроение. 143 с.
3. Синицкий, С. А., Хафизов, К. А., Нурмиев, А. А., Хафизов, Р. Н., Медведев, В. М., & Лушнов, М. А. (2019). *Учебное пособие по дисциплине «Конструкция автомобилей и тракторов»* [Электронный ресурс]. Получено из электронно-библиотечной системы «Лань»: <https://e.lanbook.com/book/202586>. ISBN: 978-5-7043-4751-9

4. Поливаев, О. И., Костиков, О. М., Ворохобин, А. В., & Ведринский, О. С. (2022). *Конструкция тракторов и автомобилей: учебное пособие* [Электронный ресурс]. Санкт-Петербург: Лань. Получено из электронно-библиотечной системы «Лань»: <https://e.lanbook.com/book/211322>. ISBN: 978-5-8114-1442-0. EDN: <https://elibrary.ru/MMZOSQ>
5. Болтинский, В. Н., & Панов, Ю. В. (1973). *Теория и конструкция автомобиля: учебник для вузов* (2-е изд., перераб. и доп.). Москва: Машиностроение. 488 с.
6. Кутьков, Г. М. (2014). *Тракторы и автомобили. Теория и технологические свойства*. Москва: Инфа-М. 506 с.
7. Волков, Е. В. (2022). *Теория эксплуатационных свойств автомобиля: учебник для вузов* [Электронный ресурс]. Санкт-Петербург: Лань. Получено из электронно-библиотечной системы «Лань»: <https://e.lanbook.com/book/197455>. ISBN: 978-5-8114-8745-X
8. Афанасьев, Б. А., Жеглов, Л. Ф., & Крохин, Н. А. (1976). *Конструкция. Основы теории и расчёта автомобиля: учебное пособие для вузов*. Москва: Машиностроение. 350 с.
9. Полунгян, А. А. (2003). Математическая модель динамики трансмиссии колёсной машины при движении по твёрдой неровной дороге. *Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. Машиностроение*, (4), 15–25.
10. Вайсман, В. М. (1984). Исследование кинематики направляющего механизма Уатта автомобильной подвески. *Автомобильная промышленность*, (7), 12–14.
11. Хачатуров, А. А., Афанасьев, В. Л., Васильев, В. С., и др. (1976). *Динамика системы дорога – шина – автомобиль – водитель*. Москва: Машиностроение. 535 с.
12. Певзнер, Я. М., Гридасов, Г. Г., Конев, А. Д., и др. (1979). [Название работы не указано]. Москва: Машиностроение. 208 с.
13. Скрынников, А. В., Шихин, А. В., Попов, А. А., & Сидоров, В. Н. (2022). Моделирование взаимодействия шины колеса с опорным основанием опорно-ходового модуля. *Инженерный вестник Дона*, (6). Получено с: <http://ivdon.ru/gu/magazine/archive/n6y2022/7695>. EDN: <https://elibrary.ru/RIGKUW>
14. Фадеева, М. Э., Чудаков, Д. А., Маташнев, А. А., Сидоров, В. Н., & Пономарев, А. И. (2022). Моделирование механической трансмиссии колёсной машины 4×2 с задней ведущей осью. *Инженерный вестник Дона*, (12). Получено с: [ivdon.ru/gu/magazine/archive/n12y2022/8090](http://ivdon.ru/gu/magazine/archive/n12y2022/8090). EDN: <https://elibrary.ru/KEDQOI>
15. Судейко, О. В., Сидоров, В. Н., & Сидоров, М. В. (2021). Имитационное моделирование вибронгруженности пассажирских мест автобуса для внутрихозяйственных перевозок сельскохозяйственных предприятий. *«АгроЭкоИнфо»*, 1–11.

