

ТЕОРЕТИЧНІ МОЖЛИВОСТІ ПОДОЛАННЯ ВІЙСЬКОВИМ АВТОМОБІЛЕМ ШТУЧНО СТВОРЕНИХ ПЕРЕШКОД

Петров Л. М., Петрик Ю. М., Кішянус І. В.

ВСТУП

Еволюція створення та розвитку механічних наземних транспортних засобів розпочалася декілька тисячоліть тому зі створення першого типу рушія – колісного. Рушій – це механізм, який перетворює енергію двигуна або іншого зовнішнього джерела через взаємодію з оточуючим середовищем в корисну роботу по переміщенню транспортного засобу, а в нашому випадку – зразка озброєння та військової техніки (ОВТ). На цей час існує шість найбільш розповсюджених типів рушіїв наземної техніки п'ять з яких, знайшли в тій чи іншій мірі застосування в зразках ОВТ застосування в комплексах ОВТ наземного базування провідних країн світу для врахування при розробці і закупівлі перспективних зразків ОВТ ЗС України⁹. Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.

Переміщення автомобіля здійснюється за допомогою колісних рушіїв, які в неповній мірі задовольняють виконання технологічних завдань в зоні наближених до бойових. Основним недоліком являється виконання вимог переміщення військового автомобіля в умовах бездоріжжя, а в деяких випадках неможливість його переміщення. Для підвищення надійності технології переміщення автомобіля в умовах бездоріжжя розробки фахівців світового рівня спрямовані на удосконалення конструкції колісного рушія та технології його переміщення¹⁰.

Огляд типових перешкод на автомобільних шляхах.

⁹ Вікович І. А., Черевко Ю. М., Зінько Р. В. Зниження динамічних навантажень у вантажних колісних машинах із пружно-демпфувальним зчленуванням: монографія. Львів : Галицька Видавнича Спілка, 2018. 166 с.

¹⁰ Krainuk Taras, Gorbaj Orest, Zinko Roman, Shchokin Myhajlo. Concept and construction of special wheeled chassis. *Systemy i srodki transportu samochodowego. Seria: Transport*. 2019, Nr 13. P. 9–15.

Ями



Зменшити ударне навантаження на колеса та підвіску від проїзду великих ям можна двома способами. Якщо яма розташована на траєкторії кочення коліс з одного боку, перед проїздом вибоїни можна зробити короткий і швидкий поворот і повернути кермо назад. Напрямок такого блискавичного маневру має імітувати об'їзд перешкоди. Оскільки ця дія була дуже швидкою, перепона залишиться на шляху кочення колеса, проте ударне навантаження на колесо й підвіску суттєво зменшиться, оскільки сили інерції в цей момент перерозподілять частину маси автомобіля на колеса з іншого боку.

«Пральна дошка»



Дорожні нерівності у вигляді «пральної дошки» небезпечні збільшенням на них гальмівного шляху автомобіля. Причому він буде значно довшим у автомобіля зі зношеними амортизаторами. Останні в такій ситуації не здатні притискати колеса до дороги. Ненавантажені колеса блокуватимуться, а антиблокувальна система в цьому разі автоматично зменшує гальмівне зусилля в механізмах приводу гальмівних колодок. У машин без ABS у цій ситуації гальмівний шлях має менший вплив на зупинний, однак, він теж буде довшим, ніж за умови вмілого переривистого гальмування на рівному асфальті.



Зважаючи на це, на таких дорожніх бар'єрах варто збільшити дистанцію до переднього автомобіля, щоб «не наздогнати» його у разі гальмування. Якщо все ж таки доведеться гальмувати на «пральній дошці», то машину краще відвести в сторону, де менша хвилястість, і погасити активність ABS обережною допомогою ручним гальмом. Електромеханічна гальмо в цьому разі застосовувати не бажано.

Бордюри



Бордюри, як межу проїжджої частини, рідко розглядають як можливе джерело пошкодження шин і дисків автомобіля. Однак, це актуальний бар'єр, який може призвести до «травм» колеса і не тільки. Бордюри бувають кількох типів і небезпечні вони по-різному. Найнебезпечніші – невисокі (або середньої висоти) кам'яні бордюри з гострим прямим кутом, на який намагаються заїхати під кутом і з розгону. Саме паркування під гострим кутом і з розгону стають причиною пошкодження шин. Заїжджати на бордюр слід плавно і під якомога більшим кутом (ближче до 90 град.).

Рейки



Трамвайні та залізничні рейки, що виступають над дорогою, дуже небезпечні як для автомобілів, так і для мотоциклістів і велосипедистів. Більш небезпечними є трамвайні колії, оскільки вони мають гостріші краї. Якщо не зменшити швидкість на переїзді такої перешкоди (більше ніж на 4-5 см), можна легко порізати шини і деформувати диск. Переїжджати ці перешкоди на дорозі слід не кваплячись і під якомога більшим кутом (ближче до 90 град.). Метал рейок, як правило, відполірований, тому шини можуть ковзати. Мотоциклістам і велосипедистам це особливо небезпечно, оскільки призводить до падіння цих транспортних засобів.

Калюжі



Калюжі приховують дві небезпеки. По-перше, під ними можуть бути ями, що стануть причиною пошкодження шин і навіть вузлів підвіски автомобіля. По-друге, глибокі калюжі можуть стати причиною потрапляння води в повітрязабірник двигуна, що призведе до гідродару. У цьому разі дорогого капітального ремонту мотора не уникнути. Тому якщо ви побачили на вашому шляху незнайому калюжу, краще максимально зменшити швидкість. Це також необхідно для запобігання аквапланування, коли між протектором

шини та дорогою виникає шар води, що перетворює автомобіль в об'єкт руху за інерцією.

