

Бохонко А. В.

*Національний університет «Львівська політехніка», Львів, Україна***АНАЛІЗ ПРОХІДНОСТІ АВТОМОБІЛЯ З АЕРОКОМПЕНСАТОРОМ**

Прохідністю повинні володіти автомобілі всіх типів, оскільки для будь-якого автомобіля може виникнути необхідність з'їзду з впорядкованої дороги, проїзду ділянок доріг, що знаходяться в несправному стані, рух по ґрунтових об'їздах ремонтваних або будованих ділянках доріг і мостів, рух в зимовий час по нерівних, засніжених дорогах.

Для автомобілів, які систематично працюють в важких дорожніх умовах, прохідність має першорядне значення. До них в першу чергу відносяться військові вантажні автомобілі середньої і малої вантажопідйомності, невеликі автобуси, легкові автомобілі і інші, що використовуються в сільській місцевості або лісових районах, а також автомобілі-самоскиди, що використовуються на будівництвах великих гідротехнічних споруд, на дорожньому і інших будівництвах. Від прохідності цих автомобілів у великій мірі залежать середні швидкості руху, їх продуктивність і збереження механізмів.

В статті проаналізовано залежності опору кочення колеса від основних параметрів колеса і ґрунта. Побудовано графічні залежності глибини колії, сили і коефіцієнта опору рухові від величини ущільнення і його вологості для м'яких ґрунтів. Проведено класифікацію перешкод і аналіз прохідності автомобілів з врахуванням їх профільних властивостей. Визначено основні оціночні показники прохідності. На основі аналізу чинників, що покращують прохідність встановлено, що прохідність автомобілів в умовах бездоріжжя можна покращити, зменшивши вертикальне навантаження на опорну поверхню. Реалізувати це можна поєднавши колісний рушій і аерокомпенсатор (повітряний вентилятор направленої дії). На основі проведених попередніх розрахунків встановлено, що різниця між навантаженням коліс автомобіля без аерокомпенсатора і з його використанням складає 10-15%.

Ключові слова: прохідність автомобіля, опір кочення колеса, вертикальне навантаження автомобіля, аерокомпенсатор вертикального навантаження колеса, класифікація перешкод.

ВСТУП

Прохідністю автомобіля називається його пристосованість до здійснення перевезень в скрутних дорожніх умовах по дорогах, що не мають твердого покриття або що є важко прохідними, а також без доріг.

Прохідністю повинні володіти автомобілі всіх типів, оскільки для будь-якого автомобіля може виникнути необхідність з'їзду з впорядкованої дороги, проїзду ділянок доріг, що знаходяться в несправному стані, рух по ґрунтових об'їздах ремонтваних або будованих ділянках доріг і мостів, рух в зимовий час по нерівних, засніжених дорогах.

Проте ступінь прохідності потрібна різна для автомобілів різних типів залежно від дорожніх умов, для роботи в яких вони призначені. Наприклад, маршрутні автобуси великої місткості, легкові автомобілі вищого класу і інші типи автомобілів, що призначаються для використання в великих містах або на автомобільних магістралях, працюють майже виключно в добрих дорожніх умовах. Тому вимоги до їх прохідності можуть бути мінімальними.

Для автомобілів, які систематично працюють в скрутних дорожніх умовах, прохідність має першорядне значення [1]. До них в першу чергу відносяться військові вантажні автомобілі середньої і малої вантажопідйомності, невеликі автобуси, легкові автомобілі і інші, що використовуються в сільській місцевості або лісових районах, а також автомобілі-самоскиди, що використовуються на будівництвах великих гідротехнічних споруд, на дорожньому і інших будівництвах. Від прохідності цих автомобілів у великій мірі залежать середні швидкості руху, їх продуктивність і збереження механізмів.

Деякі різновиди автомобільних перевезень неминуче повинні здійснюватися по бездоріжжю або в особливо важких дорожніх умовах. До таких перевезень відносяться, наприклад, вивіз з полів урожаю картоплі, буряка і інших культур в осінньо-зимовий період, вивіз на поля добрив, обслуговування геологорозвідувальних робіт, прокладка газопроводів і ліній електропередач і інші перевезення. Для автомобілів, що використовуються в таких випадках прохідність є основною експлуатаційною якістю.

