

DOI: 10.12731/2227-930X-2023-13-4-218-232

УДК 631.372



Научная статья | Эксплуатация автомобильного транспорта

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ ЦЕНТРА МАСС ТРАКТОРА С ГУСЕНИЧНЫМ ДВИЖИТЕЛЕМ

*М.А. Быков, Н.В. Фрольцов,
М.В. Сидоров, А.И. Пономарев*

Для повышения тягового усилия тракторов с одновременным снижением удельного давления на почву одним из эффективных способов является применение гусеничного движителя. В работе рассмотрен вариант гусеничного движителя, устанавливаемый отдельно на каждый ведущий мост трактора вместо колес. В основе разрабатываемой конструкции гусеничного движителя лежит гусеничное полотно, которое дает уменьшение давления на грунт и повышение сцепления с почвой.

Приводятся результаты имитационного моделирования прямолинейного движения трактора с гусеничным движителем по стерне зерновых. Получены реализации колебаний переднего, подрессоренного и заднего, недрессоренного мостов и остова трактора. Колебания ординат опорной поверхности моделировались в виде случайного процесса с заданными значениями, соответствующими опорной поверхности стерни зерновых.

Результаты моделирования показали приемлемые значения колебаний остова трактора с предлагаемой конструкцией движителей. Предлагаемые движители могут легко устанавливаться на трактор вместо колес и так же, в случае необходимости, легко демонтироваться.

***Цель.** Исследование колебаний центра масс трактора с гусеничным движителем с помощью имитационного моделирования в среде MATLAB Simulink.*

Метод или методология проведения работы. В статье использовались методы математического моделирования и анализа.

Результаты. Получены параметры, показывающие эффективность применения гусеничного движителя вместо колес на тракторе 6-го тягового класса.

Область применения результатов. Полученные результаты могут быть применены при проектировании тракторов для определения приемлемых параметров гусеничного движителя.

Ключевые слова: трактор; гусеничный движитель; моделирование; MATLAB Simulink; математическая модель

Для цитирования. Быков М.А., Фрольцов Н.В., Сидоров М.В., Пonomарев А.И. Моделирование колебаний центра масс трактора с гусеничным движителем // International Journal of Advanced Studies. 2023. Т. 13, № 4. С. 218-232. DOI: 10.12731/2227-930X-2023-13-4-218-232

Original article | Operation of Road Transport

SIMULATION OF OSCILLATIONS OF THE CENTER OF MASS OF THE TRACTOR WITH TRACKED PROPULSION UNIT

***M.A. Bykov, N.V. Froltsov,
M.V. Sidorov, A.I. Ponomarev***

To increase the traction force of tractors while simultaneously reducing the specific pressure on the soil, one of the effective ways is the use of a tracked propulsion unit. The article considers a variant of a tracked propulsion unit, installed separately on each drive axle of the tractor instead of wheels. The basis of the developed design of the tracked propulsion unit is the trackbed, which reduces the pressure on the ground and increases adhesion to the soil.

The results of simulation modeling of the rectilinear movement of a tractor with a tracked propulsion unit along grain stubble are present-

ed. Realizations of oscillations of the front, sprung and rear, unsprung axles and the tractor frame were obtained. Oscillations in the ordinates of the reference surface were modeled as a random process with specified values corresponding to the reference surface of the grain stubble.

The simulation results showed acceptable oscillation values of the tractor frame with the proposed propulsion design. The proposed propulsion unit can be easily installed on a tractor instead of wheels and, if necessary, can also be easily dismantled.

Purpose. *Investigation of oscillations of the center of mass of a tractor with a tracked propulsion unit using simulation modeling in the MATLAB Simulink environment.*

Methodology. *Methods of mathematical modeling and analysis were used in the article.*

Results. *The parameters showing the effectiveness of using a tracked propulsion unit instead of wheels on a tractor of traction class 6 are obtained.*

Practical implications. *The results obtained can be applied in the design of tractors to determine the acceptable parameters of the tracked propulsion unit.*

Keywords: *tractor; tracked propulsion unit; simulation; MATLAB Simulink; mathematical model*

For citation. *Bykov M.A., Froltsov N.V., Sidorov M.V., Ponomarev A.I. Modeling of oscillations of the center of mass of a tractor with a tracked propulsion unit. International Journal of Advanced Studies, 2023, vol. 13, no. 4, pp. 218-232. DOI: 10.12731/2227-930X-2023-13-4-218-232*

Для повышения тягового усилия тракторов с одновременным снижением удельного давления на почву одним из эффективных способов является применение гусеничного движителя [1, 2]. В основе разрабатываемой конструкции гусеничного движителя для трактора 6-го тягового класса лежит гусеничное полотно 1, которое дает уменьшение давления на грунт и повышение сцепления с почвой (рис. 1). Предлагаемый движитель может легко устанавливаться на трактор вместо колес и так же, в случае необходимости, легко демонтироваться [3, 4].

