

УДК 621.8.031



М. А. Подригало



М. П. Холодов



А. А. Побережний

## ДИНАМІКА ГАЛЬМУВАННЯ АВТОМОБІЛЯ З ІДЕАЛЬНИМ ІНЕРЦІЙНИМ РУШІЄМ

У статті розглянуті різні способи гальмування мобільних машин і запропонована їхня класифікація. Показано, що гальмування машини з інерційним рушієм може бути виконане шляхом повороту вектора тягової сили на  $180^\circ$ .

Розроблені фізична й математична моделі гальмування машини з ідеальним інерційним рушієм. Для цього використана модель складного руху механічної системи, її застосування дозволило одержати математичну модель динаміки реактивного гальмування машини з ідеальним інерційним рушієм.

Досліджені показники динаміки гальмування й показано, що час гальмування зменшується зворотно пропорційно квадрату кутової швидкості обертання вантажів, а гальмівний шлях машини обернено пропорційний сумарній масі вантажів і квадрату кутової швидкості їхнього обертання.

**К л ю ч о в і с л о в а :** машини з ідеальним інерційним рушієм, гальмівне управління, показники динаміки гальмування.

**Постановка проблеми.** Створення мобільних машин з інерційними рушіями обумовило необхідність забезпечення їхньої маневреності й гальмівних властивостей.

У разі використання колісної ходової частини зазначене завдання вирішується шляхом повороту напрямних коліс й установа в них гальмівних механізмів. У інших випадках (на морських і річкових суднах, гусеничних машинах тощо) для гальмування й повороту машини можна використовувати зміну напрямку дії імпульсу тягової сили.

У даній статті розглянуті різні способи гальмування мобільних машин і запропонована їхня класифікація. Показано, що гальмування машини з інерційним рушієм можливе шляхом повороту вектора тягової сили на  $180^\circ$ . Для вирішення завдання оцінювання динаміки гальмування інерцоїда використовується фізична модель складного руху.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Гальмування – це процес зміни швидкості під час руху автомобіля. Гальмівне управління сучасного автомобіля включає п'ять гальмівних систем [1]:

- робочу;
- запасну;
- стоянкову;
- аварійну;
- допоміжну.

Кожна із зазначених систем призначена для виконання певних функцій. Для фаз вибігу й гальмування характерне поглинання кінетичної енергії автомобіля, що рухається. Під час вибігу ця енергія поглинається за рахунок опору коченню коліс, аеродинамічного опору [1], а також механічних втрат у трансмісії, підвісці й ходовій частині машини [2]. Такі фактори органічно властиві автомобілю як машині й тому названі природними опорами руху [1].

Штучний опір руху автомобіля створюється гальмівним управлінням [1]. У більшості сучасних автотранспортних засобів та інших колісних машин гальмування забезпечується встановленими на колесах або в трансмісії фрикційними гальмівними механізмами. При цьому за рахунок тертя у фрикційних парах накопичена автомобілем енергія (кінетична і потенційна) перетворюється на тепло й розсіюється у навколишнє середовище. Ця енергія є частиною непродуктивних витрат енергії

автомобіля. Такий спосіб гальмування варто визначити як «дисипативне гальмування». До нього варто віднести також гальмування з використанням парашутів, заглиблених плугів тощо.

У електромобілях, гібридних автомобілях, автомобілях з інерційними (маховиковими) рушіями кінетичну й потенційну енергії можливо перетворювати на енергію маховика, гідроакумулятора або електричного акумулятора. Такий спосіб гальмування дозволяє не розсіювати енергію автомобіля, а накопичувати її для подальшого використання, його називають «рекуперативним гальмуванням». Недоліком рекуперативного гальмування є низька ефективність гальмування на малих швидкостях руху автомобіля, що не дозволяє здійснити його повну зупинку. Тому рекуперативні гальмівні системи використовуються разом з дисипативними [3, 4]. Такі системи називатимемо комбінованими.

Звернемо увагу ще на один спосіб гальмування мобільної машини, який можна назвати «активним способом гальмування». Прикладом є гальмування автомобіля двигуном, що здійснюється за допомогою коробки передач при включенні нижчої передачі. У цьому випадку для гальмування автомобіля використовується енергія двигуна. Аналогічний приклад у авіації – під час пробігу реактивного літака двигуни переключаються на реверсну тягу. На морських і річкових судах використовується включення гребних гвинтів на реверс.

Використання інерцоїдів зі змінюваним напрямленим імпульсом тягової сили також дозволяє вирішити цю задачу [5–13]. Як було зазначено, рух інерцоїдів – це різновид реактивного руху, за якого робочим тілом є не реактивні гази, а неврівноважені інерційні маси. Тому назву такого способу гальмування можна скорегувати, назвавши його «реактивним способом гальмування».