16. Жилейкин, М. М., Котиев, Г. О., & Сарач, Е. Б. (2018). *Математические модели систем транспортных средств: методические указания* [Электронный ресурс]. Москва: МГТУ им. Н. Э. Баумана. Получено из электронно-библиотечной системы «Лань»: <https://e.lanbook.com/book/103321>. ISBN: 978-5-7038-4761-9
17. Сидоров, В. Н., & Осиненко, П. В. (2010). Разработка усовершенствованной методики моделирования входных воздействий МТА. В: *Сборник научных докладов ВИМ* (Т. 1, с. 284–291). EDN: <https://elibrary.ru/OZABNB>
18. Сидоров, В. Н., Тинт, Н. В., & Алакин, В. М. (2023). Математическое моделирование процесса комбинированной рычажно-электромагнитной системы поперечной стабилизации. *Мир транспорта и технологических машин*, (3–4/82), 18–25. [https://doi.org/10.33979/2073-7432-2023-3-4\(82\)-18-25](https://doi.org/10.33979/2073-7432-2023-3-4(82)-18-25). EDN: <https://elibrary.ru/FKUKGU>
19. Кутьков, Г. М., Сидоров, В. Н., & Сидоров, М. В. (2015). Исследование демпфирующих свойств транспортно-технологического модуля сельскохозяйственного трактора. *Современные проблемы науки и образования*, (2–1), 197. EDN: <https://elibrary.ru/UHWZOL>
20. Корнюшин, Ю. П., & Сидоров, М. В. (2025). Влияние динамических свойств технологического модуля на вертикальные колебания оси колеса. *Transportation and Information Technologies in Russia / Транспорт и информационные технологии*, 15(2), 161–176. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2025-15-2-341>. EDN: <https://elibrary.ru/GJGBJR>
21. Кислицын, С. Г. (2009). Математическое моделирование кинематики и динамики направляющего аппарата подвески с механизмом Уатта. *Труды НАМИ*, (254), 56–67.

### References

1. Gold, B. V. (1959). *Construction and calculation of automobiles. Vol. 1: Chassis*. Moscow: Mashgiz. 487 p.
2. Reznikov, N. A. (1988). *Automotive suspensions: Construction and calculation*. Moscow: Mashinostroenie. 143 p.
3. Sinitzky, S. A., Khafizov, K. A., Nurmiev, A. A., Khafizov, R. N., Medvedev, V. M., & Lushnov, M. A. (2019). *Textbook on the discipline “Construction of automobiles and tractors”* [Electronic resource]. Retrieved from the Lan electronic library system: <https://e.lanbook.com/book/202586>. ISBN: 978-5-7043-4751-9
4. Polivaev, O. I., Kostikov, O. M., Vorokhobin, A. V., & Vedrinsky, O. S. (2022). *Construction of tractors and automobiles: textbook* [Electronic resource]. Saint Petersburg: Lan. Retrieved from the Lan electronic library system: <https://e.lanbook.com/book/211322>. ISBN: 978-5-8114-1442-0. EDN: <https://elibrary.ru/MMZOSQ>

5. Boltinsky, V. N., & Panov, Yu. V. (1973). *Theory and construction of automobiles: textbook for universities* (2nd ed., rev. and enl.). Moscow: Mashinostroenie. 488 p.
6. Kutkov, G. M. (2014). *Tractors and automobiles: Theory and technological properties*. Moscow: Infra-M. 506 p.
7. Volkov, E. V. (2022). *Theory of automobile operational properties: textbook for universities* [Electronic resource]. Saint Petersburg: Lan. Retrieved from the Lan electronic library system: <https://e.lanbook.com/book/197455>. ISBN: 978-5-8114-8745-X
8. Afanasyev, B. A., Zheglov, L. F., & Krokhin, N. A. (1976). *Construction. Fundamentals of theory and calculation of automobiles: textbook for universities*. Moscow: Mashinostroenie. 350 p.
9. Polungyan, A. A. (2003). Mathematical model of transmission dynamics of a wheeled vehicle when moving on a hard uneven road. *Bulletin of Bauman MSTU. Ser. Mechanical Engineering*, (4), 15–25.
10. Vaysman, V. M. (1984). Study of the kinematics of the Watt guiding mechanism of an automotive suspension. *Automotive Industry*, (7), 12–14.
11. Khachaturov, A. A., Afanasyev, V. L., Vasilyev, V. S., et al. (1976). *Dynamics of the road-tire-vehicle-driver system*. Moscow: Mashinostroenie. 535 p.
12. Pevzner, Ya. M., Gridasov, G. G., Konev, A. D., et al. (1979). [Title not specified]. Moscow: Mashinostroenie. 208 p.
13. Skrynnikov, A. V., Shikhin, A. V., Popov, A. A., & Sidorov, V. N. (2022). Modeling the interaction of a wheel tire with the supporting base of a running gear module. *Engineering Bulletin of the Don*, (6). Retrieved from: <http://ivdon.ru/magazine/archive/n6y2022/7695>. EDN: <https://elibrary.ru/RIGKUW>
14. Fadeeva, M. E., Chudakov, D. A., Matashnev, A. A., Sidorov, V. N., & Ponomarev, A. I. (2022). Modeling of the mechanical transmission of a 4×2 wheeled vehicle with a rear driving axle. *Engineering Bulletin of the Don*, (12). Retrieved from: [ivdon.ru/magazine/archive/n12y2022/8090](http://ivdon.ru/magazine/archive/n12y2022/8090). EDN: <https://elibrary.ru/KEDQQI>
15. Sudeiko, O. V., Sidorov, V. N., & Sidorov, M. V. (2021). Simulation modeling of vibration load on passenger seats of a bus for intra-farm transportation of agricultural enterprises. *AgroEcoInfo*, 1–11.
16. Zhileykin, M. M., Kotiev, G. O., & Sarach, E. B. (2018). *Mathematical models of vehicle systems: guidelines* [Electronic resource]. Moscow: Bauman MSTU. Retrieved from the Lan electronic library system: <https://e.lanbook.com/book/103321>. ISBN: 978-5-7038-4761-9
17. Sidorov, V. N., & Osinenko, P. V. (2010). Development of an improved methodology for modeling input effects of an MTA. In *Collection of scientific papers of VIM* (Vol. 1, pp. 284–291). EDN: <https://elibrary.ru/OZABNB>