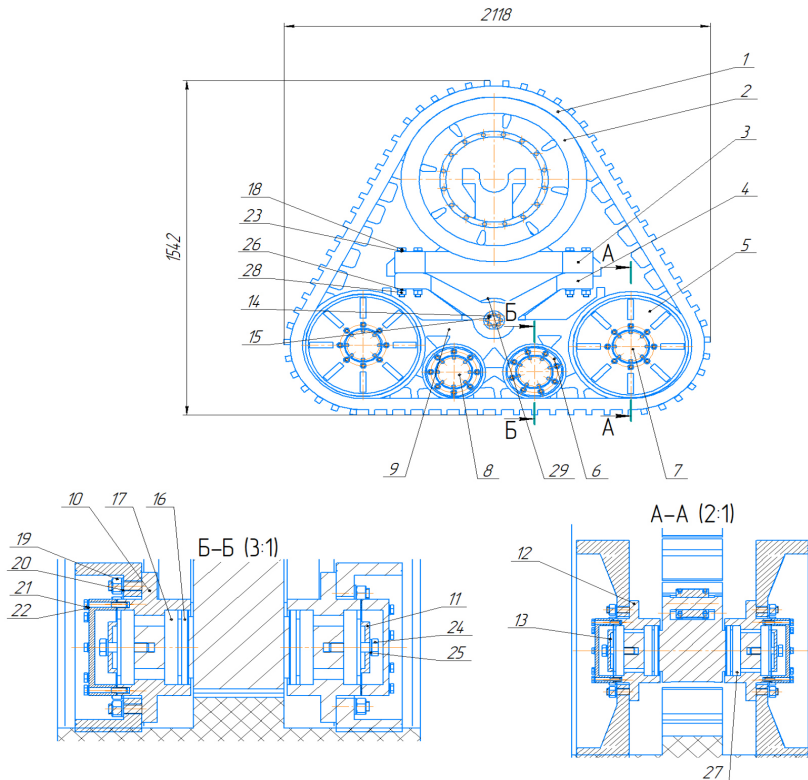


Рис. 1. Компоновочная схема гусеничного движителя

- 1 – гусеничное полотно; 2 – приводное колесо; 3 – опора движителя;
 4 – опора маятника; 5 – направляющее колесо; 6 – опорное колесо; 7 – крышка направляющего колеса; 8 – крышка опорного колеса; 9 – опорная каретка;
 10 – ступица опорного колеса; 11 – крышка ступицы опорного колеса;
 12 – ступица направляющего колеса; 13 – крышка ступицы направляющего колеса; 29 – крышка маятника

Гусеничный движитель состоит из опорной каретки 9, на которой через подшипниковый узел крепятся ступицы опорных 10 и направляющих 12 колес. На ступицах 10 и 12 крепятся опорные колеса 6 и направляющие колеса 5 соответственно. Подшипниковые узлы закрыты крышкой опорного колеса 8 и крышкой направляющего колеса 7. Опорная каретка 9 через маятник крепит-

ся к опоре маятника 4, а та, в свою очередь, к опоре двигателя 3. Маятник закрыт крышкой маятника 29. Приводное колесо 2 крепится на ступицу трактора. Гусеничное полотно 1 натянуто поверх приводного колеса 2 и направляющих колес 5 [5]. Приводное колесо 2, вращаясь, тянет гусеничное полотно 1 и приводит трактор в движение, огибая направляющие колеса 5, а опорные колеса 6 катятся по полотну. Маятниковый узел позволяет наклоняться опорной каретке 9 вперед и назад, обеспечивая возможность преодоления препятствий и повторяя рельеф.

Компоновочное решение трактора с гусеничными двигателями представлено на рисунке 2.

