

О. О. СОЛАРЬОВ

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри транспортних технологій
Сумський національний аграрний університет
ORCID: 0000-0002-1485-0685

О. Ю. САВОЙСЬКИЙ

старший викладач кафедри транспортних технологій
Сумський національний аграрний університет
ORCID: 0000-0002-6459-4931

Н. М. МЕЛЬНИК

старший викладач кафедри вищої математики
Сумський національний аграрний університет
ORCID: 0000-0003-4235-4651

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РОЗМІЩЕННЯ ВАНТАЖУ У КУЗОВІ НА СТІЙКІСТЬ ТА НАВАНТАЖЕННЯ НА ОСІ ВАНТАЖНОГО ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ

У даній статті ми розглядаємо теоретичні аспекти а також практичні рекомендації раціонального розподілу навантаження на осі вантажного транспортного засобу, метою якого є підвищення безпеки, стійкості і ефективності експлуатації. На сьогодні автомобільний транспорт досить швидко розвивається та збільшується кількість автомобільних, вантажних перевезень. Розвиток автомобільного транспорту дозволяє значно спростити процес завантаження та розвантаження автомобіля, але питання розподілу навантаження на осі транспортного засобу залишається досить актуальним. Під час руху завантаженого транспортного засобу одним з найважливіших питань є безпека водія та інших учасників дорожнього руху. Розподіл навантаження на осі є одним з базових питань яке на безпеку руху впливає. Існує багато методик визначення реакцій ґрунту на колеса транспортного засобу, але нашою метою є знаходження оптимального, швидкого методу визначення оптимального розподілу навантаження на осі транспортного засобу. Проведено детальний аналіз методів розрахунку навантажень на дві осі та колеса, що базуються в свою чергу на принципах рівноваги сил і моментів, а саме визначення реакцій ґрунту на колеса в залежності від положення центру ваги. Суттєві складнощі під час керування транспортним засобом для водіїв має і гачове навантаження від використаного причепу. Проаналізовано вплив розміщення вантажу в середині кузова на стійкість автомобіля, зокрема під час маневрування та гальмування, що особливо важливо для зменшення перевантаження осей і зменшення зношування вузлів транспортного засобу. Розглядається вплив зміщення центру ваги на розподіл навантаження між колесами, що дозволяє мінімізувати ризики перекидання, зменшити нерівномірне зношування шин і покращити зчеплення з дорогою. Запропоновано рекомендації щодо оптимального розташування вантажу в кузові, що сприяє досягненню стабільного положення автомобіля, забезпечуючи безпечне та економічне транспортування вантажів.

Ключові слова: вантаж, розміщення вантажу, стійкість, навантаження на осі, вантажний транспортний засіб.

О. О. SOLAROV

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Transport Technologies
Sumy National Agrarian University
ORCID: 0000-0002-1485-0685

О. YU. SAVOISKYI

Senior Lecturer at the Department of Transport Technologies
Sumy National Agrarian University
ORCID: 0000-0002-6459-4931

N. M. MELNYK

Senior Lecturer at the Department of Higher Mathematics
Sumy National Agrarian University
ORCID: 0000-0003-4235-4651

