

УДК 621.86.032

Проблема стійкості короткобазових колісних навантажувачів при виконанні транспортних операцій та шляхи її вирішення

Олександр Єфименко¹, Мусаєв Заур²

Харківський національний автомобільно-дорожній університет,
61002, вул. Ярослава Мудрого. 25, Харків, Україна,

¹khadi.alef@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0628-7893>

²0336musaev@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5533-0897>

Received: 05.02.2020; Accepted: 28.05.2020

<https://doi.org/10.32347/gbdmm2020.95.0402>

Анотація. На сьогодні короткобазові колісні навантажувачі є досить розповсюдженими, як на території України так і за кордоном. Вони використовуються у багатьох галузях будівництва та мають широкий спектр змінних робочих органів. Завдяки відмінно виваженій конструкції навантажувач здатний працювати в замкнених умовах, це робить його незамінним у подібних ситуаціях. У поданій роботі розглядається стійкість короткобазових навантажувачів під час виконання ними транспортних операцій, а саме, під час подолання нерівностей на робочих ділянках. Пропонуємо методологічний підхід до вирішення означеної проблеми шляхом впровадження системи автоматизації. Експериментально доведено, що машина втрачає стійкість при транспортуванні матеріалу через свої конструктивні особливості, а саме, коротку базу та центр мас розміщений ближче до задньої осі машини. У зв'язку з цим виникає проблема підвищення стійкості короткобазових навантажувачів у транспортному режимі.

Ключові слова: стійкість, навантажувач, перешкода, опорна поверхня, деформація, критерій стійкості, переміщення, центр мас.

ВСТУП

Завдяки універсальності, економічності, високій мобільності та маневреності, а також швидкій зміні робочих органів короткобазові навантажувачі є високоефективним засобом механізації ручної праці. У цей час понад 25 фірм США, Великобританії, Німеччини, Японії, Канади, Італії, Словаччини й Китаю виготовляють ці машини як для внутрішнього, так і для зовнішнього ринку. Їх річний випуск становить близько

100 тис. машин (80% доводиться на частку США, де в будівництві використовується приблизно 30% короткобазових навантажувачів). На частку України припало близько 20 – 22%, що використовуються в будівництві.

Вітчизняний і закордонний досвіди використання малогабаритних машин свідчать про їх недостатню стійкість, особливо при виконанні транспортних операцій. Внаслідок цього експлуатаційна продуктивність даного класу машин значно нижче заявленої.

МЕТА РОБОТИ

Дослідження проблеми стійкості короткобазових навантажувачів при виконанні ними транспортних операцій, на прикладі процесу подолання машиною одиначної перешкоди, що дозволить раціоналізувати параметри машини з метою подальшого вдосконалення транспортного режиму навантажувача шляхом автоматизації.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Одним із показників безпеки експлуатації машин є їх стійкість під час виконання робочих операцій і в транспортному режимі руху. Аналіз конструкцій короткобазових навантажувачів з регульованими гідроб'ємними трансмісіями свідчать про те, що їх стійкість повинна бути забезпечена не тільки в положеннях, передбачених стандартами ISSN(online)2709-6149. Mining, constructional, road and melioration machines, 95, 2020, 54-59

ртами, але й у транспортному режимі руху з виникненням можливої аварійної ситуації, наприклад, при подоланні машиною поодиноких нерівностей.

Поняття стійкості будь-якої системи не є однозначним. З одного боку існує поняття математичної стійкості, або стійкості по А. М. Ляпунову [2], а з іншого боку існує технічна стійкість [3] системи, яка дещо відрізняється від стійкості по А. М. Ляпунову. Основною ідеєю математичної стійкості є накладення одного невеликого обмеження, при цьому рівновага системи не залежить від зовнішніх факторів. Технічна стійкість відрізняється наявністю та врахуванням зовнішніх факторів, як збудників, що призводять до втрати загальної рівноваги системи. Саме тому у поданій роботі було розглянуто процес втрати технічної стійкості короткобазового навантажувача, основним параметром якої є кут відхилення центру мас машини відносно вертикалі, яка проходить

через вісь ходових коліс.