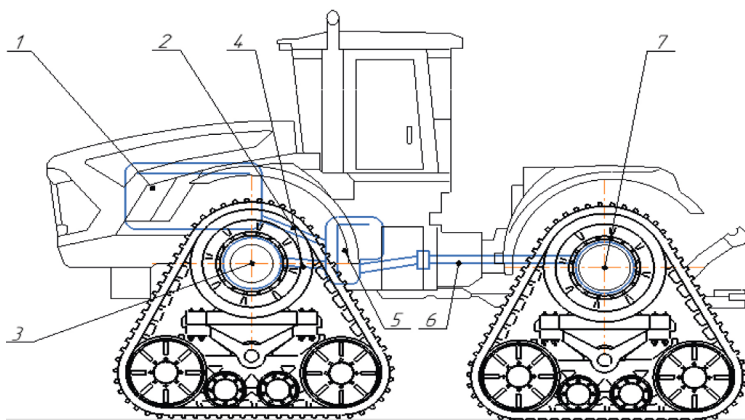


Рис. 2. Компоновка трактора с гусеничным двигателем:

- 1 – ДВС, 2 – карданный вал от ДВС к КП, 3 – передний мост, 4 – карданный вал от КП к переднему мосту, 5 –КП, 6 – карданный вал от КП к заднему мосту, 7 – задний мост

Для исследования плавности хода трактора с предлагаемым гусеничным двигателем была составлена математическая модель (1) и проведено имитационное моделирование с использованием программы Simulink на языке программирования высокого уровня [6-8]. Программа Simulink позволяет моделировать пространственное движение трактора во времени [9-11].

$$\begin{cases} m_{mp} \frac{d^2 z}{dt} = \sum_{j=1}^2 \sum_{i=1}^n F_{ji} - m_{mp} g \\ J_Y \frac{d^2 \varphi}{dt_2} = \sum_{j=1}^2 \sum_{i=1}^n F_{ji} \cdot l_{ji} \\ J_X \frac{d^2 \psi}{dt_2} = \sum_{j=1}^2 \sum_{i=1}^n F_{ji} \cdot B_{ji} \end{cases} \quad (1)$$

где F_{ij} – сила в i -ом мосту j -го борта, n – число мостов трактора; m_{mp} – масса трактора; J_X, J_Y – моменты инерции трактора относительно поперечной оси X и продольной оси Y ; B_{ji} – колея i -го моста j -го борта.

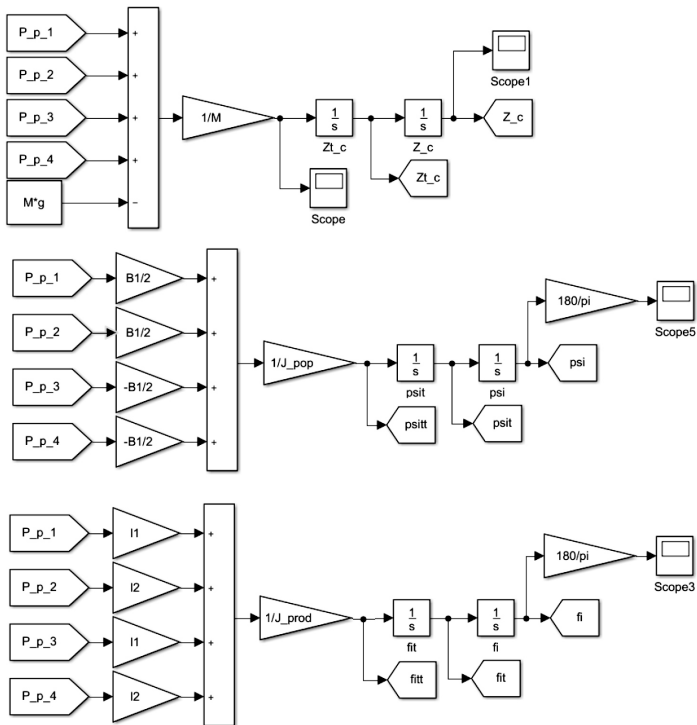


Рис. 3. Блок колебания центра масс трактора и его угловые колебания относительно продольной и поперечной осей трактора

Имитационное моделирование в среде MATLAB Simulink позволяет на основе математической модели проводить всесторонние исследования разрабатываемой конструкции. Блок моделирования, соответствующий системе уравнений (1), представлен на рисунке 3 и позволяет моделировать колебания центра масс трактора, а также его угловые колебания относительно продольной и поперечной осей трактора [12-13].