Оцінити прохідність можна використовуючи констуктивні, профільні характеристики автомобіля та доріг, по яких він призначений рухатися. Основним критерієм визначення його прохідності повинна служити можливість ним подолання різноманітних перешкод [2]. За вихідні

парметри для розрахунків бралися парметри військових автомобілів оскільки прохідність для них – одна з найважливіших властивостей.

ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою статті є аналіз залежності опору кочення колеса від основних параметрів колеса і ґрунта, побудова графічних залежностей глибини колії, сили і коефіцієнта опору рухові від величини ущільнення і його вологості для м'яких ґрунтів. Провести класифікацію перешкод і аналіз прохідності автомобілів з врахуванням їх профільних властивостей і визначити основні оціночні показники прохідності. Запропонувати спосіб покращення прохідності автомобіля і обґрунтувати його ефективність.

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Опрацювання експериментальних даних дає можливість установити залежність опору кочення колеса від основних параметрів колеса і ґрунта. Прикладом такої залежності для визначення P_f може слугувати формула А. Е. Омелянова [3]:

$$P_f = C_1 \sqrt[3]{\frac{G_k^4}{p_0 D^2}} + C_2 G_k \sqrt[3]{\frac{p_0}{CD}}, \quad (1)$$

де C_1 і C_2 – досвідчені коефіцієнти, що залежать від конструкції і матеріалу шини; середні значення їх: $C_1 = 0,065$; $C_2 = 0,425$;

G_k – навантаження на колесо, 10 Н;

p_0 – тиск повітря в шинах, 10^5 Па;

D – зовнішній діаметр колеса, 10^{-3} м;

C – коефіцієнт несучої спроможності ґрунту.

Перший доданок у цій формулі являє собою опір коченню в результаті деформації колеса, а другий – у результаті деформації ґрунту під колесом що деформується. На щільних ґрунтах другий доданок значно менше першого, і ним можна зневажити. На м'яких ґрунтах при високому тиску повітря в шинах основну роль буде відігравати другий доданок.

При коченні колеса по твердому ґрунті розмір може складати:

- для шин високого тиску ($p_0 = 0,35 \div 0,55$ МПа) - $(1,20 \div 1,45) p_0$;

- для шин низького тиску ($p_0 = 0,15 \div 0,2$ МПа) - $(1,10 \div 1,25) p_0$;

- для шин із наднизького тиску ($p_0 = 0,05 \div 0,2$ МПа) - $(1,05 \div 1,10) p_0$.

Рух по нещільних зв'язкових ґрунтах (ґрунтова цілина, оранка) супроводжується утворенням колії. Виходячи зі степеневі залежності [4] між навантаженням на ґрунт і його деформацію для жорсткого колеса глибина колії може бути визначена по формулі

$$h = \sqrt[\mu+1]{\frac{G_k}{Cb \left(1 - \frac{\mu}{3}\right) \sqrt{D}}} \quad (2)$$

де: h – глибина колії;

G – навантаження на колесо;

C і μ – коефіцієнти, що характеризують ґрунт;

b – ширина колеса;

D – діаметр колеса.

Сила опору кочення для цих же умов визначається по формулі [5]

$$P_f = Cb \frac{h^{\mu+1}}{\mu+1}. \quad (3)$$

Тоді коефіцієнт опору коченню жорсткого колеса по ґрунту, що деформується

$$f = \frac{P_f}{G_k} = \frac{1}{(\mu + 1)(1 - \frac{\mu}{3})} \sqrt{\frac{h}{D}} \quad (4)$$

Можливість подолання м'яких ґрунтів визначається не тільки розміром опору коченню, але і зчепленням головних коліс із ґрунтом, достатнім для подолання цього опору.

При коченні колеса, навантаженого вертикальною силою G_k і тангенціальною силою T_k по деформуючому ґрунті, відбувається вдавнення шини в ґрунт і зрушення ґрунту по площинах, обумовлених відстанями ab між сусідніми виступами протектора шини (рисунок 1) і довжиною виступу bd . Опір ґрунту зрушення відповідно до формули (5) у даному випадку буде дорівнювати [6]

$$T = cF + fBQ^* \quad (5)$$

де F – сумарна площа зрушення ґрунту під колесом.

Q^* – вертикальне навантаження.

