

АНОТАЦІЯ

Бадейнов О. М. Динаміка навантажень та покращення пружно-демпфуючих характеристик тягово-зчіпних пристроїв триланкового автопоїзда. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 133 “Галузеве машинобудування” (13 “Механічна інженерія”). – Національний університет “Львівська політехніка”, Львів, 2021.

Дисертація присвячена дослідженню, розробленню методики розрахунку та вдосконаленню конструкції тягово-зчіпних пристроїв (ТЗП) колісних триланкових транспортних засобів (автопоїздів). Наукове обґрунтування та опрацювання методики визначення кінематичних та силових характеристик, розрахунків на міцність ТЗП і на їх основі розроблення та впровадження у виробництво прогресивних конструкцій таких пристроїв дають змогу підвищити загалом експлуатаційні показники триланкових автопоїздів (ТЛАП), що набувають поширення у деяких країнах ЄС та актуальні й для України.

Об’єктом досліджень вибрано процес руху триланкового автопоїзда з пружно-демпфуючими тягово-зчіпними пристроями в перехідних режимах.

Предметом досліджень є підвищення ефективності роботи тягово-зчіпних пристроїв триланкового автопоїзда у перехідних режимах руху.

Метою роботи є зменшення динамічних навантажень тягового приводу та підвищення стійкості руху триланкових автопоїздів великої тоннажності шляхом вдосконалення конструкції та ефективності пружно-демпфуючих характеристик тягово-зчіпних пристроїв. Для досягнення поставленої мети узагальнено відомі дослідження щодо багатоланкових автопоїздів і ТЗП та на їх основі обґрунтовано основні принципи вдосконалення конструкції ТЗП, розроблено методику комплексного дослідження динаміки функціонування та оптимізаційного розрахунку їх параметрів.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у тому, що вперше опрацьована методика дослідження динаміки навантажень ТЗП триланкових автопоїздів та відповідного розрахунку необхідних пружно-демпфуючих

характеристик ТЗП з урахуванням специфіки конструкцій триланкових автопоїздів. Для зменшення пікових динамічних навантажень, насамперед під час рушання з місця великотоннажних ТЛАП, опрацьовано рекомендації щодо введення в конструкцію ТЗП причепів інерційно-демпфуючої ланки та запропоновано відповідні конструктивні рішення. Враховуючи багатоваріантність схем формування ТЛАП, зокрема комбінацій із напівпричепами та опорними візками типу Dolly, запропоновано використовувати графі конструктивних схем автопоїздів і ТЗП під час конструювання нових конструкцій ТЗП і, відповідно, застосовувати їх звичне математичне описання на основі принципу Даламбера. Удосконалено математичну модель руху автопоїзда щодо ТЛАП, яка, на відміну від відомих, дає змогу безпосередньо визначити величини максимальних динамічних навантажень на ТЛАП в перехідних режимах його руху та досліджувати, при цьому, характеристики впливу ТЗП різноманітних конструкцій. Розвинено використання сучасних методів математичного моделювання, що дало можливість встановити закономірності впливу конструктивних параметрів ТЛАП і ТЗП на показники руху автопоїзда й обґрунтувати конструктивні параметри ТЗП ТЛАП з урахуванням умов руху та практичних рекомендацій щодо зменшення динамічних навантажень на них і покращення експлуатаційних характеристик автопоїзда.

На основі принципу Даламбера опрацьована математична модель руху ТЛАП. Для досліджуваного автопоїзда прийняті припущення, типові для такого класу транспортних засобів, на їх основі розроблена плоска розрахункова схема ТЛАП, вибрані відповідні узагальнені координати і складені системи диференціальних рівнянь, які описують динаміку навантажень ТЛАП в перехідних режимах руху. У математичній моделі враховано жорсткісні і пружно-демпфуючі характеристики тягово-зчіпних пристрів ТЛАП, інерційні характеристики приводу і початкові умови, задані відповідно до задачі Коші. У системах диференціальних рівнянь враховано сили тяжіння тягача, причепів і вантажів, сили пружності в'язко-пружних елементів тягово-зчіпних пристрів ТЛАП, сили сухого і в'язкого тертя між вантажем і кузовом прицепа, які

пропорційні відноській їх швидкості, сили і моменти опору руху ТЛАП, а також сили, які залежать від зусиль у кінематичних парах тягово-зчіпних пристрів ТЛАП і, які зумовлюють переміщення ланок автопоїзда.