Блок моделирования изменения прогиба и скорости прогиба подвески переднего моста представлен на рисунке 4 [14-15].

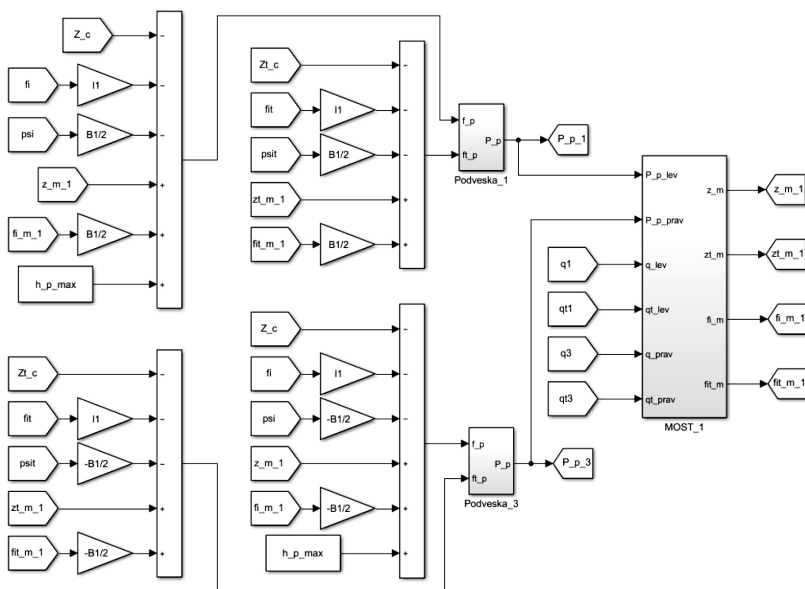


Рис. 4. Блок моделирования изменения прогиба и скорости прогиба подвески переднего моста

Результаты

При имитационном моделировании были получены графики колебаний заднего моста без подвески с гусеничным двигателем (рис. 5), переднего моста с подвеской и гусеничным двигателем (рис. 6), и центра масс трактора (рис 7).

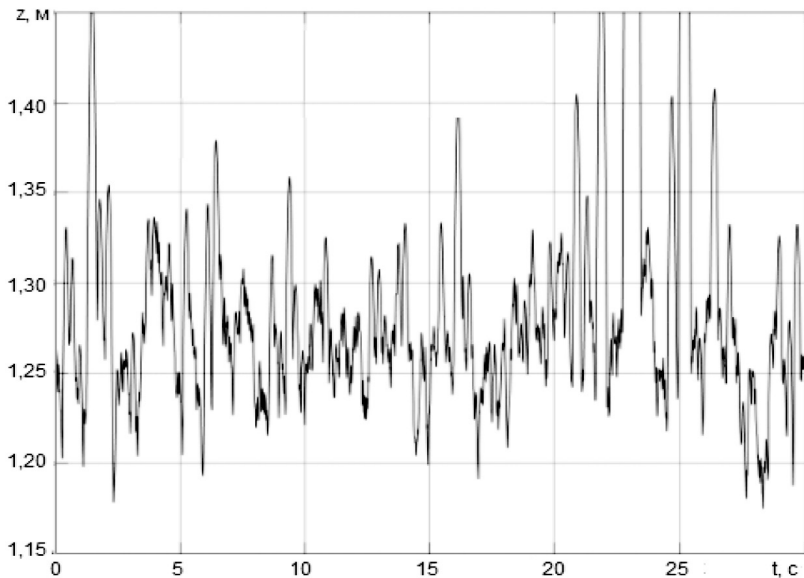


Рис. 5. Колебания заднего моста без подвески с гусеничным движителем

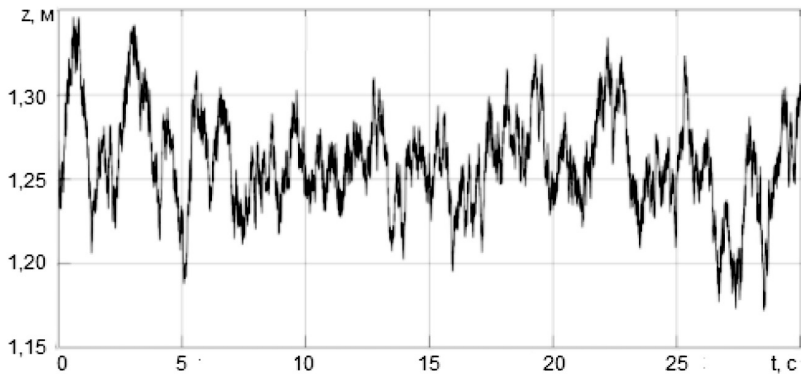


Рис. 6. Колебания переднего моста с подвеской и гусеничным движителем

Сравнивая полученные графики, можно отметить, что амплитуда колебаний переднего моста с подвеской при движении гусеничного трактора по стерне зерновых составляет около 5 см и в