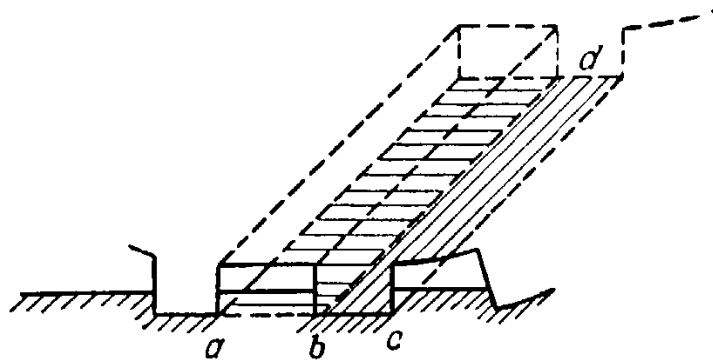


Рисунок 1 – Зачеплення протектора колеса з ґрунтом.

При коченні пневматичного колеса по м'якому ґрунті утворення колії носить більш складний характер, тому що колесо в цьому випадку теж деформується. У результаті деформації пневматичної шини контакт колеса з ґрунтом відбувається по поверхні, що описується в площині колеса радіусом більшим, ніж радіус недеформованного колеса. На цій підставі запропоновано розглядати кочення пневматичного колеса по ґрунту як кочення жорсткого колеса, але декілька більшого діаметра (рис. 4.11). Діаметр D_1 жорсткого колеса, що утворить таку ж колію h , як і пневматичне колесо діаметром D , можна визначити приблизно по формулі [7]

$$D_1 = D(1 + \frac{i}{h}), \quad (6)$$

Тоді коефіцієнт опору ґрунту кочення $f_{ПН}$ пневматичного колеса буде дорівнювати

$$f_{ПН} = \frac{h_{жс} - i}{h_{жс}(\mu + 1)(1 - \frac{\mu}{3})} \sqrt{\frac{h_{жс}}{D}} \quad (7)$$

де $h_{жс}$ – глибина колії, що утворилася б при проході жорсткого колеса діаметром D ;

i – радіальна деформація шини.

Перший множник у цій формулі являє собою опір коченню в результаті деформації колеса, а другий – у результаті деформації ґрунту під колесом що деформується. На щільних ґрунтах другий доданок значно менше першого, і ним можна зневажити. На м'яких ґрунтах при високому тиску повітря в шинах основну роль буде відігравати другий доданок.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Прохідність є одним із основних експлуатаційно-технічних якостей автомобіля, що визначає можливість ефективного використання автомобіля у важких дорожніх умовах. Цією якістю повинні володіти автомобілі всіх типів, але у залежності від їхнього призначення - у різному ступені. У зв'язку з цим, саме поняття прохідності для автомобілів кожного типу має своє специфічне значення. Так, наприклад, прохідність народногосподарських автомобілів зв'язують із продуктивністю їх і вартістю одиниці транспортної роботи у важких дорожніх умовах. Для військових автомобілів прохідність набуває особливо важливе значення, тому що від цієї якості бойових і транспортних автомобілів багато в чому залежить успіх забезпечення бойових дій військ у сучасній війні.

Під прохідністю військового автомобіля варто розуміти спроможність його рухатися по поганих дорогах і поза дорогами, долаючи на шляху природні і штучні перешкоди без допоміжних засобів. У залежності від призначення військові автомобілі мають різну прохідність. За цією ознакою вони діляться на автомобілі звичайної, підвищеної і високої прохідності.

Автомобілі звичайної прохідності призначаються для руху по шосейних і ґрунтових дорогах. До них відносяться народногосподарські автомобілі загальнотранспортного призначення з колісною формулою 4X2, із звичайними тороїдними шинами, із диференціалом, що не блокується.

До автомобілів підвищеної прохідності відносяться військові автомобілі з колісною формулою 4X4, 6X4, 6X6 і т.д., із широкопрофільними шинами, із шинами регульованого тиску повітря, із частково або повністю блокуючими диференціалами. Ці автомобілі призначені для роботи і на дорогах, і на місцевості поза дорогами.

Автомобілями високої прохідності є повнопривідні автомобілі із шинами низького тиску, із арочними шинами або пневмокотками. Ці автомобілі можуть мати спеціальне компонування, доповнюючі пристрої, що підвищують прохідність (наприклад, додаткові ковзанки для подолання ровів).

Автомобілі високої прохідності можуть бути плаваючими, працювати в особливо важких умовах.