Апробацію математичної моделі виконано в три етапи.

На першому етапі апробації програмної моделі (ПМ) проводилася перевірка правильності запису рівнянь математичної моделі. Тому були розглянуті такі тривіальні випадки статички і динаміки ТЛАП:

1. ТЛАП перебуває на горизонтальній прямолінійній дорозі. В початковий момент часу всі його елементи у стані врівноваженого спокою (рівняннями динаміки описано нерухомий автомобіль, тобто статичку):

а) двигун та гальма вимкнені. Основні складові ТЛАП – три еквівалентні маси – повинні зберігати стан спокою. У цьому випадку результати роботи ПМ (похибка точності) полягали в тому, що переміщення основних складових ТЛАП не перевищували 10^{-6} м; швидкості переміщень – 10^{-5} м/с; пришвидшення – 10^{-3} м/с²; зусилля в пружних елементах ТЗП не перевищувало 100 Н;

б) двигун увімкнено, гальма вимкнено. ТЛАП рухається у бік збільшення (вперед) або зменшення (назад) поздовжньої координати ${}^0X_{O1}$ відповідно. У цьому випадку результати розрахунку ПМ були аналогічними – близькими до отриманих експериментально для конкретної моделі ТЛАП.

2. ТЛАП на прямолінійній ділянці дороги з додатним або від'ємним ухилами. Двигун увімкнено. За додатного ухилу дороги швидкість переміщення тягача ${}^0\dot{X}_{O1}$ менша, ніж за від'ємного. Результати роботи ПМ були аналогічні.

Метою другого етапу апробації програмної моделі є перевірка точності вибраного числового методу з урахуванням особливостей функціонування автомобіля (режими руху, межі зміни параметрів, стійкість числового методу, тощо) Для цього проведено аналіз результатів відомих досліджень та їх зіставлення із результатами, отриманими за допомогою розробленої ПМ. З відомих літературних джерел взято результати розв'язання аналогічних задач динаміки ТЛАП. За допомогою ПМ ці задачі розв'язано за однакових з

наведеними у літературних джерелах значень параметрів ТЛАП.

Натурний експеримент проведено з метою зіставлення результатів комп'ютерного моделювання і реальних процесів під час руху триланкового автопоїзда. Для проведення натурального експерименту використано вантажний автомобіль ЗІЛ-ММЗ-555 із двома двовісними причепами. Проведені експериментальні дослідження підтвердили адекватність математичної моделі досліджуваним процесам руху ТЛАП.

На основі розробленої узагальненої математичної моделі руху ТЛАП, для створення якої використано графи конструктивних схем ТЗП, здійснено теоретичне дослідження основних характеристик ТЗП з визначенням кінематичних, геометричних і силових параметрів їх елементів.

Для дослідження тягово-зчіпних пристроїв, що використовуються у колісному транспорті, були прийняті режими роботи за номінального завантаження: номінальні довготривалі режими натягу-стиску; максимальні навантаження; короткочасні знакозмінні навантаження; ударні навантаження (ривки). Далі ТЗП досліджували за різних варіантів завантаження автопоїзда і таких режимів руху, як розгін, гальмування, переїзд через перешкоду.

У дисертаційній роботі механічну систему триланкового автопоїзда подано у вигляді ланок із зосередженими масами із абсолютно жорстких елементів із зосередженими податливостями. Для спрощення математичної моделі доцільно зовнішні сили, що діють на ланки, зображати на розрахунковій схемі еквівалентними складовими, які прикладені в певних точках і являють собою проєкції результуючих сил на осі інерціальної системи координат. Разом з тим, з метою наочнішої порівняльної оцінки стандартного та запропонованого ЗП (і підбирання кращих пружно-демпфуючих характеристик останнього) динаміку рушання АП з місця розглянуто не на абсолютно плоскій поверхні дороги, як зазвичай, а з урахуванням звичних в експлуатації висот мікропрофілю, характерних для реальних умов на розбитих дорогах із твердим покриттям (звичайно, в умовах бездоріжжя, з деформацією опорної поверхні, для військової чи сільськогосподарської автотехніки таке порівняльне дослідження є ще

інформативнішим, але значно складнішим за умовами додаткової террамеханіки взаємодії шин із опорною поверхнею).