полтора раза меньше амплитуды колебаний заднего моста, который не имеет подвески. Амплитуда колебаний центра масс трактора составила меньше 5 см.

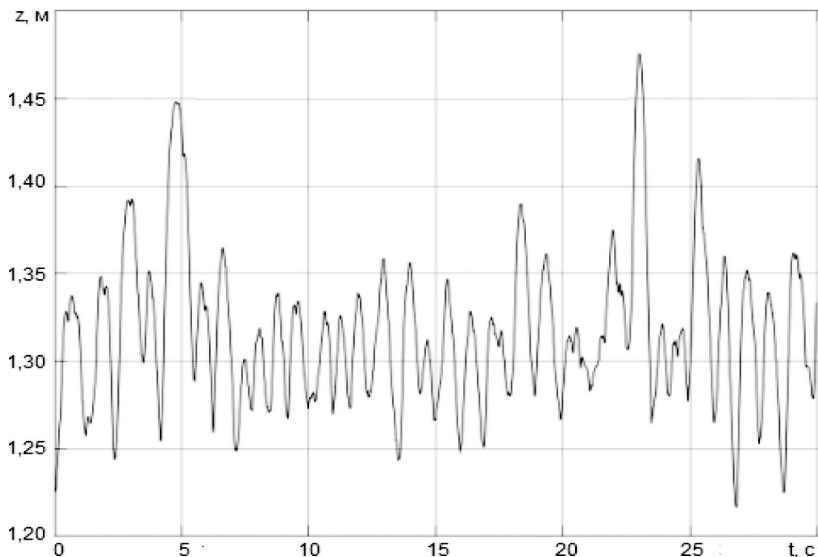


Рис. 7. Колебания центра масс трактора с гусеничными движителями

Выводы

Применение гусеничного движителя предлагаемой конструкции обеспечивает колебание остова трактора в допустимых пределах. Применение подвески на ведущем мосту с гусеничным движителем позволяет уменьшить его колебание в полтора раза.

Список литературы

1. Кутьков Г.М. Тракторы и автомобили. Теория и технологические свойства. М.: Инфа-М, 2014. 506 с.
2. Волков Е. В. Теория эксплуатационных свойств автомобиля: учебник для вузов. Санкт-Петербург: Лань, 2022. <https://e.lanbook.com/book/197455>

3. Синицкий, С. А., Хафизов, К. А., Нурмиев, А. А., Хафизов Р. Н., Медведев, В. М., Лушнов М. А. Учебное пособие по дисциплине “Конструкция автомобилей и тракторов”, 2019. <https://e.lanbook.com/book/202586>
4. Конструкция тракторов и автомобилей: учебное пособие / О. И. Поливаев, О. М. Костиков, А. В. Ворохобин, О. С. Ведринский. Санкт-Петербург: Лань, 2022. <https://e.lanbook.com/book/211322>
5. Патент 2 441 795 Рос. Федерация, МПК В62D Сменный гусеничный движитель трактора: № 2010131483, 2010.07.27: заявл. 2010.07.27: опубл. 2012.02.10 / Поливаев О. И., Ведринский О. С., Белоусов А. В., Бабанин Н. В. 5с. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2441795C1_20120210
6. Заруцкий, С.А., Власенко Е.А. Автоматизация анализа данных экспериментальных исследований // Инженерный вестник Дона, 2019, № 8. URL: <https://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4753>
7. Жилейкин, М. М. Математические модели систем транспортных средств: методические указания / М. М. Жилейкин, Г. О. Котиев, Е. Б. Сарач. Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018. <https://e.lanbook.com/book/103321>
8. Семенов М.А., Сережкин С.С., Скрынников А.В., Попов А.А., Сидоров М.В. Математическая модель движения малотоннажного грузового автомобиля с узлом рекуперации механической энергии // International Journal of Advanced Studies. 2023. Т. 13, №1. С. 62-76. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2023-13-1-62-76>
9. Фадеева, М.Э., Чудаков, Д.А., Маташнёв, А.А., Сидоров, В.Н., Пономарев А.И. Моделирование механической трансмиссии колесной машины 4x2 с задней ведущей осью // Инженерный вестник Дона, 2022, № 12. URL: <https://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2022/8090>
10. Полунгян, А.А. Математическая модель динамики трансмиссии колесной машины при движении по твердой неровной дороге // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение, 2003, № 4. С. 15-25.