Всі розглянуті способи гальмування можуть застосовуватися безпосередньо до рами (кузова) машини або до коліс. За відсутності колісної ходової частини гальмування машини можна здійснювати тільки шляхом прикладання гальмівної сили до рами (кузова) машини.

Для випадку реактивного гальмування інерцоїда традиційні методи розрахунку гальмівної динаміки непридатні, що вимагає додаткового дослідження.

**Метою статті** є розроблення фізичної й математичної моделей гальмування машини з ідеальним інерційним рушієм та одержання аналітичних виразів, що описують динаміку реактивного гальмування машини з ідеальним інерційним рушієм.

**Виклад основного матеріалу.** Для виконання поставленого завдання доцільно використовувати модель складного руху механічної системи [5].

Переносним рухом буде рух зі сталою швидкістю  $V_0$ , яку мала машина в початковий момент гальмування. Відносним рухом буде рух, створюваний інерційним рушієм, поверненим на реверсивну тягу.

Рівняння складного руху для машини в цьому випадку

$$V_a = V_e - V_r, \quad (1)$$

де  $V_e$  – переносна швидкість,  $V_e = V_0$ ;

$V_r$  – відносна швидкість.

$$V_r = \int_0^t \frac{P_0}{m} dt, \quad (2)$$

де  $P_0$  – рушійна (тягова) сила ідеального інерційного рушія;

$m$  – повна маса машини;

$t$  – час.

$$P_0 = A(m_1 + m_2)\omega^2, \quad (3)$$

де  $m_1, m_2$  – неврівноважені маси;

$A$  – постійний коефіцієнт;

$\omega$  – кутова швидкість неврівноважених мас.

Після підстановки виразу (3) у формулу (2) та інтегрування одержимо

$$V_r = A \frac{m_1 + m_2}{m} \omega^2 t. \quad (4)$$

Таким чином, абсолютна швидкість машини при гальмуванні може бути визначена після підстановки рівняння (4) у формулу (1):

$$V_a = V_0 - A \frac{m_1 + m_2}{m} \omega^2 t. \quad (5)$$

Час гальмування  $T$  машини визначимо з умови рівності нулю правої частини рівняння (5), тобто

$$T = \frac{mV_0}{A(m_1 + m_2)\omega^2}. \quad (6)$$

Аналіз виразу (6) показує, що час гальмування  $T$  зменшується зворотно пропорційно квадрату кутової швидкості обертання вантажів.

Рівняння (5) можна записати у такому вигляді:

$$dS = V_0 dt - A \frac{m_1 + m_2}{m} \omega^2 t dt. \quad (7)$$

Інтегруючи вираз (7) у межах (0, t), одержимо

$$S = V_0 t - A \frac{m_1 + m_2}{2m} \omega^2 t^2. \quad (8)$$

Якщо  $t = T$ , пройдений шлях  $S$  дорівнює гальмівному шляху  $S_T$ :

$$S_T = V_0 T - A \frac{m_1 + m_2}{2m} \omega^2 T^2. \quad (9)$$

Після підстановки формули (6) у рівняння (9) одержимо

$$S_T = \frac{mV_0^2}{2A(m_1 + m_2)\omega^2}. \quad (10)$$

Аналіз виразу (10) показує, що гальмівний шлях машини обернено пропорційний сумі неврівноважених мас і квадрату кутової швидкості їхнього обертання.

### **Висновки**

1. Використання моделі складного руху механічної системи дозволило отримати математичну модель динаміки реактивного гальмування машини з ідеальним інерційним рушієм.

2. Показники динаміки гальмування (час гальмування та гальмівний шлях) зменшуються пропорційно неврівноваженим масам  $m_1, m_2$  і квадрату кутової швидкості  $\omega^2$ . Уповільнення машини  $V_r$  збільшується прямо пропорційно зі збільшенням значень цих параметрів.

### **Перелік джерел посилання**

1. Гуревич Л. В., Меламуд Л. А. Тормозное управление автомобиля. Москва : Транспорт, 1978. 152 с.
2. Подригало М. А., Волков В. П., Кирчатый В. И., Бобошко А. А. Маневренность и тормозные свойства колесных машин. Харьков : ХНАДУ, 2003. 403 с.
3. Бажанов А. В., Подригало М. А., Сериков Г. С. Серикова И. А. Совместное использование рекуперативного и диссипативного торможений автомобиля. *Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту* : матеріали ІХ міжнар. наук.-практ. конф., м. Вінниця, 14–15 квіт. 2021 р. Вінниця, С. 12–14.
4. Тарг С. М. Краткий курс теоретической механики. Москва : Наука, 1968. 480 с.
5. Инерциод Толчина. URL: <https://academia.edu/28917726>. (дата звернення: 12.09.2021).

6. Тарунин Е. Л. Снова об инерцоиде. *Проблемы механики и управления. Нелинейные динамические системы* : межвуз. сб. науч. тр. Пермь, 2008. № 40. С. 170–192.