Каміння-цегла



Велике каміння та цегла, що випали з кузовів будівельних самоскидів, у разі наїзду на них практично завжди стають причиною пошкодження шин і дисків, а також пластикових елементів нижньої частини кузова автомобіля. Отже, побачивши таку перешкоду на дорозі, необхідно її об'їхати. А найкраще – зупинитися і прибрати її з дороги, щоб унеможливити ДТП з іншими учасниками дорожнього руху.

Щебінь-пісок-грунт



На регіональних трасах часто можна побачити на дорогах розсипаний або «затягнутий» з узбіччя щебінь, пісок або ґрунт, розкиданий сільгосптехнікою, що виїжджала з полів. Ці ділянки теж дуже небезпечні, оскільки все, що потрапляє в пляму контакту між протектором шини та дорогою стає причиною збільшення гальмівного шляху і значного погіршення керуваності. Побачивши таке «сміття» на дорозі, слід вжити всіх необхідних заходів для виключення різких маневрів і екстрених гальмувань.

1. Постановка завдання

З метою підвищення надійності переміщення військового автомобіля вітчизняного виробництва нами було запропоновано технологію для віртуального зразка цього автомобіля з модернізованими колісними рушіями при подоланні ними рухливої перешкоди.

Великі автомобілебудівні фірми випускають велику кількість вантажних шасі без кузовів. Така система дозволяє гнучко реагувати на замовлення споживачів¹¹.

У США у випуску спеціалізованого вантажного транспорту розповсюджені рамні конструкції з подовженням. У Європі переважна кількість того чи іншого типу рами по державам, дуже різноманітна. Але у цілому зарубіжні фірми надають споживачам широку гаму спеціалізованих автомобілів, автопоїздів, які відповідають різноманітним вимогам.

Для більш ефективного використання спеціалізованого рухомого складу (СРС) необхідне постійне проведення робіт по удосконаленню його техніко експлуатаційних показників¹².

Основні тенденції розвитку СРС полягають у тому, що необхідно виконати наступні умови:

- зростання корисної вантажопідйомності;
- зростання швидкості руху;
- збільшення коефіцієнта використання довжини

Тягово-зчіпні властивості мають важливе значення при експлуатації мобільних засобів, так як від них в більшості залежить його середня швидкість руху та працездатність. При підвищених значеннях тягово-зчіпних властивостей збільшується середня швидкість, зменшується витрати часу на виконання робочого процесу, а також підвищується працездатність мобільного засобу.

Забезпечення реалізації тягово-зчіпних властивостей здійснює трансмісія мобільного засобу. Конструкція трансмісії мобільного засобу в значній мірі визначається кількістю його ведучих мостів.

¹¹ Кнорз В. И., Кленников Е. В. Шины и колеса. М. : Машиностроение, 1975. 184 с.

¹² Горбай О. З., Зінько Р. В. Керницький І. С. Просторові секційні модулі колісних транспортних засобів. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка» Серія: Динаміка, міцність та проектування машин і приладів.* 2017. № 866. С. 18–25.

Найбільшого розповсюдження отримали мобільні засоби з механічними трансмісіями, які мають два чи три моста¹³¹⁴¹⁵.

Вплив механізмів автомобіля на колесо відображається силою P і моментом M . Сила P прикладена до центру колеса т. О. Її можна розкласти на складові, спрямовані уздовж осей обраної системи координат, при цьому:

P_z – вертикальне (нормальне) навантаження на колесо.

P_x – поздовжня сила, паралельна поверхні дороги, яка рухає колесо. Її напрямок залежить від режиму кочення (або убік руху, або у протилежний бік).

M – момент, що підводиться до колеса від піввісі або гальмівного барабану (диска).

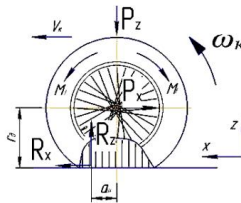


Рис. 1. Вплив механізмів автомобіля на колесо силою P і моментом M

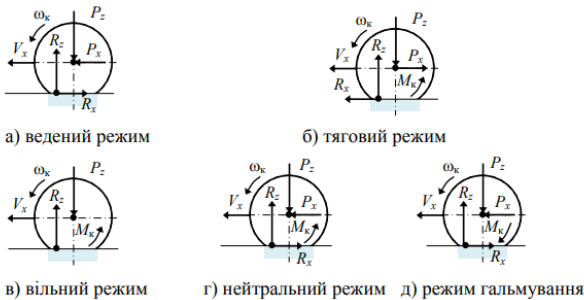


Рис. 2. Види режимів кочення колісного рушія

¹³ Lejda Kazimierz, Zinko Roman, Lozovyj Igor, Jaworski Artur. The research of functioning of dismembered transport vehicles. *Systemy i srodki transportu samochodowego. Seria: Transport*. 2013, Nr 4. P. 105–116.

¹⁴ Зінко Р. В., Крайник Л. В., Горбай О. З. Основи конструктивного синтезу та динаміка спеціальних автомобілів і технологічних машин : монографія. Львів : Вид-во Львівської політехніки, 2019. 256 с.

¹⁵ Кубіч В. І. Особливості конструкції всюдихідних комбінованих колісних рушіїв : навчальний посібник. Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», ISBN 978-617-529-251-8.2020. 195 с.