RESEARCH ON THE INFLUENCE OF CARGO ARRANGEMENT IN THE BODY ON THE STABILITY AND LOAD ON THE AXLES OF A CARGO VEHICLE

In this article, we consider theoretical aspects and practical recommendations for rational distribution of the load on the axles of a freight vehicle, the purpose of which is to increase safety, stability and efficiency of operation. Today, road transport is developing quite rapidly and the number of road and freight transportation is increasing. The development of road transport allows us to significantly simplify the process of loading and unloading a vehicle, but the issue of distributing the load on the axles of a vehicle remains quite relevant. When driving a loaded vehicle, one of the most important issues is the safety of the driver and other road users. The distribution of the load on the axles is one of the basic issues that affects traffic safety. There are many methods for determining the reactions of the soil on the wheels of a vehicle, but our goal is to find an optimal, fast method for determining the optimal distribution of the load on the axles of a vehicle. A detailed analysis of the methods for calculating the loads on two axles and wheels, which are based in turn on the principles of equilibrium of forces and moments, namely the determination of soil reactions on the wheels depending on the position of the center of gravity. The hook load from the trailer used also poses significant difficulties for drivers when driving a vehicle. The influence of placing the load in the middle of the body on the stability of the vehicle, in particular during maneuvering and braking, is analyzed, which is especially important for reducing axle overload and reducing wear of vehicle components. The influence of the center of gravity shift on the load distribution between the wheels is considered, which allows minimizing the risks of overturning, reducing uneven tire wear and improving road grip. Recommendations are offered for the optimal location of the load in the body, which contributes to achieving a stable position of the vehicle, ensuring safe and economical transportation of goods.

Key words: cargo, cargo placement, stability, axle load, cargo vehicle.

Постановка проблеми

Вантажні автомобілі є однією з ключових та невід'ємних складових сучасної логістики, оскільки забезпечують транспортний зв'язок між виробниками різних компаній, дистриб'юторами та споживачами на великих і малих відстанях. Маючи на сьогоднішній день на світовому рівні зростання обсягу товарообігу і збільшенням маси вантажів, що транспортуються, вантажні автомобілі піддаються значним механічним навантаженням, які впливають не лише на конструктивні елементи транспортного засобу, а й на дорожнє покриття, це на самперед впливає на довговічність компонентів та загальну безпеку під час автомобільних вантажних перевезень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Одним із найважливіших аспектів, який потребує постійної уваги, є раціональний розподіл ваги вантажу в кузові вантажного автомобіля, особливо якщо вантаж досить велику вагу. Він визначає стійкість автомобіля під час руху, маневрування та гальмування, впливає на рівномірність зношування шин, систем підвіски, дорожнього покриття, а також на енергоефективність перевезень, що, в свою чергу, знижує експлуатаційні витрати та вплив на навколишнє середовище [2, 3].

Українські вчені приділяють значну увагу дослідженням стійкості та керованості техніці з різноманітними рушіями [1, 4], але в першу чергу наша мета дослідити стійкість та керованість колісної техніки під час перевезення вантажу вантажними транспортними засобами.

Правильний розподіл навантаження у свою чергу сприяє підтримці безпечного рівня навантаження на осі, що насамперед забезпечує рівновагу та знижує ризик перевертання при різких маневрах, а також підвищує керованість транспортного засобу, особливо в складних умовах. Одночасно нерівномірний, або невідповідний розподіл ваги може призвести до перевантаження окремих осей чи коліс, що загрожує підвищеним зносом шин, зменшенням ефективності гальмування, а також збільшує ймовірність небезпечних ситуацій на дорозі особливо під час погіршених погодних умов. У разі надмірного навантаження на одну з осей може виникати перевантаження на дорожнє покриття, що сприяє швидшому його руйнуванню та створює додаткові витрати на ремонт доріг [5, 6].

У цьому дослідженні розглянуто ключові фактори та методики, що дозволяють раціонально визначити й оптимізувати розподіл навантаження між осями та колесами вантажного транспортного засобу. Використання науково обґрунтованих підходів до розподілу навантаження допоможе підвищити безпеку руху, покращити стійкість транспортного засобу на дорозі, а також забезпечити рівномірне навантаження на шини й елементи підвіски. Ці аспекти важливі для досягнення ефективної експлуатації вантажного транспорту та забезпечення його довговічності, що є актуальним завданням у сфері сучасної логістики та транспорту.

Формулювання мети дослідження

Метою статті є розробка методики визначення оптимального розподілу навантаження на осі вантажного транспортного засобу.

Викладення основного матеріалу дослідження

Важливим фактором, що впливає на стійкість вантажного автомобіля, є висота і положення центру ваги (рис. 1, 2).