7. Provatidis, Christopher G. An Overview of the Mechanics of Oscillating Mechanisms. *American Journal of Mechanical Engineering* 1.3 (2013): 58–65. DOI: 10.12691/ajme-1-3-1.

8. Geröcs A., Korka Z., Nedelcu D, Gillich G. Development of an inertial propulsion drive by using motion simulation 2020 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 997 012043. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/997/1/012043>.

9. Полянский А. С., Побережный А. А., Плетнёв В. Н., Задорожня В. В. Разработка рекомендаций по устойчивости колёсных машин на уклонах. *Збірник наукових праць Національної академії Національної гвардії України*. Харків, 2015. Вип. 2(26). С. 39–42.

10. Geröcs A., Korka Z. 2019. Inertial drive system (Patent application no. RO133571-A2).

11. Geröcs A., Korka Z., Gillich G. 2019 Analytical investigations on the influence of the geometry of an inertial drive on the propulsion force. *Annals of «Eftimie Murgu» University of Reșița*. 26(1). pp. 76–85.

12. Geröcs A., Korka Z., Biró I., Cojocaru V. 2020 Analytical investigation of an inertial propulsion system using rotating masses. *Journal of Physics: Conference Series* 1426 012031.

13. Nedelcu D., Gillich G., Bloju A., Padurean I. 2020 The Kinematic and Kinetostatic Study of the Shaker Mechanism with Solid Works Motion. *Journal of Physics: Conference Series* 142 012025.

*Стаття надійшла до редакції 12.10.2021 р.*

**УДК 621.8.031**

**М. А. Подригало, М. П. Холодов, А. А. Побережный**

### **ДИНАМИКА ТОРМОЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЯ С ИДЕАЛЬНЫМ ИНЕРЦИАЛЬНЫМ ДВИЖИТЕЛЕМ**

*В статье рассмотрены разные способы торможения мобильных машин и предложена их классификация. Показано, что торможение машины с инерциальным двигателем возможно путем поворота вектора тяговой силы на 180°.*

*Разработаны физическая и математическая модели торможения машины с идеальным инерционным двигателем. Для этого использована модель сложного движения механической системы, ее применение позволило получить математическую модель динамики реактивного торможения машины с идеальным инерциальным двигателем.*

*Исследованы показатели динамики торможения и показано, что время торможения уменьшается обратно пропорционально квадрату угловой скорости вращения грузов, а тормозной путь машины обратно пропорционален суммарной массе грузов и квадрату угловой скорости их вращения.*

*Ключевые слова: машины с идеальным инерциальным двигателем, тормозное управление, показатели динамики торможения.*

**UDC 621.8.031**

**M. Podrigalo, V. Kholodov, A. Poberezhnyi**

### **BRAKING DYNAMICS OF A VEHICLE WITH IDEAL INERTIAL MOTION**

*Artificial resistance to movement of the car is created by the braking control. In most modern vehicles and other wheeled vehicles, braking is provided by friction brakes mounted to the wheels or in the transmission. At the same time, due to friction in friction pairs, the energy accumulated by the car (kinetic and potential) is converted into heat and dissipated into the environment. This energy is part of the car's energy waste. This type of braking should be defined as the "dissipative braking method". Dissipative braking should also include braking with the use of parachutes, submerged plows, etc. The motion of*

*inertioids is a kind of jet motion, in which the working medium is not jet gases, but unbalanced inertial masses.*

*For the case of reactive braking of an inertioide, the traditional methods of calculating the braking dynamics are unsuitable, which requires additional research.*

*In the paper different methods of braking for mobile cars have been considered and their classification has been suggested. It is shown that braking of a machine with an inertial propeller is possible by turning the traction force vector by 180 °.*

*In the paper physical and mathematical models of braking for machine with an ideal inertial mover were developed. A model of complex motion of a mechanical system was used. It made possible to obtain a mathematical model of the reactive braking dynamics of a machine with an ideal inertial driving force.*

*The study of braking dynamics indicators showed that the braking time decreases in inverse proportion to the square of the angular speed of rotation of the masses and the braking distance of the machine is inversely proportional to the total mass of goods and the square of the angular speed of their rotation.*

*K e y w o r d s : vehicle with ideal inertial motion, braking control, braking dynamics indicators.*

**Подригало Михайло Абович** – доктор технічних наук, професор, головний науковий співробітник науково-дослідного центру Національної академії Національної гвардії України.  
<https://orcid.org/0000-0002-1624-5219>

**Холодов Михайло Павлович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автомобілів Харківського національного автомобільно-дорожнього університету.  
<https://orcid.org/0000-0002-5098-0022>

**Побережний Андрій Анатолійович** – науковий співробітник науково-дослідного центру Національної академії Національної гвардії України.  
<https://orcid.org/0000-0002-8984-6912>