З рис. 2 видно, що нормальне навантаження колеса P_z , нормальна реакція дороги на колесо R_z і момент M діють у всіх розглянутих випадках і мають однакові напрямки. Змінюються лише поздовжня сила колеса P_x , поздовжня реакція дороги на колесо R_x і обертовий момент M_k . При коченні колеса неминучими є необоротні втрати в шинах, тому для руху автомобіля використовується не весь момент, підведений до ведучих коліс, а лише деяка його частина. Тож, режим кочення колеса залежить від співвідношень між силою P_x і обертаючим моментом M_k .

Залежність між між силою P_x і обертаючим моментом M_k відображено на рис. 3. Відрізок 1 графіка відповідає ведучому колесу, відрізок 2 – нейтральному, відрізок 3 – гальмуючому точка a відповідає веденому колесу, а точка b – вільному.

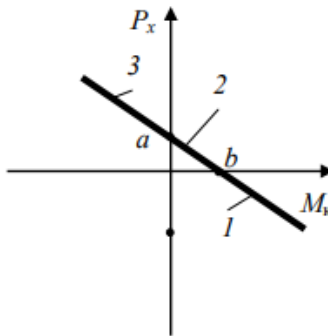


Рис. 3. Режими кочення колеса

Автор пропонує режим роботи автомобільного колеса в загальному випадку характеризувати безліччю параметрів: кутовою швидкістю обертання й швидкістю поступального руху центра колеса; силами й обертаючими моментами, що діють на колесо з боку різних механізмів автомобіля й опорної поверхні дороги. Співвідношення між цими параметрами значною мірою залежать від фізичних властивостей еластичної шини. Вплив сил і моментів на колесо приводять до деформації еластичної шини, і параметри колеса змінюються.

Здійснений теоретичний аналіз у межах теорії автомобіля віддзеркалив можливість з'ясування поведінки параметрів колеса автомобіля в складних умовах його роботи та способи їх експериментального дослідження.

Виникнення сили опору коченню колісного рушія військового автомобіля в складних умовах при русі обумовлено втратами енергії на внутрішню тертя в шинах та втатами на переїзд нерівностей рис.4,5 поверхневе тертя шин о дорогу й утворення колії (на деформованих дорогах) та динамічне навантаження ходової частини автомобіля. Під час кочення колеса між частинами шини внаслідок їх деформації виникає тертя, і теплота, яка виділяється, розсіюється, що призводить до втрати енергії. При коченні колеса деформації в передній частині шини збільшуються, а в задній – зменшуються. Втрати на тертя в шині необоротні, а енергія, затрачена на деформацію шини, не повертається повністю при наступному відновленні її форми.

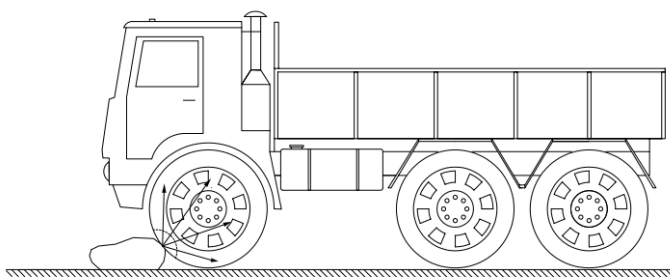


Рис. 4. Удар о перепону

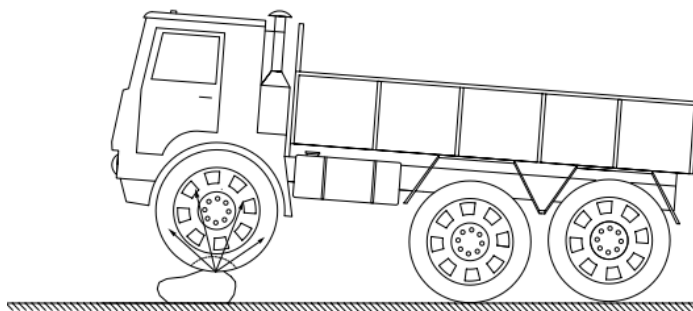


Рис. 5. Переїзд через перепону

Коефіцієнт опору коченню істотно впливає на втрати енергії при русі автомобіля. Він залежить від багатьох конструктивних і експлуатаційних факторів та визначається експериментально. Його середні значення для різних доріг при нормальному тиску повітря в шині становлять $0,01 \div 0,1$.

На коефіцієнт опору кочення чинять вплив багато різних факторів. Передусім швидкість руху.

При зміні швидкості руху в інтервалі 0÷50 км/год коефіцієнт опору коченню змінюється і тому його можна вважати постійним. При підвищенні швидкості руху коефіцієнт опору коченню істотно збільшується внаслідок зростання втрат енергії в шині на тертя. У цих умовах він може бути приблизно розрахований за формулою:

$$f = (115 + v) / 10000, \quad (1)$$

де v – швидкість руху автомобіля, км/год.

Автором проведено дослідження впливу на коефіцієнт опору кочення типу і стану покриття дороги – наявність каменів нерівностей (каменів) рис. 4,5, типу шини (малюнка протектора, його зношуваність, конструкції каркаса і якості матеріалу шини), глибини колії, що утворюється під час кочення, й стану ґрунту. Коефіцієнт опору коченню колеса, що характеризує тільки силові втрати пропонується автором описувати формулою:

$$f = a_{ш} / \Gamma_d, \quad (2)$$

де $a_{ш}$ – відстань, на яку зміщена точка прикладання сили реакції поверхні дороги відносно вертикальної осі колеса (через більшу деформацію шини в частині дороги, що набігає на колесо, аніж у тій, що збігає з дороги);

Γ_d – динамічний радіус колеса

Існує залежність коефіцієнта опору коченню від навантаження на колесо [1, с. 21]. Наприклад, при збільшенні вертикального навантаження на колесо на деформованих дорогах коефіцієнт опору коченню істотно зростає, а на дорогах із твердим покриттям – майже не змінюється.