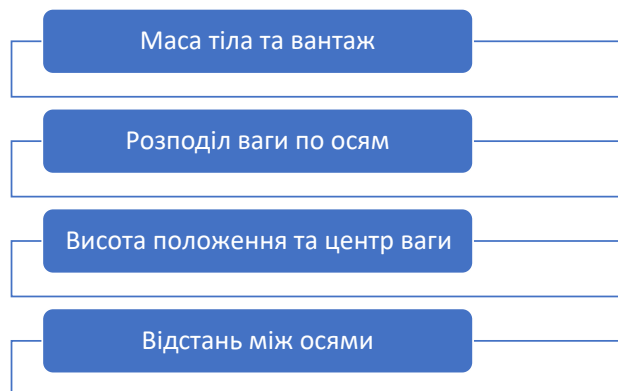


Рис. 1. Фактори, які впливають на стійкість транспортного засобу

Центр ваги зміщується в залежності від того, як розміщено вантаж у кузові з наступними наслідками:

1. Зміщення центру ваги назад підвищує навантаження на задню вісь, що може призвести до підвищеного зносу задніх шин і зниження стабільності на високих швидкостях та при значних маневрах.
2. Зміщення центру ваги вперед збільшує навантаження на передню вісь, що може зменшити зчеплення задніх коліс з дорогою, особливо під час гальмування, або виконання інших різких маневрів.
3. Високе розміщення центру ваги підвищує ризик перекидання транспортного засобу за рахунок виникнення поздовжніх та бічних коливань, найчастіше такі коливання виникають під час руху по шосейному дорожньому покриттю.
4. Реакції ґрунту на колеса транспортного засобу – це вертикальні сили, які виникають у точках контакту шин з дорожньою поверхнею.

Ці сили з'являються як реакція на вагу самого транспортного засобу та додатковий вантаж, якщо він присутній. Кожне колесо отримує свою частку навантаження залежно від ряду факторів.

Розглянемо їх детальніше:

1. Маса транспортного засобу та вантажу.

Маса автомобіля є основним фактором, який впливає на реакції ґрунту на колеса. Загальна маса складається з маси самого автомобіля (без навантаження) та маси вантажу, який він перевозить.

Чим більша маса, тим вищими будуть вертикальні сили на точках контакту шин з дорогою.

2. Висота і положення центру ваги.

Центр ваги визначає, як рівномірно або нерівномірно розподіляється навантаження між колесами.

Якщо центр ваги розташований високо (наприклад, в автобусах або вантажних автомобілях), автомобіль буде більш схильним до нахилів і перевертання, що може змінювати розподіл навантаження на колеса під час руху.

Зміщення центру ваги вперед, або назад вплине на розподіл ваги між передніми та задніми осями, а також між лівими та правими колесами.

3. Розподіл ваги між осями.

Розподіл навантаження між передньою і задньою осями залежить від конструкції автомобіля і положення центру ваги.

Наприклад, у передньопривідних автомобілях вага зазвичай розподілена більше на передні колеса, тоді як у задньопривідних і позашляховиків це навантаження може бути зміщене до задньої осі.

4. Відстань між осями.

Чим більша відстань між осями (колісна база), тим більш стабільним може бути транспортний засіб. Відстань між осями визначає розподіл навантаження між передньою і задньою осями.

Велика відстань між осями дозволяє рівномірно розподілити вагу, тоді як коротка база може спричинити нерівномірне навантаження на осі, що вплине на стійкість і маневреність.

Розглянемо більш детально процес впливу розміщення центру ваги на реакції ґрунту на рис. 2.