Аналізуючи отримані результати, ми встановили, що максимальні коливання спостерігалися в останнього причепа, тому стійкість його руху визначала стійкість руху всього автопоїзда. Різке зростання амплітуди коливань спостерігалось у разі збільшення кількості причепів і швидкості руху. Швидкість руху автопоїзда із одним причепом становить близько 50 км/год, автопоїзда з двома причепами – близько 43 км/год. Зі збільшенням швидкості до 20 км/год амплітуда коливань зростає на 24 %, до 30 км/год – на 27 %, до 43 км/год – на 29 %. Досліджуючи процес рушання, бачимо, що швидкість 2 м/с стабілізується, якщо $t = 2,4$ с, час перехідного процесу до 4 с. При цьому із деяким запізненням відбувається стрибок динамічних навантажень у зчіпних пристроях причепів. Поздовжні зусилля у причепах зміщені у часі пропорційно до величин зазорів першого і другого зчіпних пристроїв.

У разі використання запропонованого експериментального тягово-зчіпного пристрою (ЕТЗП) коливання причепів відбуваються з меншими періодами, ніж без нього (різниця періодів 0,26–0,33с), що пояснюється досить ефективною роботою пристрою. Зниження періоду коливань становить 18,3–20,2 %.

Під час руху по ґрунтовій дорозі використання експериментального ТЗП дає змогу скоротити амплітуду коливань причепів на основних транспортних швидкостях із 0,18–0,218 до 0,126–0,154 м, знизивши її на 0,046–0,065 м (26,5–30,2 %).

Результати розрахунків засвідчили, що за рахунок підбору параметрів елемента ТЗП можна досягти зниження динамічних навантажень у ТЗП до 25 % (визначальним чинником є насамперед масогабаритні показники ТЛАП).

Для практичного використання розроблено методику розрахунку ЕТЗП, що полягає у послідовному розрахунку амортизатора-демпфера, пневмобалона, необхідної продуктивності компресора. Під час вибору типорозмірів, геометричних розмірів і матеріалів враховано умови експлуатації, статичне навантаження на ТЗП, робочий тиск у пневмосистемі й режими руху ТЛАП.

Тягово-зчіпний пристрій із пружно-демпфуючою ланкою дає змогу, окрім вищезазначеного зниження динамічних навантажень у з'єднувальних пристроях тягача та причепів, також підвищити на 10–15 % швидкість руху автопоїзда за рахунок відповідного зменшення амплітуди поздовжніх коливань заднього причепа, що й обмежують безпечну швидкість автопоїзда з умов стійкості руху загалом.

Розроблену методику прийняли для практичного впровадження конструкторські підрозділи ПрАТ „АвтоКрАЗ” та ВАТ „Укравтобуспром”.

Ключові слова: триланкові автопоїзди: причепа, тягово-зчіпні пристрої; динаміка навантажень, поздовжня стійкість руху; перехідні режими руху; конструктивні схеми: розрахункові схеми: математичні моделі.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА, В ЯКИХ ОПУБЛІКОВАНІ ОСНОВНІ НАУКОВІ РЕЗУЛЬТАТИ ДИСЕРТАЦІЇ

Стаття у науковому періодичному виданні іншої держави

1. Zinko Roman, Badejnov Oleksandr (2018).The research of functioning of three-unit lorry convoys. *The Archives of Automotive Engineering – Archiwum Motoryzacji*, Vol. 81, No. 3, 129–140.

DOI: <https://doi.org/10.14669/AM.VOL81.ART11>.