11. Modular-technological scheme for tractors of traction classes 1.4 / Sidorov V.N., Voinash S.A., Ivanov A.A., Petrov S.A. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: “International Science and Technology Conference “Earth Science” - Chapter 3” 2021. P. 042048.
12. Судейко О.В., Сидоров В.Н., Сидоров М.В. Имитационное моделирование виброн нагруженности пассажирских мест автобуса для внутрихозяйственных перевозок сельскохозяйственных предприятий // АгроЭкоИнфо. 2021. № 2 (44). http://agroecoinfo.ru/STATYI/2021/2/st_216.pdf
13. Rosheila Binti Darus. Modeling and control of active suspension for a full car model. A project report submitted in partial fulfillment of the requirements for the award of the degree of Master of Engineering (Electrical – Mechatronics and Automatic Control). 2008.
14. Influence of mass affecting tractor’s rear axle and rigidity of tires on the control coefficient / Voropaev G.D., Sidorov V.N., Maksimovich K.Yu., Sokolova V.A., Krivonogova A.S., Pushkov Yu.L., Taradin G.S. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering. Krasnoyarsk, 2021. P. 52047.
15. Investigation of the damping properties of the process module for a tractor of traction class 1.4 / Sidorov M.V., Troyanovskaya I.P., Sokolova V.A., Partko S.A., Dzjasheev A.M.S., Ivanov A.A., Kopaev E.V. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering. Krasnoyarsk, 2021. P. 52056.

References

1. Kut’kov G.M. *Traktory i avtomobili. Teoriya i tekhnologicheskie svoystva* [Tractors and automobiles. Theory and technological properties]. M.: Infa-M, 2014, 506 p.
2. Volkov E. V. *Teoriya ekspluatatsionnykh svoystv avtomobilya: uchebnik dlya vuzov* [Theory of operational properties of the automobile]. St. Petersburg: Lan, 2022. <https://e.lanbook.com/book/197455>

3. Sinitskiy, S. A., Khafizov, K. A., Nurmiev, A. A., Khafizov R. N., Medvedev, V. M., Lushnov M. A. *Uchebnoe posobie po distsipline "Konstruktsiya avtomobiley i traktorov"* [Textbook for the discipline "Design of automobiles and tractors"], 2019. <https://e.lanbook.com/book/202586>
4. *Konstruktsiya traktorov i avtomobiley* [Design of tractors and automobiles] / O. I. Polivaev, O. M. Kostikov, A. V. Vorokhobin, O. S. Vedrinskiy. St. Petersburg: Lan, 2022. <https://e.lanbook.com/book/211322>
5. Patent 2,441,795 Ros. Federation, MPK B62D Interchangeable tractor crawler: No. 2010131483, 2010.07.27: avt. 2010.07.27: published 2012.02.10/Polivaev O. I., Vedrinsky O. S., Belousov A. V., Babanin N. B. 5p. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2441795C1_20120210
6. Zarutskiy, S.A., Vlasenko E.A. *Inzhenernyy vestnik Dona*, 2019, no. 8. URL: <https://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4753>
7. Zhileykin, M. M. *Matematicheskie modeli sistem transportnykh sredstv: metodicheskie ukazaniya* [Mathematical models of vehicle systems: methodical instructions] / M. M. Zhileykin, G. O. Kotiev, E. B. Sarach. Moscow: N.E. Bauman Moscow State Technical University, 2018. <https://e.lanbook.com/book/103321>
8. Semenov M.A., Serezhkin S.S., Skrynnikov A.V., Popov A.A., Sidorov M.V. *International Journal of Advanced Studies*, 2023, vol. 13, no. 1, pp. 62-76. <https://doi.org/10.12731/2227-930X-2023-13-1-62-76>
9. Fadeeva, M.E., Chudakov, D.A., Matashnev, A.A., Sidorov, V.N., Ponomarev A.I. *Inzhenernyy vestnik Dona*, 2022, no. 12. URL: <https://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2022/8090>
10. Polungyan, A.A. *Vestnik MGTU im. N.E. Baumana. Ser. Mashinostroyeniye*, 2003, no. 4, pp. 15-25.
11. Modular-technological scheme for tractors of traction classes 1.4 / Sidorov V.N., Voinash S.A., Ivanov A.A., Petrov S.A. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: "International Science and Technology Conference "Earth Science" - Chapter 3"*, 2021, 042048.
12. Sudeyko O.V., Sidorov V.N., Sidorov M.V. *AgroEkoInfo*, 2021, no. 2 (44). http://agroecoinfo.ru/STATYI/2021/2/st_216.pdf