Існує думка, що при передачі моменту через колесо коефіцієнт опору коченню зростає внаслідок втрат на прослизання шини в місці її контакту з дорогою. Для ведучих коліс значення коефіцієнта опору коченню на 10-15 % більше, ніж для ведених, але на думку авторів цієї статті істотно впливає на крутний момент, шлях на якому відбувається робочий процес кочення колісного рушія.

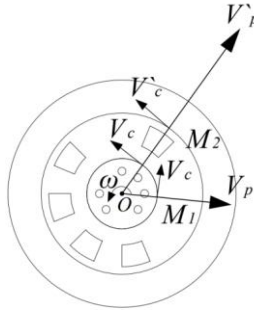


Рис. 6. Навантаження колісного рушія силовими факторами

Нами проведено перевірку досліджень автора думки що при збільшенні вертикального навантаження на колесо на деформованих дорогах коефіцієнт опору коченню істотно зростає, а на дорогах із твердим покриттям – майже не змінюється.

Автором зроблений висновок, що коефіцієнт опору коченню спричиняє суттєвий вплив на паливну економічність автомобіля і навіть незначне його зменшення забезпечує відчутну економію палива, конструктори і дослідники намагаються створити такі шини і пропонується розробити такі поверхні дороги, які б забезпечували мінімальне значення коефіцієнта опору коченню.

2. Вплив на коефіцієнт зчеплення колеса з дорогою шляхових умов

Безпека руху автомобіля в складних дорожніх умовах, особливо при їзді на бруківці (з'їздах з ухилом 80-100 %), значною мірою залежить від наїзду на перешкоду, нерівності дороги, що істотно впливає на зчеплення коліс з дорожнім покриттям. При низьких зчпних властивостях поверхні руху відбувається проковзування і удар з подальшим перекочуванням коліс на різних перешкодаї особливо на крутих підйомах, та на спусках, що приводить до втрати керування автомобіля і погіршується його стійкість, унаслідок чого знижується його ефективна продуктивність. Це підтверджується в роботі.

Автором велика увага приділяється сили зчеплення шин з дорогою Рзч при цьому істотний вплив на цю силу оказує коефіцієнт зчеплення з дорогою, який з цього висновку чисельно рівний відношенню сили, що викликає рівномірне ковзання колеса, до нормальної реакції дороги. При цьому цим автором залежно від напрямку ковзання колеса ним пропонується розрізняти коефіцієнти

подовжнього φ_x і поперечного φ_y зчеплення. Автор робить висновок, що ці коефіцієнти залежать від тих самих факторів, і можна вважати їх практично рівними ($\varphi_x = \varphi_y$). Згідно цього висновку рух колеса без подовжнього і поперечного проковзування необхідні умови

$$P_{зч} = \varphi R_z \geq \sqrt{R_x^2 + R_y^2}$$

Автором пропонується при наявності тільки повздовжніх сил користуватися формулою

$$P_{зч} = \varphi_x R_z \geq R_x$$

Коефіцієнт φ_x зазвичай набагато більше коефіцієнта f , тому умова кочення колеса без ковзання можна з невеликою похибкою представити у вигляді:

$$P_m \leq P_{зч} = \varphi_x R_z$$

В робиться висновок, якщо сила тяги менше сили зчеплення $R_{зч}$, вудче колесо котиться без пробуксовування. Якщо сила тяги більше сили зчеплення, привід пробуксовує і для руху використовується лише частина сили тяги, що дорівнює $\varphi_x R_z$. Інша частина сили тяги викликає прискорене обертання коліс, яке триває до тих пір, поки потужність, що витрачається на буксування, не врівноважує надлишок потужності, підведеної до коліс. Найбільш часто буксування спостерігається при різкому рушанні з місця автомобіля і під час подолання великого опору руху на слизьких дорогах. Але в цих висновках не існує думки, яке буде співвідношення сили зчеплення і сили тяги при переміщенні військового автомобіля по бруківці.

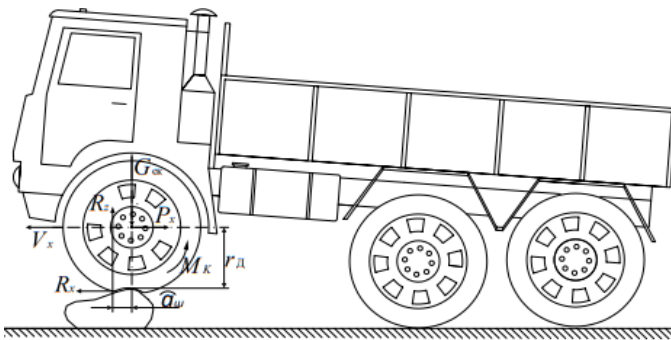


Рис. 7. Фізико-математична модель наїзду військового автомобіля на штучно – створену перешкоду