Перешкоди, які здатні викликати втрату прохідності, можуть бути дуже різними, і кожна з перешкод по-своєму впливає на автомобіль. У залежності від цього всі перешкоди можна розбити на три групи (рисунк 2):

- перешкоди, що створюють великий опір руху і вимагають на подолання їх силу тяги, яка близька до сили тяги по зчепленню; до них відносяться розбиті дороги, м'які ґрунти (болото, сипучі піски, пухкий сніг), круті підйоми, граничні перешкоди, броди;
- перешкоди, здатні викликати перекидання автомобіля: рови, косогори, круті спуски, слизькі дороги;
- перешкоди, здатні викликати затоплення автомобіля; до них відносяться водяні перешкоди (відкриті і замерзлі), багнисте болото.

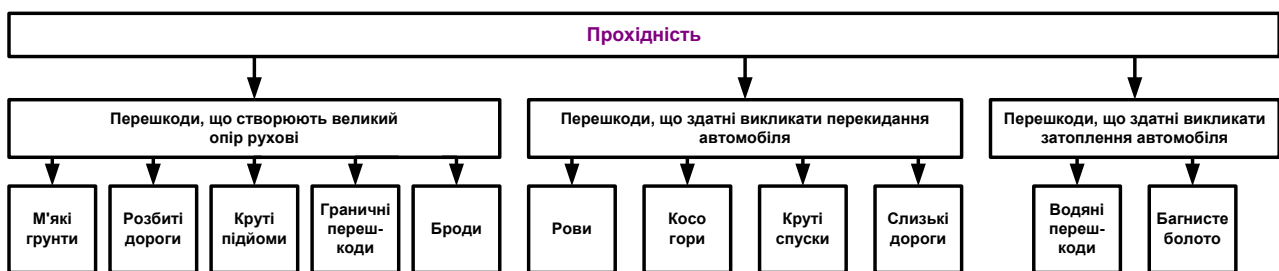


Рисунок 2 – Класифікація перешкод

Перешкоди, які здатні викликати втрату прохідності, дуже різноманітні, і кожна з них має свою характеристику (коефіцієнт опору коченню, кут підйому, ширину, висоту і т.п.).

Прохідність автомобіля оцінюється сукупністю всіх параметрів. У ряді випадків прохідність автомобіля може бути оцінена лише у порівнянні відносно інших машин, що працюють у рівних дорожньо-кліматичних умовах.

Прохідність автомобіля оцінюється за ряд поодиноких параметрів і за узагальненими параметрами (рисунк 3). До параметрів, що визначають можливості автомобіля долати перешкоди того чи іншого виду, відносяться: коефіцієнт вільної тяги K_t ; максимальний кут підйому; максимальна висота порога H_1 ; максимальна ширина рову l_p , максимальна глибина сніжного покриву H ; максимальна глибина броду K_d .

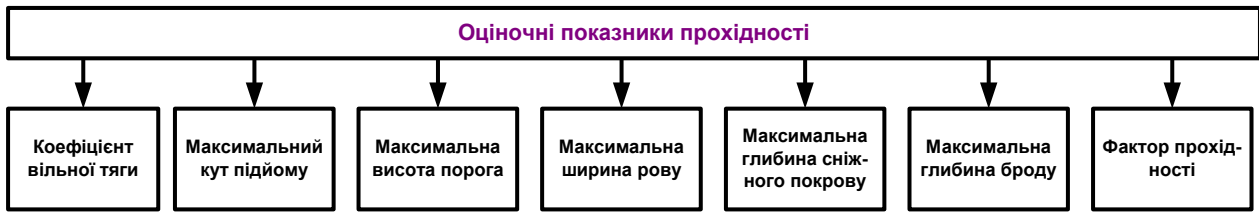


Рисунок 3 – Оціночні показники прохідності

Коефіцієнт вільної тяги K_t являє собою відношення максимальної сили тяги, яка може бути використана на гаку в даних дорожніх умовах до початку буксування чи заглохання двигуна, до повної ваги автомобіля [8]:

$$K_t = P_{kr} / G \quad (8)$$

Так, як за зчепленням: $P_{kr} = P_{\phi} - \psi G = \phi G_{\phi} - \psi G$, а відношення $G_{\phi} / G = K_{\phi}$ – коефіцієнт загальної ваги, то коефіцієнт вільної тяги за зчепленням можна визначити за формулою: $K_t = \phi K_{\phi} - \psi$.

Коефіцієнт вільної тяги за двигуном знайдемо з виразу (8) якщо візьмемо $P_{kr} = P_d - G$.