Закордонні виробники намагаються мінімізувати ризик перекидання машини не тільки при повороті, а й при взаємодії навантажувача з перешкодою. У зв'язку з цим усе частіше тестуються короткобазові навантажувачі з безповітряними шинами, які здатні повністю вирішити проблему перекидання машини при повороті, але не вирішують проблему стійкості при виконанні транспортних операцій на достатньому рівні.

Відомо, що на стійкість навантажувача при взаємодії його коліс з нерівностями робочої поверхні впливає положення його робочого обладнання [4]. За рахунок відсутності повітря у шинах, змінюється жорсткість, що призводить до зменшення частоти вимушених коливань навантажувача при подоланні нерівностей опорної поверхні (Рис.1) [5].

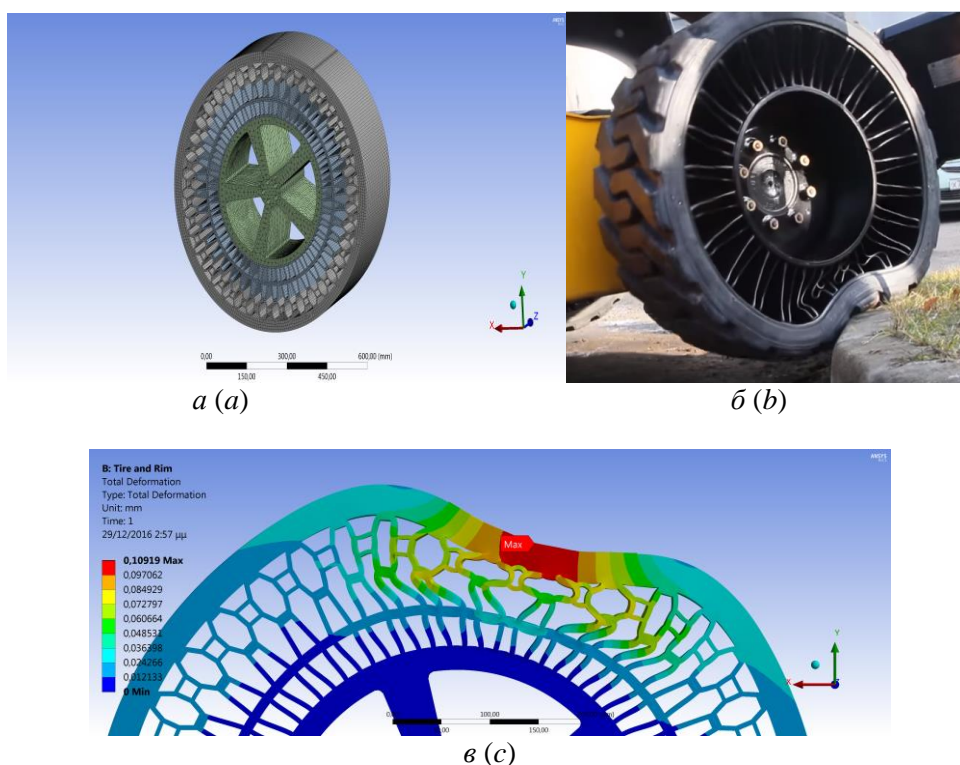


Рис. 1. Безповітряна шина на моделі короткобазового навантажувача:

a – комп'ютерна модель шини; *б* – натурна модель шини; *в* – статичний розрахунок безповітряної шини за допомогою програмного комплексу Ansys 17.2

Fig. 1. Airless tire on the model of a short-base loader:

a – computer tire model; *b* – natural tire model; *c* – static calculation airless tire using Ansys 17.2 software system

Запропонований метод дозволить частково мінімізувати ризик втрати стійкості навантажувача при транспортуванні матеріалу, але через свої конструктивні особливості машина втратить стійкість, якщо робоче обладнання буде піднято вище рекомендованого [6].

При комп'ютерному моделюванні, експериментальних дослідженнях та теоретичних розрахунках були побудовані наступні залежності:

- залежність критерію стійкості навантажувача від часу при масі вантажу 600 кг під час взаємодії його задніх коліс з перешкодою;

- залежність критерію стійкості навантажувача від часу при масі вантажу 1200 кг під час взаємодії його задніх коліс з перешкодою.