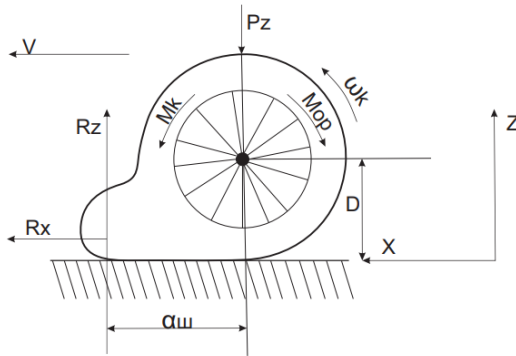


Рис. 8. Відокремлена від фізико-математичної моделі окремо колісний рушій при взаємодії з штучно- створеної перешкоди

На думку авторів розділу особливу думку необхідно вліпрацювати до поняття зчеплення шин з дорогою $P_{зч}$ особливо коли автомобіль рухається по бруківці тому що максимальне значення горизонтального реакції R_{max} , буде створюватися при зіткненні колісного рушія з нерівностями дороги, а тому ця сила буде пропорційна сумі вертикальному навантаженню на колеса пропорційне вертикальному навантаженню на колесо:

$$P_{зч} = R_{max} = \varphi(R_Z + R_d), \quad (6)$$

де φ – коефіцієнт зчеплення, чисельно рівний відношенню сили, що викликає рівномірне ковзання колеса, до суми нормальної і динамічної реакції дороги.

R_d – динамічна реакція, при зіткненні шини з перешкодою;

R_Z – вертикальна реакція шляху

Авторами розділу застосовано закон збереження енергії при зіткненні колісного рушія з перешкодою, кінетична енергія автомобіля буде перетворена в теплову завдяки деформації шини при наїзді її на перешкоду. Згідно цього нами запропонована використати таку формулу:

$$E_K = A = \frac{mv^2}{2} \varphi(R_Z + R_d)S_{дш} \quad (7)$$

де v – початкова швидкість наїзду автомобіля на перешкоду;

$S_{дш}$ – шлях деформації шини

$$P_{зч} = \varphi(R_z + R_d)S_{дш} \quad (8)$$

де Гек – вертикальне навантаження на колесо. Отже коефіцієнт зчеплення коліс з дорогою може бути розрахований:

$$\varphi_x = \frac{v^2}{2gS_{дш}} \quad (9)$$

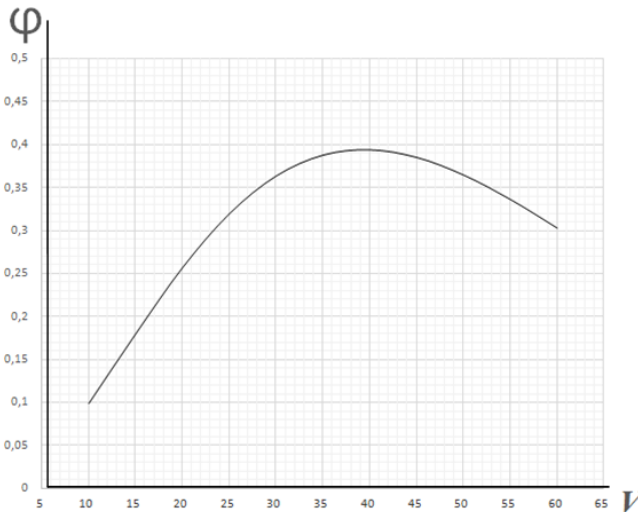
Результати досліджень

В таблиці 1 приведені розрахунок впливу деформованої частини шини на коефіцієнт зчеплення коліс з дорогою.

Таблиця 1

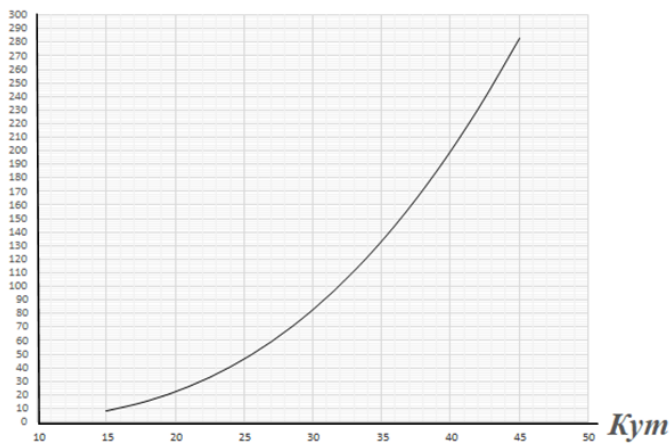
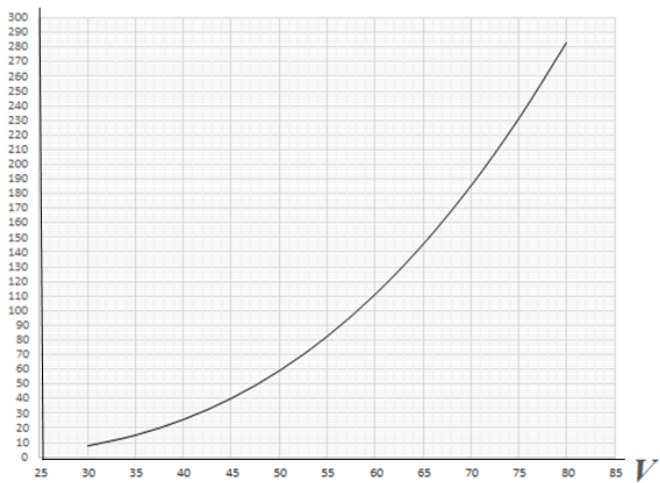
Розрахунок впливу деформованої частини шини на коефіцієнт зчеплення коліс з дорогою

v	φ	$S_{дш}$	$a_{ш}$	n
10	0,098318672	4	2	2
15	0,179517599	4,929144	2,1	2,15
20	0,256556972	6,131577	2,2	2,3
25	0,319405812	7,695435	2,3	2,45
30	0,363403643	9,739782	2,4	2,6
35	0,387701124	12,42611	2,5	2,75
40	0,39390661	15,97433	2,6	2,9
45	0,385000721	20,68519	2,7	3,05
50	0,364527506	26,97154	2,8	3,2
55	0,33603776	35,40245	2,9	3,35
60	0,302742996	46,76537	3	3,5