Статті у фахових виданнях України

2. Зінько Р. В. Дослідження роботи зчіпних пристроїв розчленованих транспортних засобів за допомогою графів / Р. В. Зінько, І. С. Лозовий, О. М. Бадейнов // Вісник Національного технічного університету “ХПІ”: зб. наук. праць. Серія: Автомобіле- та тракторобудування. Харків: НТУ “ХПІ”, 2014. № 10 (1053). С.121–128.

3. Зінько Р. В. Морфологічне середовище для дослідження роботи зчіпних пристроїв розчленованих транспортних засобів / Р. В. Зінько, І. С. Лозовий, О. М. Бадейнов // *Наукові нотатки: міжвузівський зб.* Луцьк: ЛНТУ, 2014. Вип. № 45. С. 220–228.

4. Зінько Р. В. Методика експериментальних досліджень тягово-зчіпних пристроїв триланкових автопоїздів / Р. В. Зінько, О. М. Бадейнов // *Наукові нотатки: міжвузівський зб.* Луцьк: ЛНТУ, 2016. Вип. № 55. С. 168–171.

5. Бадейнов О. М. Моделювання руху триланкового автопоїзда / О. М. Бадейнов, Р. В. Зінько, О. З. Горбай // *Наукові нотатки: міжвузівський зб.* Луцьк, 2018. Вип. № 62. С. 21–24.

Опубліковані праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

6. Зінько Р. В. Морфологічне середовище для дослідження роботи зчіпних пристроїв розчленованих транспортних засобів / Р. В. Зінько, І. С. Лозовий, О. М. Бадейнов // *Науково-прикладні аспекти автомобільної і транспортно-дорожньої галузей: III Міжнародна науково-технічна конференція, (29 травня – 1 червня 2014 року, Україна, Луцьк, Луцький національний технічний університет).* С. 220–228.

7. Зінько Р. В. Методика експериментальних досліджень тягово-зчіпних пристроїв триланкових автопоїздів / Р. В. Зінько, О. М. Бадейнов // Науково-прикладні аспекти автомобільної і транспортно-дорожньої галузей: IV Міжнародна науково-технічна конференція, (6 червня – 10 червня 2016 року, Україна, Луцьк, Луцький національний технічний університет). С. 168–172.

8. Бадейнов О. М. Екологічні аспекти використання багатоланкових автопоїздів / О. М. Бадейнов, Р. В. Зінько, С. В. Шибанов, Ю. Ю. Скварок // Сучасні технології промислового комплексу-2019: V Міжнародна науково-практична конференція, (10 – 15 вересня 2019 р.). Херсон: ХНТУ, 2019. С. 153–154.

9. Бадейнов О. М. Підвищення ефективності вантажних автоперевезень шляхом використання триланкових автопоїздів / Бадейнов О. М. // Проблеми з транспортними потоками і напрями їх розв'язання: Четверта Всеукраїнська науково-теоретична конференція, (25 – 26 березня 2021 року). Львів: Галичська видавнича спілка, 2021. С. 103 – 104 с.

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації

10. Зінько Р. В., Лозовий І.С., Бадейнов О.М. Робота дволанкового автопотяга в умовах сільського господарства // Systemy i srodki transportu samochodowego. Seria: Transport. Rzeszow: Politechnika Rzeszowska, 2015. Nr 6. 135–140.

11. Зінько Р. В., Бадейнов О. М. Економічна ефективність використання багатоланкових автопоїздів // Systemy i srodki transportu samochodowego. Seria: Transport. Rzeszow: Politechnika Rzeszowska, 2016. Nr 7, 301–310.

ABSTRACT

Badeinov O.M. Load dynamics and the improvement in elastic-damping characteristics of three-unit tractor-trailer traction-hitch devices. - Qualifying research paper, manuscript copyright.

The dissertation on an acquisition of the Philosophy Doctor degree in a specialty 133 "Industrial Mechanical Engineering" (13 "Mechanical engineering"). - Lviv Polytechnic National University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Lviv, 2021.