Слід зазначити, що комп'ютерне моделювання дозволило оцінити вплив висоти положення робочого обладнання машини на критерій її стійкості [7] (Рис.2).

У дослідженнях розглядалися короткобазові навантажувачі марки ПМТС 1200, оскільки вони набули широкого розповсюдження в Україні, до того ж мають потребу в забезпеченні стійкості та удосконаленні.

Швидкості робочих переміщень усіх короткобазових навантажувачів відносно невеликі й коливаються від 11 до 13 км/год під час руху вперед і до 9,0 км/год під час руху заднім ходом, а прискорення розгону до 1,4 рази менше прискорення гальмування.

Математична, експериментальна та комп'ютерна моделі повністю підтверджують фізичний процес втрати стійкості навантажувачів у поздовжній площині [7]. Критерієм стійкості є кут відхилення центру мас навантажувача відносно вертикалі що проходить через вісь ходових коліс. Важливо зазначити, що в такому режимі машина втрачає стійкість, але не перекидається. Через коливання відбувається зіткнення робочого органа з опорною поверхнею. Отже, з розглянутого етапу взаємодії машини зі перешкодою з наступним відривом коліс можна зробити висновок про те, які умови необхідні для збереження стійкості розглянутої моделі навантажувача.

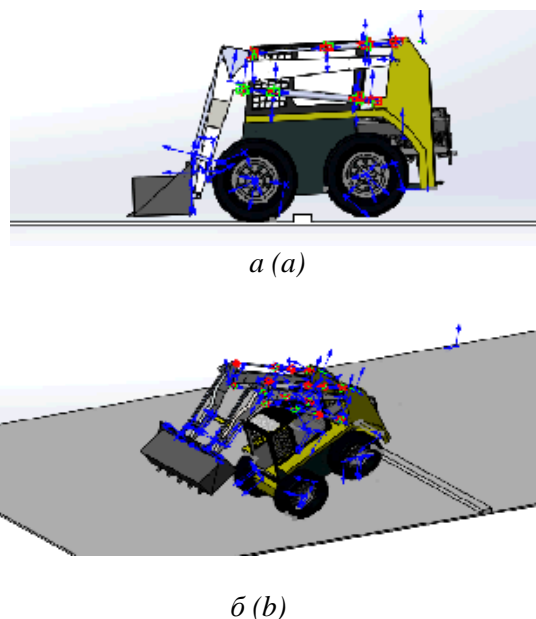


Рис. 2. Комп'ютерне моделювання процесу подолання одиначної нерівності короткобазовим навантажувачем: *a* – процес прямолінійного наїзду навантажувача на перешкоду з опущеним робочим обладнанням; *b* – процес прямолінійного наїзду навантажувача на перешкоду з піднятим робочим обладнанням на 1,75 м

Fig. 2. Computer simulation of the process of eliminating single inequality by a short-base loader: *a* – the process of straightforward collision of the loader on an obstacle with the work equipment lowered; *b* – the process of straight-line impact of a loader on an obstacle with the raised working equipment on 1,75 m

Зі збільшенням швидкості та маси вантажу в ковші відбувається більша частота змушених коливань, а сили інерції сприяють перекиданню машини вперед.

За результатами досліджень було отримано залежності впливу швидкісних, вантажних та конструктивних характеристик короткобазового навантажувача на критерій його динамічної стійкості (Рис. 3).

Основним лінійним параметром, що визначає динамічну стійкість навантажувача при переїзді через перешкоду, є переміщення його центра мас у горизонтальній та вертикальній площинах. Виникає задача дослідження та раціоналізації транспортного режиму машини.

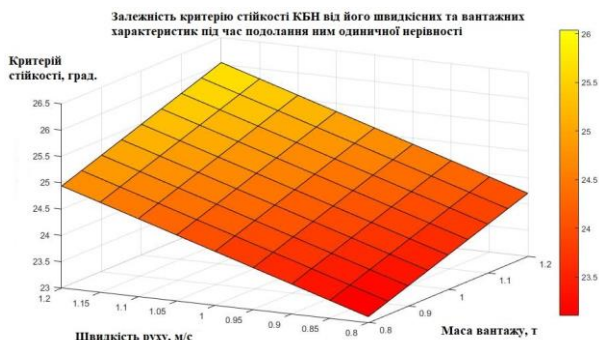


Рис. 3. Залежність впливу швидкісних та вантажних характеристик короткобазового навантажувача на критерій його динамічної стійкості