ν	a_c	ω	Кут
30	7,76457135	0,5	15
35	15,1418327	0,7	18
40	25,8024924	0,9	21
45	40,2669277	1,1	24
50	59,018765	1,3	27
55	82,5	1,5	30
60	111,106363	1,7	33
65	145,182957	1,9	36
70	185,020195	2,1	39
75	230,850059	2,3	42
80	282,842712	2,5	45

a_c  a_c 

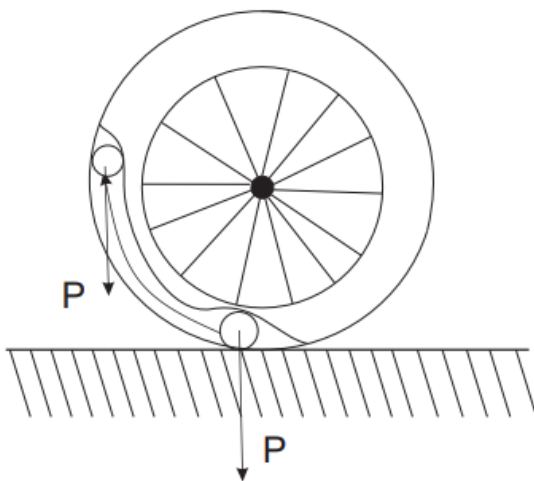
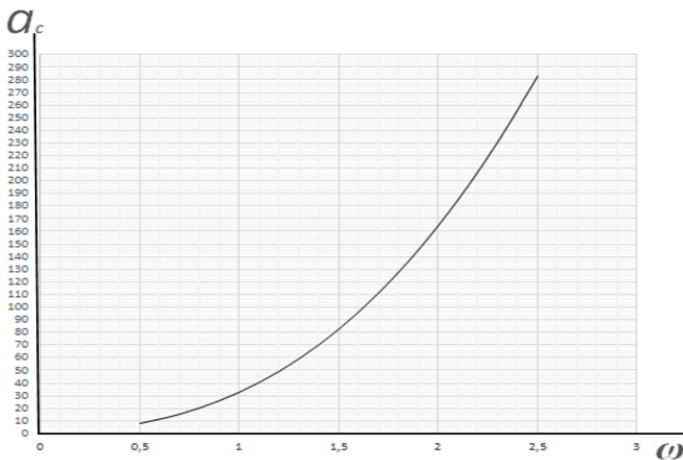


Рис. 9. Рух точки деформованої частини шини по дузі відновлювальної деформованої частини шини при наїзді на перепону

Авторами запропоновано для опису теоретичних перетворень стиснутої шини при наїзді на перепону використовувати поняття сили Коріоліса. Дія сили Коріоліса пов'язана з виникненням прискорення Коріоліса. Прискорення Коріоліса виникає тоді, коли

переносний рух є обертальним з кутовою швидкістю ω_e . З проведеного аналізу виникнення прискорення Кориоліса на деформованій частині шини при її зіткненні з перепорою, нами зроблено попередній висновок: прискорення Кориоліса на деформованій штині – це геометрична сума швидкості додаткової зміни відносної швидкості за рахунок переносного обертання і швидкості додаткової зміни переносної швидкості за рахунок відносного переміщення стиснутої та розтягнутої шини у системі координат, яка обертається. Точки деформованої частини шини рухаються (на нашу думку) рівномірно вздовж радіуса диска колеса, який рівномірно обертається навколо осі колеса, перпендикулярної до площини рисунка (рис. 9).

Згідно наших наближених теоретичних розробок відносна швидкість точок деформованої частини шини автомобільного колеса є швидкість руху цих точок вздовж радіуса диска колеса, а переносна швидкість точок деформованої частини шини автомобільного колеса виділеної точки, яка притиснута до диску колеса, в якій у даний момент часу перебуває виділена частина деформованої частини шини.

Припустимо що у момент часу t тіло перебуває в положенні M_1 , а в момент часу $t + \Delta t$ – у положенні M_2 . Автори розглядають, що випадок коли відносний рух деформованої частини шини автомобільного колеса є рівномірним і прямолінійним до зіткнення з перепорою, а тому відносно прискорення $a_r = 0$. Проте за час Δt відносна швидкість деформованої частини шини автомобільного колеса зміниться за напрямом від v_r до v'_r унаслідок обертання диска колісного рушія. За той самий проміжок часу Δt зміниться і модуль переносної швидкості від $v_e = \omega_e OM_1$ до $v_e = OM_2$, тому що деформована частина шини автомобільного колеса перемістилося з положення M_1 у положення M_2 . Такі зміни швидкостей v_r і v_e викликають появу прискорення Кориоліса. На рис. 7.

$$a_c = 2\omega_e v_r \sin \angle (\vec{\omega}_e, \vec{v}_r)$$

Як приклад розглянемо військовий автомобіль, який зустрівся з рухливою перепорою.