The dissertation is devoted to the research and development of a calculation methodology and the improvement of three-unit tractor-trailer (road train) traction-hitch devices (THD) design. Scientific substantiation and elaboration of the kinematic and power characteristics determination method, THD strength calculations and, on their basis, the development and implementation in the production of advanced constructions of such devices allow to increase the operating characteristics of three-unit tractor-trailers (TUTT) in general, which are widespread in a number of EU countries and, as well, are relevant for Ukraine.

The process of load dynamics of three-unit tractor-trailer with elastic-damping traction-hitch devices in transient movement modes was taken as the object of research.

The subject of research is loads dynamics and improving the elastic-damping characteristics of three-unit tractor-trailer with elastic-damping traction-hitch devices in the process of starting moving from a place, both in the mode of the highest load, and during emergency braking. To achieve this purpose, the known research on multi-unit three-unit tractor-trailers and THD were summarized and, based on them, the basic principles of the THD design improving were substantiated, a method of complex research of the functioning dynamics and optimized calculation of their parameters were developed.

The scientific novelty of the obtained results is that for the first time the research method of THD load dynamics of three-unit tractor-trailers was elaborated and corresponding calculations of necessary THD elastic-damping characteristics were developed, taking into account specificity of three-unit tractor-trailers designs. In order

to reduce the peak dynamic loads, first of all during the starting of moving of heavy-duty TUTTs, the recommendations on the adding of the inertial damping link to the THD construction of the second trailer were worked out and appropriate design solutions were proposed. Taking into account the variety of schemes for the TUTT formation, including combinations with semi-trailers and support trailers of Dolly type, it is proposed to use graphs of structural diagrams of road trains and THD in the design of new constructions of THD and, accordingly, the use of the usual mathematical description based on the D'Alembert principle. The mathematical model of road train movement relative to TUTT has been improved, which, in contrast to the existing ones, made it possible to directly determine the values of the maximum dynamic loads on the TUTT in the extreme modes of its movement and to investigate, at the same time, the characteristics of the impact of various structures THD. The use of modern methods of mathematical modeling was further developed, which made it possible to establish patterns influence of constructive parameters of TUTT and THD on road train movement indicators and to substantiate design parameters of THD TUTT taking into account traffic conditions and practical recommendations for reducing dynamic loads and improving road train operational characteristics.

Based on the D'Alembert principle, a mathematical model of TUTT movement was worked out. For the researched road train, the standard assumptions for such class of vehicles are accepted, on their basis the plain calculation scheme of TUTT is developed on their basis, the corresponding generalized coordinates are chosen and formed systems of differential equations that describe the dynamics of TUTT loads in transient modes of motion. The mathematical model took into account the stiffness and elastic-damping characteristics of TUTTs traction-hitch devices, inertial characteristics of drive characteristics and initial conditions, which were set in accordance with the Cauchy problem. The systems of differential equations take into account the gravitational forces of the tractor, trailers and loads, the elasticity forces of the viscoelastic elements of TUTTs traction-hitch devices, forces of dry and viscous friction between the load and the body of the trailer, which are proportional to their relative speed, forces and moments of TUTT movement resistance, and also the forces which

depend on forces in kinematic pairs of TUTT's traction-hitch devices and which cause movement of links of a road train.

Approbation of the mathematical model was carried out in three stages.

At the first stage of the software model (SM) approbation the following trivial cases of statics and dynamics of TUTT was considered:

1. TUPP is located on a horizontal straight road. At the initial moment of time, all its elements are in static equilibrium state:

a) engine and brakes off. The main components of the TUTT are three equivalent masses, which must remain at rest. In this case, the results of the SM work were that the displacement of the main components of the TUTT did not exceed 10^6 m; speed of displacements was 10^{-5} m/s; acceleration was 10^{-3} m/s²; the force in the elastic elements of the THD did not exceed 100 N.

б) engine on, brakes off. TUTT moves in the direction of increasing (forward) or decreasing (backward) the longitudinal coordinate, respectively. In this case, the results of the calculation of SM were similar - close to those obtained experimentally for a particular model of TUTT.

2. The TUTT is located on a straight section of the road with a positive or negative slope percentage. Engine included. With a positive percentage of the slope of the road, the speed of the tractor displacement ${}^0\dot{x}_{o1}$ is less than with a negative percentage of the slope. The results of the SM work were similar.