Fig. 3. Dependence of influence of speed and load characteristics of a short-base loader on the criterion of its dynamic stability

За результатами математичного моделювання [7] було отримано рівняння регресії, що можна вжити в якості вхідних параметрів при використанні автоматизованої системи керування:

$$y = B_0 + B_1x_1 + B_2x_2, \quad (1)$$

де B_0, B_1, B_2 – коефіцієнти рівняння регресії;

x_1, x_2 – швидкість навантажувача та маса вантажу відповідно.

Із втратою стійкості будівельних машин подібного типу, що не мають захисних механізмів, робоче обладнання псується, машина не здійснює свій повний життєвий цикл, а в окремих випадках під час роботи навіть відбуваються порушення техніки безпеки [8].

Системи захисту металоконструкцій у цілому досить надійні й ефективні. Водночас неухильне зростання світових цін на енергоефективні машини вимагає їх подальшого вдосконалення. Це пов'язано з наступними обставинами:

- сучасні міжнародні стандарти допускають підвищений запас міцності;
- підвищена маса пасивних металоконструкцій машин призводить до додаткової витрати металу й палива у зв'язку з тим, що

в транспортних режимах зайва вага спричиняє підвищення опору руху.

Розглядаючи втрату стійкості короткобазових навантажувачів, зазначимо, що відбувається зіткнення ковша з робочою поверхнею, що негативно впливає на елементи гідропривода й металоконструкції машини [9]. Істотним є те, що під час цього процесу відбуваються, як правило, суттєві коливання машини в поздовжній площині, які спричиняють максимальні навантаження на гідропривід і свідчать про високу динамічність процесу [10].

Виявилося, що найбільше на критерій стійкості навантажувача впливає положення його робочого обладнання (рис. 4).

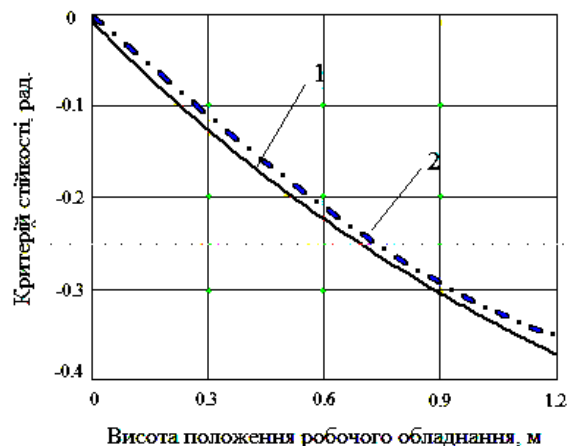


Рис. 4. Залежність впливу положення робочого обладнання КБН на критерій його стійкості: 1 – крива даних дослідження; 2 – крива рівняння апроксимації.

Fig. 4. The dependence of the influence of the position of the work equipment of short-base loader on the criterion of stability: 1 - the curve of the research; 2 - the curve of the approximation equation

Для автоматизації транспортного режиму навантажувача потрібно запропонувати системі необхідні умови, які можна сформулювати наступним рівнянням [11]:

$$f_i = F_0 + e^{(F_1 \cdot x_i)} + F_2, \quad (2)$$

де F_0, F_1, F_2 – постійні коефіцієнти рівняння апроксимації;

X_i – значення критерію стійкості короткобазового навантажувача.

Для оцінки вірогідності отриманих результатів відбувалося узгодження даних дослідження з рівнянням апроксимації (2). Для підтвердження правильності ухвалених рішень, був прийнятий критерій Пірсона χ^2 [12].

При зіставленні даних дослідження з даними рівняння апроксимації виявилось, що ймовірність їх збігу становить $P(\chi^2, q) = 0,906$.

Порівняння експериментальних даних із кривою рівняння апроксимації, свідчить про достатню збіжність результатів і відповідає критерію Пірсона на 90 %. Отримане рівняння (2), а також рівняння (1) можна використовувати для будь-якої моделі короткобазового навантажувача, за винятком коефіцієнтів, які для окремо взятої машини будуть різними.