Тоді $K_{td} = \phi_d - \psi$,

де $\phi_d = P_d / G$ – питома сила тяги за двигуном.

Коефіцієнт вільної тяги K_t оцінює в основному прохідність автомобілів через перешкоди, потребуючи для їх подолання підвищеної сили тяги. Він залежить як від конструктивних параметрів автомобіля K_{ϕ} та ϕ_d так і від дорожніх умов (ϕ , $\psi = f \cos \alpha + \sin \alpha$), у яких він рухається.

Всі перераховані параметри, взяті разом, достатньо повно оцінюють прохідність автомобіля з точки зору можливості руху. Але вони не дозволяють оцінити прохідність автомобіля з врахуванням ефективності його використання у складних умовах руху. Для цієї мети запропоновані узагальнені параметри прохідності, які виявляються у результаті порівняльних випробовувань на важкопрохідному маршруті (включаючи типові перешкоди) та на шосе.

До узагальнюючих параметрів відносяться, наприклад, фактор прохідності Π , який визначається за формулою [9]:

$$\Pi = \frac{G_m L_m}{t_m g_m} \div \frac{G_{ш} L_{ш}}{t_{ш} g_{ш}} \quad (9)$$

де: G_g – корисне навантаження;

L – довжина випробувальної ділянки;

t – час руху;

g – витрата палива.

Індекс «м» відноситься до важкопрохідного маршруту, індекс «ш» до шосе.

Фактор прохідності Π показує, на скільки знижується середня швидкість, корисне навантаження та економічність автомобіля при переході з шосе на важкопрохідний маршрут. Це дає змогу оцінити прохідність народногосподарських автомобілів. Для військових автомобілів ця оцінка неприйнятна. Якщо військовий автомобіль перевозить вантаж штатної ваги чи буксирує причіп, то він мусить виконати цю задачу, рухаючись по шосе і по важкопрохідному маршруту. В цих умовах кращу прохідність буде мати той автомобіль, який виконає задачу швидше.

Звичайно, що автомобілі, які порівнюються, повинні випробовуватись на одному і тому ж маршруті при інших рівних умовах (технічний стан, погода, класифікація водіїв тощо).

На параметри оцінки прохідності, по яких порівнюють різні автомобілі і які записуються у техніко-технічну характеристику автомобіля, впливають різні фактори, які характеризують як автомобіль (рисунок 4), так і ґрунт: тягово-динамічні; геометричні; конструктивні.

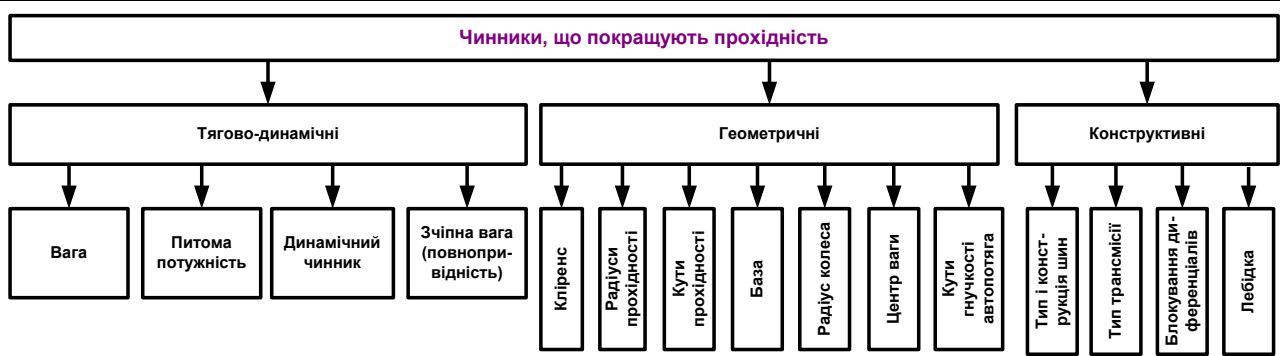
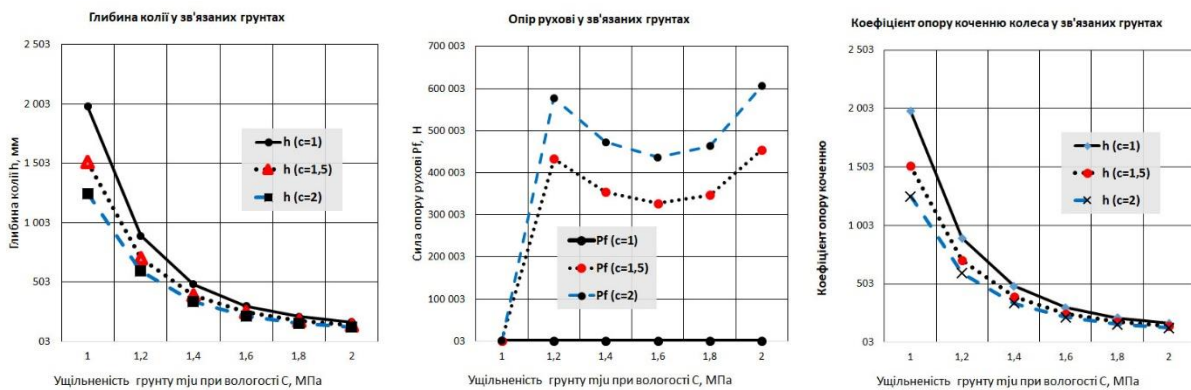