В процесі керування військовим автомобілем під час подолання перешкод водій має враховувати дорожні умови, які заважають руху машини (каміння, дерева, ями тощо) і ускладнюють керування транспортним засобом. Особливо це стосується випуклого каміння, яке при наїзді на нього колесом автомобіля може рухатись та створювати ковзання колеса в напрямку, протилежному руху машини.

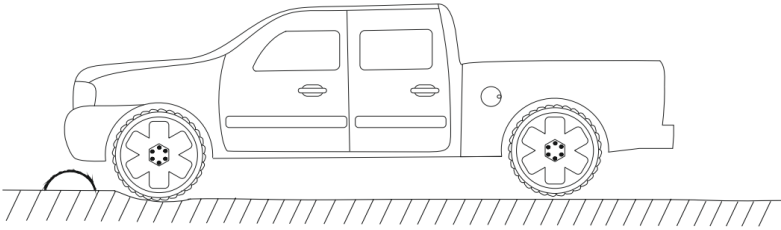


Рис. 10. Зустріч автомобіля з нестационарною перешкодою

При подоланні зазначеної перешкоди передніми колесами вона отримує від них поштовх з прискоренням a (рис. 2), а задній ведучий міст, у свою чергу, зустрічає таку рухливу перешкоду, (рис. 3), та перекочується через неї. При цьому, колесо, яке знаходиться у контакті з поверхнею рухливої випуклої перепони діють сили ваги mg , сила нормальної реакції опори N та переносна сила інерції.

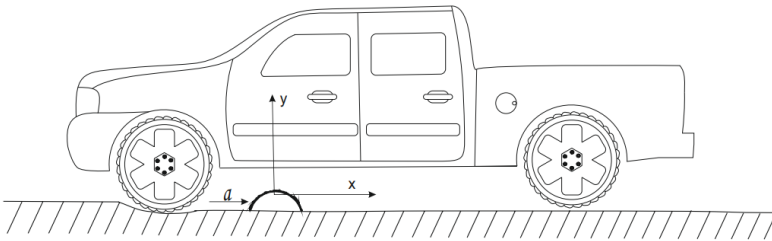


Рис. 11. Автомобільним колесом переднього мосту зроблено динамічний поштовх

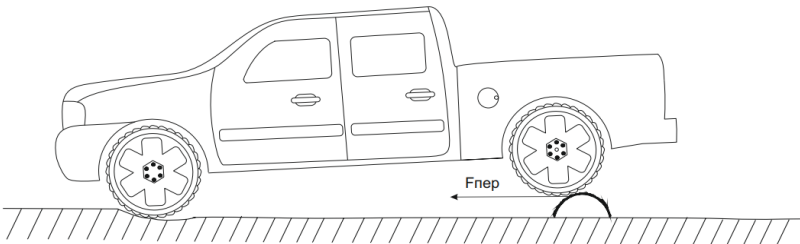


Рис. 12. Автомобільне колесо другого (ведучого) мосту зістрибує з рухливої перешкоди під дією переносної сили

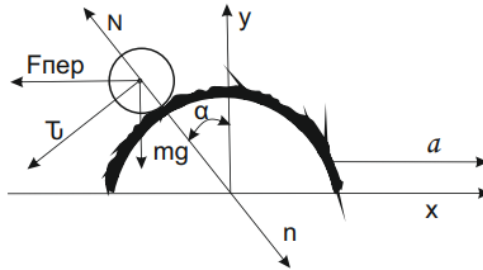


Рис. 13. Фізична модель взаємодії автомобільного колеса з рухливою перешкодою

$$F_{\text{пер}} = -ma, \quad (11)$$

де a – прискорення, з яким рухається перепона.

Для спрощення розрахунків силами тертя та опору повітря нехтуємо. Рухливу перепону приймаємо як абсолютно тверде тіло, а колесо, що переміщується по його поверхні юзом, матеріальною точкою. (рис. 1-3) зведемо до фізико-математичної моделі, (рис.4).

Рівняння руху автомобільного колеса відносно системи відліку в проекціях на нормальну та тангенціальну до траєкторії осі будуть мати вигляд

$$\frac{mv^2}{R} = mg \cos \alpha - N - ma \sin \alpha \quad (12)$$

$$m\dot{v} = mg \sin \alpha + ma \cos \alpha \quad (13)$$

де, U – швидкість переміщення автомобільного колеса відносно рухливої перепони;

α – кут, який задає положення тіла на поверхні рухливої опори у будь який момент часу до його відриву від рухливої опори.

В момент відриву сила нормальної реакції, яка діє на автомобільне колесо зі сторони рухливої опори, обертається в нуль:

$$N = 0$$

Для виявлення подальшої поведінки автомобіля при переїзді їм рухливої перепони використаємо закон змінення механічної енергії. Будемо приймати, що змінення механічної енергії автомобіля в інтервалі часу від початку наїзду на рухливу перепону до моменту відриву колеса від поверхні рухливої перепони дорівнює роботі сили інерції в цьому інтервалі

$$\frac{mv_0^2}{2} - mg(1 - \cos\alpha_0) = \int_0^{\alpha_0} ma \cdot \cos \cdot R d\alpha \quad (14)$$

де, U_0 , α_0 – швидкість та кут у момент відриву колеса автомобіля від поверхні рухливої перешкоди.