18. Sidorov, V. N., Tint, N. V., & Alakin, V. M. (2023). Mathematical modeling of the process of a combined lever-electromagnetic lateral stabilization system. *World of Transport and Transport Machines*, (3–4/82), 18–25. [https://doi.org/10.33979/2073-7432-2023-3-4\(82\)-18-25](https://doi.org/10.33979/2073-7432-2023-3-4(82)-18-25). EDN: <https://elibrary.ru/FKUKGU>
19. Kutkov, G. M., Sidorov, V. N., & Sidorov, M. V. (2015). Study of damping properties of the transport and technological module of an agricultural tractor. *Modern Problems of Science and Education*, (2–1), 197. EDN: <https://elibrary.ru/UHWZOL>
20. Korniyushin, Yu. P., & Sidorov, M. V. (2025). Influence of dynamic properties of a technological module on vertical oscillations of a wheel axle. *Transportation and Information Technologies in Russia*, 15(2), 161–176. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2025-15-2-341>. EDN: <https://elibrary.ru/GJGBJR>
21. Kislitsyn, S. G. (2009). Mathematical modeling of kinematics and dynamics of a suspension guiding apparatus with a Watt mechanism. *Proceedings of NAMI*, (254), 56–67.

#### ДАнные ОБ АВТОРАХ

**Жилин Юрий Витальевич**, студент, кафедра «Колесные машины и прикладная механика»

*КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана*

*ул. Университетский Городок, 1, г. Калуга, Калужская область, 248002, Российская Федерация*

*yudjil22112003@yandex.ru*

**Сидоров Владимирович Николаевич**, профессор кафедры «Колесные машины и прикладная механика», доктор технических наук

*КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана*

*ул. Университетский Городок, 1, г. Калуга, Калужская область, 248002, Российская Федерация*

*sidorov-kaluga@yandex.ru*

#### DATA ABOUT THE AUTHORS

**Yuri V. Zhilin**, Student, Department ‘Wheeled Vehicles and Applied Mechanics’

*Bauman Moscow State Technical University (Kaluga Branch)*

*1, Universitetsky Gorodok Str., Kaluga, Kaluga Region, 248002, Russian Federation*

*yudjil22112003@yandex.ru*

**Vladimir N. Sidorov**, Professor, Department ‘Wheeled Vehicles and Applied Mechanics’, Doctor of Technical Sciences

*Bauman Moscow State Technical University (Kaluga Branch)*

*1, Universitetsky Gorodok Str., Kaluga, Kaluga Region, 248002, Russian Federation*

*sidorov-kaluga@yandex.ru*

*SPIN-code: 6162-2659*

*ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-0214-1373>*

*Scopus AuthorID: 57222472914*

Поступила 15.12.2025

После рецензирования 02.02.2026

Принята 27.02.2026

Received 15.12.2025

Revised 02.02.2026

Accepted 27.02.2026