Рисунок 4 – Чинники, що покращують прохідність

На рисунку 5 можна побачити залежності глибини колії, сили і коефіцієнта опору рухові від величини ущільнення і його вологості для м'яких ґрунтів розраховані за формулами (2), (3), (7).



а) б) в)

Рисунок 5 – Залежності глибини колії, сили і коефіцієнта опору рухові від величини ущільнення і його вологості для м'яких ґрунтів

Пропонується частково зменшувати вертикальне навантаження автомобіля. Такий підхід дозволить підвищити прохідність транспортного засобу, забезпечивши при цьому його енергоощадливі характеристики та економічну доцільність і створити автомобіль з економічно ефективним життєвим циклом особливо в перебігу експлуатації, тобто зробити машину для щоденного використання в широкому діапазоні застосування (рисунк 6). Реалізувати це можна поєднавши колісний рушій і аерокомпенсатор (повітряний вентилятор направленої дії).

Якщо м'який перезволожений ґрунт покритий шаром більш міцного ґрунту, то можливість подолання такого ґрунту буде визначатися в основному тривкістю верхнього шару. Це відноситься в першу чергу до заболочених ділянок місцевості і болотам. Подолання заболочених ділянок визначається щільністю поверхневого торф'яного шару. Прохідність таких ділянок підвищується зниженням тиску повітря в шинах. Підтвердженням цьому може служити такий приклад [4]: число проходів автомобіля КрАЗ-5322 по одному сліду на заболоченій місцевості при зниженні тиску з 0,3 до 0,08 МПа збільшувалося в два-три рази. Припустимий тиск для подолання боліт із різною щільністю торфу приведене в таблиці.

Таблиця. Несуча здатність торфу

Стан ґрунту	Допустимий тиск, МПа
Дуже ущільнений (слабо зволожений)	0,10
Ущільнений (середньозволожений)	0,075
Рихлий (зволожений)	0,055
Дуже рихлий (сильно зволожений)	0,025
Текучий (рідкий)	0,012

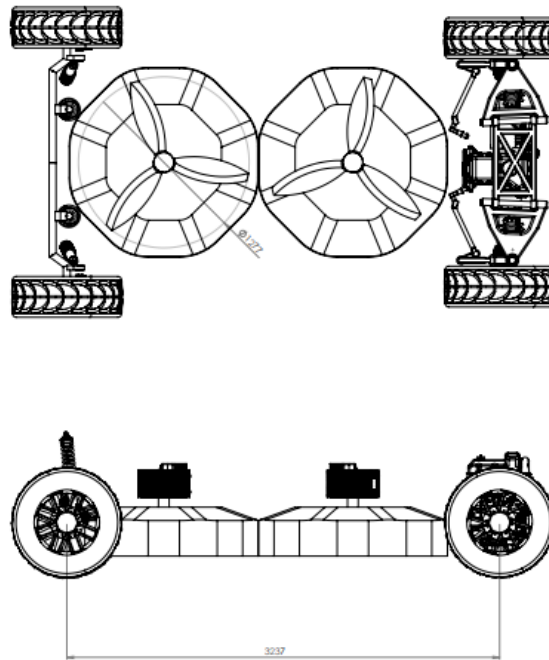


Рисунок 6 – Компонування основних елементів автомобіля з аерокомпенсатором

На рисунку 7 можна побачити зменшення навантаження на ґрунт при використанні і аерокомпенсатора. Попередні дослідження показали, що різниця між навантаженням коліс автомобіля без аерокомпенсатора і з його використанням складає 10-15%.