ВИСНОВКИ

У результаті проведених досліджень:

– проаналізовано сучасні підходи до вирішення проблеми стійкості короткобазових навантажувачів;

– встановлені дійсні причини втрати рівноваги короткобазових навантажувачів під час подолання ними одиначної перешкоди;

– запропоновано методологічний підхід до вирішення означеної проблеми за допомогою комп'ютерного моделювання;

– у результаті проведених досліджень було отримано вхідні умови для стабілізації руху короткобазового навантажувача шляхом використання автоматизованої системи керування.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Мусаєв З. Р.** Дослідження транспортного режиму короткобазового навантажувача / З.Р. Мусаєв // Молода наука – роботизація та нано-технології сучасного машинобудування. – Кроматорськ.: ДДМА, – 2019. – №75. – С. 88 – 91.
2. **Платонов В. Ф.** Машиностроение энцикл.: в 40 т. Т. IV-15. Колесные и гусеничные ма-

шины / В. Ф. Платонов // под общ. ред. В. Ф. Платонова. – М.: Машиностроение. 2005. 688 с.

3. **Хачатуров А. А.** Динамика системы дорогашина-автомобиль-водитель / А. А. Хачатуров – М.: Машиностроение, – 1967. – 323 с.
4. **Мусаєв З. Р.** Вплив нерівностей земної поверхні на динамічну стійкість короткобазового навантажувача під час виконання ним транспортних операцій / З.Р. Мусаєв, О. В. Єфименко // Scientific discussion journal – Praha, Czech Republic ISSN 3041-4245. – 2019. – Vol 1, No 36. – Р. 42 – 46.
5. **Хижняк Н.** Больше никаких проколов: Michelin и GM обещают выпустить безвоздушные шины к 2024 году / Н. Хижняк // Технологии, available at: <https://hi-news.ru/technology/bezvozдушnye-shiny.html>
6. **Єфименко О. В.** Моделювання робочого обладнання малогабаритного навантажувача за допомогою сучасних програмних засобів / О. В. Єфименко, Т. В. Пługина, З. Р. Мусаєв // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля: науковий журнал – Северодонецьк. – 2017. – Вип. 4. – С. 98 – 102.
7. **Розенфельд М. В.** Математичне моделювання процесу подолання одиначної перешкоди короткобазовим навантажувачем / М. В. Розенфельд, О. В. Єфименко, З. Р. Мусаєв // 9 – а міжнародна наукова-практична конференція: Тези доповідей 9-ї міжнародної науково-практичної конференції «проблеми розвитку транспорту і логістики» – Одеса. – 2019. – Т. 5. – С. 164 – 167.
8. **Назаров Л. В.** Динамическая устойчивость короткобазового погрузчика с бортовой системой поворота / Л. В. Назаров, Л. В. Разаренов // Наук. висн. – Харків: ХДТУБА – 2009. – Вып. 55. – С. 217 – 224.
9. **Назаров Л. В.** Динамика поворота малогабаритного колесного погрузчика / Л. В. Назаров, Л. В. Разаренов // Вестник ХНТУСХ им. П. Василенка. Зб. наук. праць – Харьков: 2009. – Вып. 81. – С. 62 – 64.
10. **Зленко А. А.** Определение параметров ковшового фронтального погрузчика / А. А. Зленко, И. М. Рябикова // Механизация строительства. – 2007. – № 9. – С. 22.
11. **Нефедов Л. И.** Обобщенная модель системного синтеза автоматической трансмиссии / Л. И. Нефедов, А. А. Осьмачко // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – №4(42). – 2009. – С. 10 – 13.
12. **Пискунов Н. С.** Дифференциальное и интегральное исчисления / Н. С. Пискунов // Т. 1.

Учебное пособие для вузов. – М: Наука. – 1985. – 432 с.