The purpose of the second approbation stage of the software model is the analysis of results of known researches and their comparison with the results received by means of the developed software model. The results of solving similar problems of TUTT dynamics were selected from known literature sources. With the help of a software model, these problems were solved at the same values of the TUTT parameters as in the literature.

Full-scale experiment was conducted to compare the results of computer simulations and real processes of a three-unit tractor-trailer movement. A ZiL-MMZ-555-555 truck with two two-axle trailers was used for the full-scale experiment. Experimental researches have confirmed the adequacy of the mathematical model.

On the basis of the developed generalized mathematical model of the TUTT movement, for developing which, graphs of the design schemes of the THD were used, theoretical research of the basic characteristics of THD with the determination of kinematic, geometrical, and force parameters of their elements was carried out.

Thus, for the research of traction-hitch devices (THD) used in wheeled vehicles, the operation modes at nominal load were adopted: nominal long-term modes of tension-compression; maximum loads; short-term alternating loads; shock loads (jerks). Further THD were investigated at various options of loading of a road train and such modes of movement as: acceleration, braking, hitting an obstacle.

In the dissertation, the mechanical subsystem of a three-unit tractor-trailer in the form of links with concentrated masses of absolutely rigid elements with concentrated compliance is presented. To simplify the mathematical model, it makes sense to represent the external forces acting on the links in the design scheme with equivalent components applied at certain points, which are the projections of the resulting forces on the axis of the inertial coordinate system. However, in order to the more clearly comparative estimation of the standardized and proposed hitch devices (and selection of better elastic-damping characteristics of the latter), the dynamics of road train, when it starts the movement, is considered not on a completely flat road surface, as usual, but taking into account usual in operation heights of the micro profile, specific to real conditions on damaged roads with a firm cover, (of course, in off-road conditions, with deformation of the supporting surface, for military or agricultural vehicles such a comparative research is even more expressive, but much more difficult in terms of additional interaction of tire with the supporting surface).

Analyzing the results, it was found that the maximum oscillations were observed in the last trailer, so the stability of its movement determined the stability of the whole road train. A sharp increase in the amplitude of oscillations was observed with the increasing number of trailers and speed. The speed of a road train with one trailer is about 50 km/h, of a road train with two trailers is about 43 km/h. When the speed increases to 20 km/h the amplitude of oscillations increases by 24%, to 30 km/h – by 27%, to 43 km/h – by 29%. Researching the process of movement, it can be seen that

the speed of 2 m/s stabilizes at $t = 2,4$ s, the transition time is to 4 s. At the same time with some delay, there is a jump of dynamic loadings in hitch devices of trailers. Longitudinal forces in trailers are shifted in time in proportion to the values of the gaps of the first and second hitch devices.

When using the proposed experimental traction-hitch device (ETHD), oscillations of trailers occur with smaller periods than without it (difference of periods is 0,26-0,33s), which is due to the very efficient operation of the device. Reduction of the oscillations period is 18,3-20,2%.

When driving on a dirt road, the use of experimental THD allows reducing the trailers oscillations amplitude at basic transport speeds from 0,18-0,218 to 0,126-0,154 m, lowering it by 0,046-0,065 m (26,5-30,2%).

The results of the calculations showed that, by setting the parameters of the THD element, it is possible to achieve a reduction of dynamic loads in the THD to 25% (the determining factor is primarily the mass and size indicators of TUTT).

For practical use, the method of calculation of ETHD consisting of the consecutive calculation of the shock-absorber-damper, a pneumatic cylinder, necessary productivity of the compressor is developed. At a choice of standard sizes, geometrical sizes and materials, it is considered operating conditions, static loading on THD, working pressure in the pneumatic system, and modes of TUTT movement.

Traction-hitch device with an elastic-damping link allows, in addition to the above-mentioned reduction of dynamic loads in the hitch devices of tractor and trailers, also increase by 10-15% tractor-trailer speed by reducing the amplitude of longitudinal oscillations of the rear trailer, which limits the safe speed road trains in terms of traffic stability conditions in general.