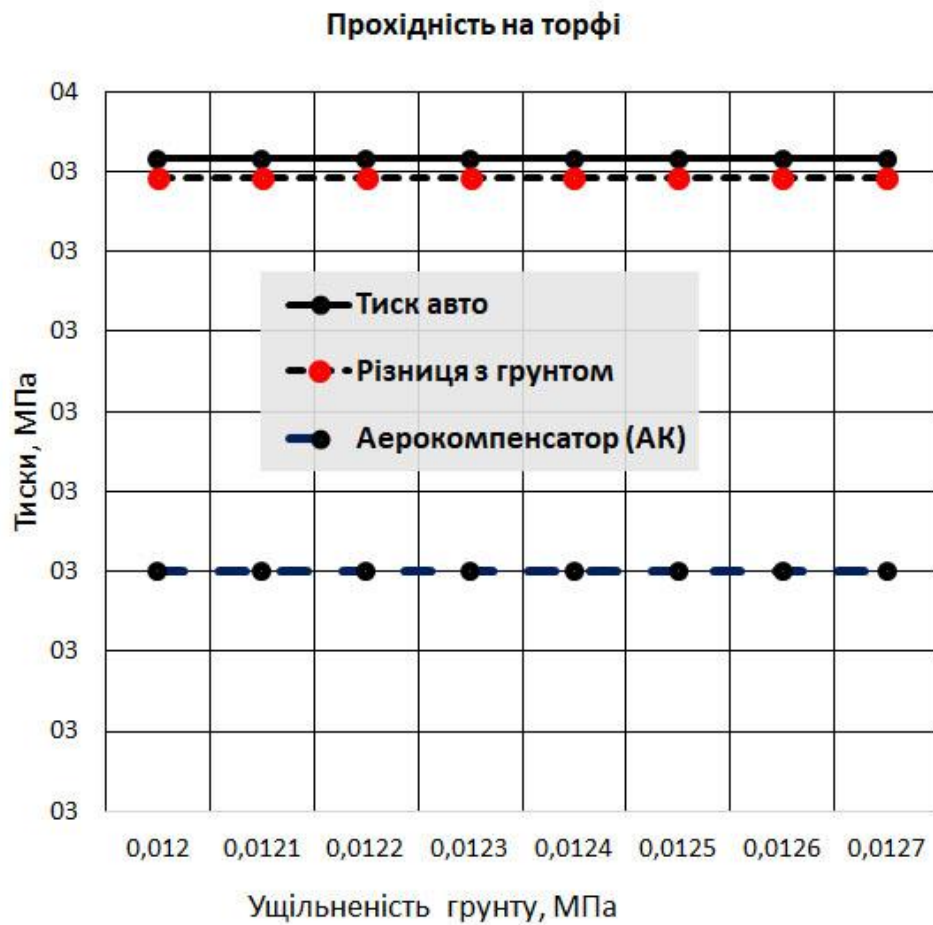


Рисунок 7 – Прохідність автомобля з аерокомпенсатором на торфі

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

При русі автомобіля по м'якому ґрунті в результаті взаємодії пневматичних коліс із ґрунтом, що деформується утвориться колія, унаслідок чого збільшується опір кочення. Тому що м'який ґрунт має низькі зчіпні якості, то необхідна для руху сила тяги може досягти граничного значення по зчепленню. Буксування головних коліс, що почалося в цьому випадку, приведе до інтенсивного збільшення колії, росту лобового опору коліс і втраті прохідності.

Утворення колії і зчеплення коліс із ґрунтом залежать не тільки від параметрів автомобіля, але і від властивостей ґрунту. Колія утвориться в результаті ущільнення ґрунту і зрушення ґрунту в сторони, а розмір цих деформацій, їхній характер (пружна або пластична) визначаються гранулометричним складом ґрунту (розміром його твердих часток), його щільністю, вологістю, глибиною залягання і т.п.