REFERENCES

1. **Musajev Z. R.** (2019). Doslidzhennja transportnogo rezhymu korotkobazovogo navantazhuvacha. Moloda nauka – robotyzacija ta nano-tehnologii' suchasnogo mashynobuduvannja. Kromators'k, DDMA, Publ., Nr. 75, 88-91. – (in Ukrainian).
2. **Platonov V. F.** (2005). Mashinostroenie jencikl.: v 40 t. T. IV-15. Kolesnye i gusenichnye mashiny. Pod obshh. red. V. F. Platonova. Moscow, Mashinostroenie. (in Russian).
3. **Hachaturov A. A.** (1967). Dinamika sistemy doroga-shina-avtomobil'-voditel.' Moscow, Mashinostroenie. (in Russian).
4. **Musajev Z. R., Jefymenko O. V.** (2019). Vplyv nerivnostej zemnoi' poverhni na dynamichnu stijkist' korotkobazovogo navantazhuvacha pid chas vykonannja nym transportnyh operacij. Scientific discussion journal. Praha, Czech Republic ISSN 3041-4245. Vol 1, Nr. 36, 42-46. (in Czech Republic).
5. **Hizhnjak N.** (2019). Bol'she nikakih prokolov: Michelin i GM obeshhajut vypustit' bezvozdušnye shiny k 2024 godu. Tehnologii, available at: <https://hi-news.ru/technology/bezvozdušnye-shiny.html>.
6. **Jefymenko O. V., Plugina T. V., Musajev Z. R.** (2017). Modeljuvannja robochogo obladdannja malogabarytnogo navantazhuvacha za dopomogoju suchasnyh programnyh zasobiv. Visnyk Shidnoukrai'ns'kogo nacional'nogo universytetu im. Volodymyra Dalja: naukovyj zhurnal. Severodonec'k, Vol. 4, 98-102. – (in Ukrainian).
7. **Rozenfel'd M. V., Jefymenko O. V., Musajev Z. R.** (2019). Matematyčne modeljuvannja procesu podolannja odynychnoi' pereshkody korotkobazovym navantazhuvachem. 9 – a mizhnarodna naukova-praktyčna konferencija: Tezy dopovidej 9-i' mizhnarodnoi' naukovopraktyčnoj konferencii' «problemy rozvytku transportu i logistyky». Odesa, Vol. 5, 164 – 167. – (in Ukrainian).
8. **Nazarov L. V., Razarenov L. V.** (2009). Dinamicheskaja ustojchivost' korotkobazovogo pogruzchika s bortovoj sistemoj povorota. Nauk. visn. Harkiv, HDTUBA. Vol. 55, 217 – 224. – (in Ukrainian).
9. **Nazarov L. V., Razarenov L. V.** (2009). Dinamika povorota malogabaritnogo kolesnogo pogruzchika. Vestnik HNTUSH im. P. Vasilenka. Zb. nauk. prac'. Har'kov, Vol. 81, 62-64. (in Ukrainian).
10. **Zlenko A. A., Rjabikova I. M.** (2007). Opre-delenie parametrov kovshovogo frontal'nogo pogruzchika. Mehanizacija stroitel'stva. Publ., Nr. 9, 22. – (in Ukrainian).
11. **Nefedov L. I., Os'machko A. A.** (2009). Obobshhennaja model' sistemnogo sinteza avtomaticheskoy transmissii. Vostochno-evropejskij zhurnal peredovyh tehnologij. Publ., Nr. 4(42), 10-13. – (in Ukrainian).
12. **Piskunov N. S.** (1985). Differencial'noe i integral'noe ischislenija. T. 1. Uchebnoe posobie dlja vtuzov. Moscow, Nauka, 432. (in Russian).

The problem of the stability of short-wheel loaders in the performance of transport operations and ways to solve it

Alexander Yefymenko¹, Zaur Musaiev²

Kharkiv National Automobile and Highway University

Abstract. To date, compact wheel loaders are quite common, both in Ukraine and abroad. They are used in many industries and have a wide range of variable working bodies. Due to its well-designed construction, the loaders is capable of operating under closed conditions, which makes this mode of transport indispensable in such situations. This article examines the stability of short-base loaders during their transport operations, namely, in overcoming irregularities in work areas.

A methodological approach to solving this problem by introducing an automation system is proposed. It is experimentally proven that the machine loses its stability when transporting material due to its structural features, namely, the short base and center of mass, which is structurally located closer to the rear axle of the machine. This raises the problem of increasing the stability of short-base loaders in transport mode.

Keywords: stability, loader, obstacle, support surface, deformation, stability criterion, displacement, center of mass.