13. Rosheila Binti Darus. Modeling and control of active suspension for a full car model. A project report submitted in partial fulfillment of the requirements for the award of the degree of Master of Engineering (Electrical – Mechatronics and Automatic Control). 2008.
14. Influence of mass affecting tractor's rear axle and rigidity of tires on the control coefficient / Voropaev G.D., Sidorov V.N., Maksimovich K.Yu., Sokolova V.A., Krivonogova A.S., Pushkov Yu.L., Taradin G.S. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering. Krasnoyarsk, 2021, 52047.
15. Investigation of the damping properties of the process module for a tractor of traction class 1.4 / Sidorov M.V., Troyanovskaya I.P., Sokolova V.A., Partko S.A., Dzasheev A.M.S., Ivanov A.A., Kopaev E.V. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering. Krasnoyarsk, 2021, 52056.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Быков Михаил Андреевич, студент кафедры «Колесные машины и прикладная механика»
Калужский филиал «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана»
ул. Гагарина, 6, г. Калуга, Калужская область, 248000, Российская Федерация
palavan2013@yandex.ru

Фрольцов Никита Васильевич, студент кафедры «Колесные машины и прикладная механика»
Калужский филиал «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана»
ул. Гагарина, 6, г. Калуга, Калужская область, 248000, Российская Федерация
nikita@froltsov.ru

Сидоров Максим Владимирович, доцент кафедры «Колесные машины и прикладная механика», кандидат технических наук

Калужский филиал «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана»

ул. Космонавта Комарова, 36, г. Калуга, Калужская область, 248000, Российская Федерация

sidorov.maxim.v@bmsu.ru

Пономарев Алексей Иванович, доцент кафедры «Колесные машины и прикладная механика», кандидат технических наук

Калужский филиал «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана»

ул. Московская 113, кв. 41, г. Калуга, Калужская область, 248000, Российская Федерация

apon2005@yandex.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Mikhail A. Bykov, student of the department “Wheeled vehicles and Applied Mechanics”

Kaluga Branch Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Bauman Moscow State Technical University”

6, Gagarin Str., Kaluga, Kaluga Region, 248000, Russian Federation

palavan2013@yandex.ru

Nikita V. Froltsov, student of the department “Wheeled vehicles and Applied Mechanics”

Kaluga Branch Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Bauman Moscow State Technical University”

6, Gagarin Str., Kaluga, Kaluga Region, 248000, Russian Federation

nikita@froltsov.ru

Maksim V. Sidorov, associate professor of the department “Wheeled vehicles and Applied Mechanics”, Candidate of Technical Sciences
Kaluga Branch Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Bauman Moscow State Technical University”

36, Cosmonaut Komarov Str., Kaluga, Kaluga Region, 248000, Russian Federation

sidorov.maxim.v@bmstu.ru

SPIN-code: 6131-3669

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6686-2282>

Scopus Author ID: 57211752346

Alexey I. Ponomarev, associate professor of the department “Wheeled vehicles and Applied Mechanics”, Candidate of Technical Sciences

Kaluga Branch Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Bauman Moscow State Technical University”

113, Moskovskaya Str., Kaluga, Kaluga Region, 248000, Russian Federation

apon2005@yandex.ru

SPIN-code: 3154-3892

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-0268-7511>

ResearcherID: HHM-3404-2022

Scopus Author ID: 7102493558

Поступила 25.11.2023

После рецензирования 30.11.2023

Принята 10.12.2023

Received 25.11.2023

Revised 30.11.2023

Accepted 10.12.2023