З умови статичної рівноваги у стані нерухомості автомобіля знаходимо реакції ґрунту на осі:

$$Y_1 = G \frac{l_1}{l};$$

$$Y_2 = G \frac{l_2}{l}.$$

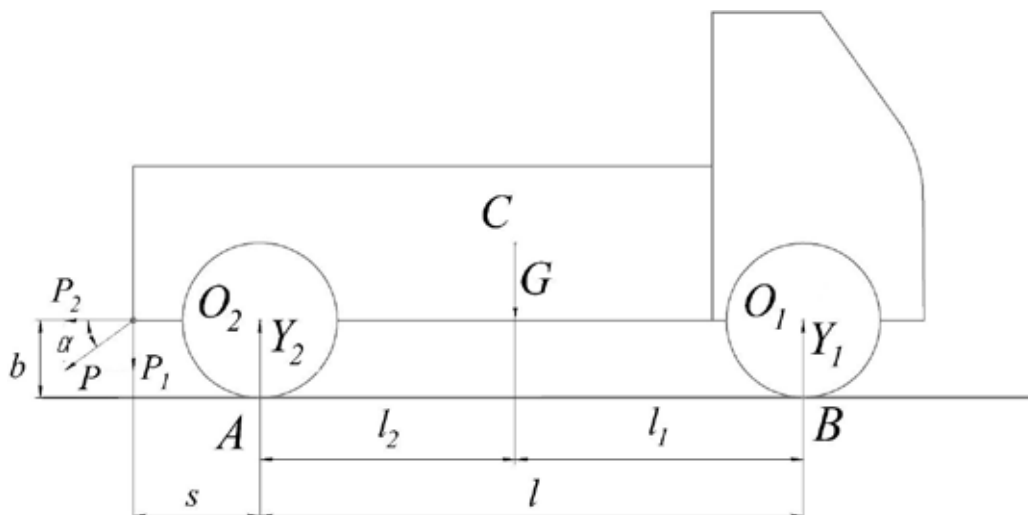


Рис. 2. Дослідження реакцій ґрунту на русії вантажного транспортного засобу

Для визначення реакцій ґрунту на кожну вісь використовують умови рівноваги моментів сил відносно кожної осі та центральних точок ваги:

$$Y_1 + Y_2 = G;$$

$$Y_1 \cdot l_1 = Y_2 \cdot l_2;$$

де Y_1, Y_2 – реакції ґрунту на передню та задню осі;

G – загальна вага автомобіля;

l_1, l_2 – відстані від центру ваги до відповідних осей.

Таким чином враховуючи рівняння отриманих реакцій Y_1 і Y_2 бачимо, що зміна центру мас на яку відповідно впливає розміщення вантажу в кузові має суттєве значення для рівноваги та рівномірного розподілу навантаження на осі транспортного засобу.

Але слід пам'ятати, що більшість сучасних великогабаритних вантажних транспортних засобів використовують під час перевезення автомобільні причепи. Прикладені сили до крюка (рис. 2) причіпного пристрою також мають свій вплив на стійкість транспортного засобу, а особливо на зчипні реакції ведучих (задніх) коліс з дорожнім покриттям.

Залежність реакцій ґрунту на осі вантажного автомобіля можна описати наступним чином:

$$Y_1 = \frac{Gl_1 - P[s \sin \alpha + b \cos \alpha]}{l} = \frac{Gl_1 - P_{кр}(\operatorname{tg} \alpha + b)}{l};$$

$$Y_2 = \frac{Gl_2 - P[(l+s) \sin \alpha + b \cos \alpha]}{l} = \frac{Gl_2 + P_{кр}[(s+l) \operatorname{tg} \alpha + b]}{l}.$$

При збільшенні кута α на який впливає висота точки прикладеної сили b та відповідно вектори сил P зчипні реакції зменшуються, що має досить негативний характер у зимовий період чи русі по поверхні зі слабкою несучою здатністю. Детально залежність оптимального розміщення центра мас від точки прикладеної сили причіпного пристрою зображена на рис. 3. Оптимальними умовами для забезпечення високої стійкості транспортного засобу будуть ті параметри, які забезпечуватимуть розміщення точки M у границях $ABCD$.

Висновки

Для підтримання стійкості та рівномірного розподілу навантаження рекомендується:

Розмішувати важкий вантаж нижче та ближче до центру автомобіля.

Забезпечувати рівномірний розподіл маси по обох боках кузова.