В рівнянні (12) обидві частини поділимо на m і поділимо на R і отримуємо рівняння зміни квадрату швидкості

$$v_0^2 = R(g \cos\alpha_0 - a \sin\alpha_0) \quad (15)$$

Обидві частини рівняння (14) поділимо на m та помножимо на R і отримуємо рівняння

$$v_0^2 = 2R(g(1 - \cos\alpha_0) + a \sin\alpha_0) \quad (16)$$

З метою отримання рівняння додаткової швидкості, яку отримує колесо автомобіля відносно рухливої перешкоди в момент відриву його від неї складемо рівняння (15) та (16) і отримуємо рівняння (18) яке дозволяє визначити швидкість руху автомобіля відносно рухливої опори у момент відриву від неї:

$$\frac{3}{2}v_0^2 - R \cdot g = 0 \quad (17)$$

тоді

$$v_0^2 = Rg \text{ чи} \\ V_0 = \sqrt{\frac{2}{3}gR} \quad (18)$$

ВИСНОВКИ

1. При розгляді статті теоретичні можливості подолання військовим автомобілем штучно створених перешкод було встановлено рівняння швидкості руху автомобіля в момент відриву його від неї.

2. Вперше було виявлено вплив рухливої перешкоди на отримання автомобілем додаткової швидкості відносно цієї рухливої перешкоди.

3. Додаткова швидкість є неузгодженим параметром зі швидкістю, яку створює автомобілю його трансмісія, а тому наслідки при переїзді автомобільним колесом рухливої перешкоди будуть не передбачені.

4. Вперше, теоретично було показано рух стиснутої частини шини в напрямку кочення клісного рушія та теоретично обґрунтовано вплив стиснутої частини шини на коефіцієнт щеплення з опорною поверхнею.

АНОТАЦІЯ

Робочий процес автомобіля супроводжується навантаженням колісного рушія гравітаційною силою, що приводить до стискання та розтягування шини при її деформації, а також наїзді на різноманітні перешкоди та переїзджання через них. В статті розглянуті питання дослідження механічної системи «автомобіль» з застосуванням теореми про зміну кінетичної енергії цієї системи, загального рівняння динаміки.

Метою дослідження є удосконалення технологічної схеми навантаження колісного рушія при переїзді ним рухливої опори, перетворення енергії підведеної до колісного рушія в керований відносно перешкоди рух зі складанням тягового зусилля автомобіля з переносною силою, яка є допоміжним фактором до інноваційної технології його переміщення.

Науковий та практичний напрям роботи полягає в тому, що вперше розглянута технологія в якій при обертанні колісного рушія по рухливій перешкоді застосовано закон зміни механічної енергії, а це дозволяє більш доцільно підійти до розгляду реалізації крутного моменту на колісному рушії.

Методологією дослідження являлося встановити математичний зв'язок між швидкістю сходження автомобільного колеса з рухливої перепони та параметром самої перепони, яку створює, а також з динамічною рухливістю безпосередньо автомобіля.

Результатом дослідження є розробка елементів теорії подолання рухливої перешкоди яка працює при «фізичному дискомфорті опорної поверхні». При розкритті поняття «фізичний дискомфорт опорної поверхні» були використані диференційні рівняння, які математично підтверджують подолання такої перешкоди та такої опорної поверхні в певних умовах експлуатації автомобіля.

Цінність проведеного дослідження, результати проведеної роботи дозволять зробити внесок в галузь автомобільного виробництва.

Запропонована модель автомобіля придатна для використання з метою підвищення можливостей подолання перешкод транспортними засобами.

ЛІТЕРАТУРА

1. Вікович І. А., Черевко Ю. М., Зінько Р. В. Зниження динамічних навантажень у вантажних колісних машинах із пружно-демпфувальним зчленуванням : монографія. Львів : Галицька Видавнича Спілка, 2018. 166 с.

2. Krainyk Taras, Gorbaj Orest, Zinko Roman, Shchokin Myhajlo. Concept and construction of special wheeled chassis. *Systemy i srodki transportu samochodowego. Seria: Transport*. 2019, Nr 13. P. 9–15.

3. Кнорз В. И., Кленников Е. В. Шины и колеса. М. : Машиностроение, 1975. 184с

4. Горбай О. З., Зінько Р. В. Керницький І. С. Просторові секційні модулі колісних транспортних засобів. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка» Серія: Динаміка, міцність та проектування машин і приладів*. 2017. № 866. С. 18–25.

5. Lejda Kazimierz, Zinko Roman, Lozovyj Igor, Jaworski Artur. The research of functioning of dismembered transport vehicles. *Systemy i srodki transportu samochodowego. Seria: Transport*. 2013, Nr 4. P. 105–116.

6. Зінько Р. В., Крайник Л. В., Горбай О. З. Основи конструктивного синтезу та динаміка спеціальних автомобілів і технологічних машин : монографія. Львів : Вид-во Львівської політехніки, 2019. 256 с.

7. Кубіч В. І. Особливості конструкції всюдихідних комбінованих колісних рушіїв : навчальний посібник. Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», ISBN 978-617-529-251-8.2020. 195 с.

Information about the authors:

Petrov Leonid Mykolayovych,

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Lecturer at the Department of Automotive Engineering

Odesa Military Academy

10, Fontanska doroha str., Odesa, Ukraine

Petryk Yuriy Mykolayovych,

Senior Lecturer at the Department of Automotive Engineering

Odesa Military Academy

10, Fontanska doroha str., Odesa, Ukraine

Kishianus Ihor Volodymyrovych,

Senior Lecturer at the Department of Automotive Engineering

Odesa Military Academy

10, Fontanska doroha str., Odesa, Ukraine