The developed methodology is adopted for practical implementation by the design departments of HC "AvtoKrAZ" and OJSC "Ukravtobusprom".

Keywords: three-unit tractor-trailers, trailers, traction-hitch devices, loads dynamics, longitudinal movement stability, transient motion modes, structural diagrams, calculation schemes, mathematical models.

LIST OF THE CANDIDATE'S PUBLICATIONS IN WHICH THE MAIN SCIENTIFIC RESULTS OF THE DISSERTATION HAVE BEEN PUBLISHED

Article in a scientific periodical of another country:

1. Zinko Roman, Badejnov Oleksandr (2018). The research of functioning of three-unit lorry convoys. *The Archives of Automotive Engineering – Archiwum Motoryzacji*, Vol. 81, No. 3, 129–140.

DOI: <https://doi.org/10.14669/AM.VOL81.ART11>.

Articles in professional publications of Ukraine:

2. Zinko R. V. Research of operation of hitching devices of disarticulated vehicles by means of graphs / R.V. Zinko, I.S. Lozovyi, O.M. Badeinov. Bulletin of the National Technical University “KhPI”. Collection of scientific works. Series: Car and tractor engineering. Kh. : NTU “KhPI”, 2014. No. 10 (1053). P. 121–128.

3. Zinko R.V. Morphological medium for research of hitching devices of disarticulated vehicles / R.V. Zinko, I.S. Lozovyi, O.M. Badeinov. Interuniversity collection “Scientific notes”. Lutsk: LNTU, 2014. Issue No. 45. P. 220–228.

4. Zinko R.V. Methods of experimental research of three-unit tractor-trailer traction-hitch devices / R.V. Zinko, O.M. Badeinov. Interuniversity collection “Scientific notes”. Lutsk: LNTU, 2016. Issue No. 55. P. 168–171.

5. Badeinov O. M. Modeling the of a three-unit tractor-trailer movement / O. M. Badeinov, R. V. Zinko, O. Z. Horbai. Interuniversity collection “Scientific notes”. Lutsk, 2018. Issue No. 62. P. 21–24.

Published works certifying the approbation of the dissertation materials:

6. Zinko R.V. Morphological medium for research of hitching devices operation of disarticulated vehicles / R.V. Zinko, I.S. Lozovyi, O.M. Badeinov. III International scientific and technical conference “Scientific and applied aspects of the automotive and transport-road industries”, (May 29 – June 1, 2014, Ukraine, Lutsk, Lutsk National Technical University). P. 220–228.

7. Zinko R.V. Methods of experimental research of three-unit tractor-trailer traction-hitch devices / R.V. Zinko, O.M. Badeinov. IV International scientific and technical conference “Scientific and applied aspects of the automotive and transport and

road industries”, (June 6 – June 10, 2016, Ukraine, Lutsk, Lutsk National Technical University). P. 168–172.

8. Badeinov O.M. Ecological aspects of multi-link road trains using / O.M. Badeinov, R.V. Zinko, S.V. Shybanov, Yu. Yu. Skvarok. V International scientific-practical conference “Modern technologies of the industrial complex-2019”, September 10–15, 2019. Kherson: KhNTU, 2019. P. 153–154.

9. Badeinov O.M. Increase of efficiency of freight autotransportations by the use of three-unit lorry convoys / Badeinov O.M. IV Allukrainian theoretical conference “Problems with transport streams and directions of their decision“, March, 25–26, 2021. Lviv: Galich publishing union, 2021. P. 103–104.

Publications that additionally represent the scientific results of the dissertation:

10. Zinko R.V. The work of a two-unit tractor-trailer in agriculture conditions / R.V. Zinko, I.S. Lozovyi, O.M. Badeinov. Systems and means of vehicles. Series: Transport. – Rzeszow: Rzeszow Technical University, 2015. No. 6. P. 135–140.

11. Zinko R.V. Economic efficiency of use of multi-link road trains / R.V. Zinko, O.M. Badeinov. Systems and means of vehicles. Series: Transport. Rzeszow: Rzeszow Technical University, 2016. No. 7. P. 301–310.