Уникати концентрації вантажу в передній або задній частині кузова.

Процес раціонального розподілу навантаження на осі вантажного транспортного засобу є критично важливим для забезпечення стійкості, безпеки та довговічності компонентів автомобіля. Дослідження показують, що навіть незначне зміщення центру ваги вантажу на 20 см від оптимального положення може призвести до зростання навантаження на одну з осей на більше ніж на 15%. Це збільшує ризик передчасного зношування шин та знижує ефективність транспортного засобу.

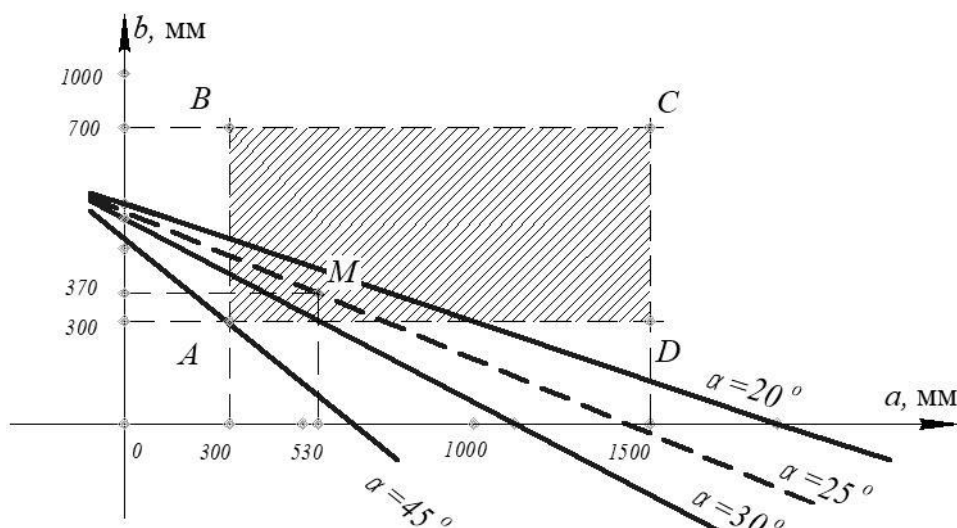


Рис. 3. Залежність оптимального розміщення центра мас від точки прикладеної сили причіпного пристрою

Рівномірне розміщення вантажу також покращує керуваність автомобіля, що особливо важливо при різких маневрах і гальмуванні. Наприклад, дослідження показали, що при зміщенні навантаження на передню вісь лише на 5%, гальмівний шлях може збільшитися на 8–10% через зниження ефективності зчеплення задніх коліс з дорогою. З іншого боку, розміщення вантажу в задній частині кузова на 10% від загальної довжини кузова зменшує ефективність передніх гальмівних механізмів на 5–7%, що також впливає на загальну безпеку під час руху.

Отже, раціональний підхід до розподілу вантажу між осями дозволяє підвищити загальну стійкість транспортного засобу, ефективність гальмування та маневрування, а також продовжити ресурс шин і дорожнього покриття. Це особливо важливо для транспортної галузі, де зростає попит на енергоефективні та надійні логістичні рішення.

Список використаної літератури

1. Мартинюк А. В., Марченко М. В., Соларьов О. О. Траєкторія криволінійного руху трактора [Електронний ресурс]. Технології XXI століття : збірник тез за матеріалами 27 міжнародної науково-практичної конференції (м. Суми – Одеса, 24–26 листопада 2021 р.) (Ч. 1, с. 39–40). Суми – Одеса : СНАУ.
2. Мельник В. І., Довжик М. Я., Татяниченко Б. Я., Соларьов О. О. Кінематична невідповідність і динамічна нерівномірність навантаження спарених коліс трактора. Кінематична неузгодженість і динамічна нерівномірність навантаження спарених коліс трактора. Інженерія природокористування, 2015. (1), 90–95. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/IPrk_2015_1_18.
3. Довжик М. Я., Татяниченко Б. Я., Соларьов О. О. Силовий аналіз тракторного агрегату з пахотним плугом / О.В. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка, 2015. (157), 208–214. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhdtusg_2015_157_38.
4. Кожушко А. П., Григор'єв О. Л. Моделювання зв'язаних коливань колісного трактора та цистерни з рідиною на прямій траєкторії зі складним рельєфом місцевості / О.В. Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Серія: Математичне моделювання в техніці та технологіях, 2018. 34–61. URL: <https://repository.kpi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/e82dd96f-874a-415a-952d-71b162c727c4>.
5. Колодненко В.М., Соларьов О.О. Дослідження вільних коливань кузова автомобіля під час руху. Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Механізація та автоматизація виробничих процесів, 2022. 1(47), 55-58. URL: <https://www.snaubulletin.com.ua/index.php/mapp/article/download/885/808>
6. Соларьов О.О., Герасименко В.О., Таценко О.В. Методика розподілу навантаження на осі вантажного транспортного засобу», Вісник ВПІ, 2022. Вип. 6, С. 65–68, Груд. 2022. URL: <https://visnyk.vntu.edu.ua/index.php/visnyk/article/view/2825>

References

1. Martyniuk, A. V., Marchenko, M. V., Solarov, O. O. (2021). Traiektoriia kryvoliniinoho rukhu traktora [Trajectory of curvilinear movement of the tractor] [Elektronnyi resurs]. Tekhnolohii XXI storichchia : zbirnyk tez za materialamy 27

mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii (m. Sumy – Odesa, 24–26 lystopada, 2021 r.) (Ch. 1, s. 39–40). Sumy – Odesa : SNAU [in Ukrainian].

2. Melnyk, V. I., Dovzhyk, M. Ya., Tatiachenko, B. Ya., & Solarov, O. O. (2015). Kinematychna nevidpovidnist i dynamichna nerivnomirnist navantazhennia sparenykh kolis traktora. [Kinematic inconsistency and dynamic unevenness of the load of paired tractor wheels]. *Inzheneriia pryrodokorystuvannia*, (1), 90–95. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Iprk_2015_1_18 [in Ukrainian].

3. Dovzhyk, M. Ya., Tatiachenko, B. Ya., & Solarov, O. O. (2015). Sylovyi analiz traktornoho ahrehatu z pakhotnym pluhom [Power analysis of a tractor unit with an arable plow]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu silskoho hospodarstva imeni Petra Vasylenka*, (157), 208–214. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhdtusg_2015_157_38 [in Ukrainian].

4. Kozhushko, A. P., Hryhoriev, O. L. (2018). Modeliuvannia zviazanykh kolyvan kolisnoho traktora ta tsysterny z ridynoiu na priamii traiektorii zi skladnym reliefom mistsevoli [Modeling coupled vibrations of a wheeled tractor and a liquid tank on a straight path with complex terrain]. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu “KhPI”*. Serii: Matematychni modeliuvannia v tekhnitsi ta tekhnolohiiakh, 34–61. URL: <https://repository.kpi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/e82dd96f-874a-415a-952d-71b162c727c4> [in Ukrainian].

5. Kolodnenko V.M., Solarov O.O. (2022). Doslidzhennia vilnykh kolyvan kuzova avtomobilia pid chas rukhu. *Visnyk Sums'koho natsionalnoho ahrarnoho universytetu*. Serii: Mekhanizatsiia ta avtomatyzatsiia vyrobnychych protsesiv, 1(47), 55-58. URL: <https://www.snaubulletin.com.ua/index.php/mapp/article/download/885/808>

6. Solarov O.O., Herasymenko V.O., Tatsenko O.V., (2022) *Metodyka rozpodilu navantazhennia na osi vantazhnoho transportnoho zasobu*», *Visnyk VPI*, vyp. 6, s. 65–68, Hrud. 2022. URL: <https://visnyk.vntu.edu.ua/index.php/visnyk/article/view/2825>