Опір кочення і зчеплення коліс із ґрунтом залежать від площі контакту шини з опорною поверхнею дороги (залежить зокрема від вертикального навантаження), питомого тиску в зоні контакту, радіальної і тангенціальної деформації шини, зчіпних якостей протектора і т.д. Всі ці параметри в кінцевому рахунку визначаються такими конструктивними характеристиками шин, як розміри і форма поперечного перетину шини, конфігурація і розміри малюнка протектора.

Автомобілі з частковим розвантаженням ваги за допомогою повітряної подушки (аерокомпенсатора) використовують технології, які дозволяють зменшити навантаження на колеса і, відповідно, покращити характеристики транспортного засобу. Такі автомобілі є альтернативним варіантом підвищення прохідності транспортних засобів в умовах бездоріжжя. Основні переваги автомобілів з аерокомпенсатором: зменшення навантаження на підвіску, покращення комфорту під час їзди, підвищення стабільності, покращена керованість, зниження витрат на паливо, зменшення зносу шин, гнучкість у перевезенні вантажів, збільшення корисного навантаження, покращення безпеки, зменшення негативного екологічного впливу.

ВИСНОВКИ

Для автомобілів, які систематично працюють в важких дорожніх умовах, прохідність має першорядне значення. До них в першу чергу відносяться військові вантажні автомобілі середньої і малої вантажопідйомності, невеликі автобуси, легкові автомобілі і інші, що використовуються в сільській місцевості або лісових районах, а також автомобілі-самоскиди, що використовуються на будівництвах великих гідротехнічних споруд, на дорожньому і інших будівництвах. Від прохідності цих автомобілів у великій мірі залежать середні швидкості руху, їх продуктивність і збереження механізмів.

В статті проаналізовано залежності опору кочення колеса від основних параметрів колеса і ґрунту. Побудовано графічні залежності глибини колії, сили і коефіцієнта опору рухові від величини ущільнення і його вологості для м'яких ґрунтів. Проведено класифікацію перешкод і аналіз прохідності автомобілів з врахуванням їх профільних властивостей. Визначено основні оціночні показники прохідності. На основі аналізу чинників, що покращують прохідність встановлено, що прохідність автомобілів в умовах бездоріжжя можна покращити, зменшивши вертикальне навантаження на опорну поверхню. Реалізувати це можна поєднавши колісний рушій і аерокомпенсатор (повітряний вентилятор направленої дії). На основі проведених попередніх розрахунків встановлено, що різниця між навантаженням коліс автомобіля без аерокомпенсатора і з його використанням складає 10-15%.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Лиман К., Духняк Х., Гладков В., & Хіжнюк О. (2024). Перспективи розвитку машин спеціального призначення високої прохідності та організація військових перевезень. *Матеріали конференцій МНЛ*, (25 жовтня 2024 р., м. Полтава), 607–609. URL: <https://archive.liga.science/index.php/conference-proceedings/article/view/1302>
2. Подригало М., Нікорчук А. (2025). Підвищення прохідності автомобілів та наземних роботизованих комплексів. *Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки*, 23(1), с. 70-77. doi: 10.37701/dndivsovt.23.2025.09
3. Zhdanovich Cheslav, Orda Aleksandr, Kamiński Jan, Kuboń Maciej. Theoretical research of resistance motion of running systems. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, 2017, Vol. 62(1), Pp.182 – 186

4. Грубель М.Г., Крайник Л.В. Прогідність військових автомобілів: *монографія*. Київ: ВД «Професіонал», 2023. 183 с
5. Волков В. П. Теорія експлуатаційних властивостей автомобіля: *навч. посібник*. Харків: ХНАДУ, 2003. 292 с.
6. Складаров М. В., Шаповалов О. І. Математичне моделювання руху по деформованій опорній поверхні при зміні тиску в шинах коліс багатоцільового броньованого автомобіля на прикладі КрАЗ «Ураган». *Збірник наукових праць Національної академії Національної гвардії України*. Харків: НА НГУ, 2021. Вип. 1 (37). С. 78–88.
7. Larminie J. C. Modifications to the mean maximum pressure system. *Journal of Terramechanics*, 1992. 29(2). P. 239–255. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/002248989290029J/>
8. Матейчик В.П. Дослідження впливу типу енергоустановки на показники автомобіля підвищеної прохідності в експлуатаційних умовах / В.П.Матейчик, В.В.Яновський, Д.В.Савенок // *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. Луганськ, 2009. – №11(141). – С. 22 – 25
9. Матейчик В.П. Особливості моделювання руху автомобіля підвищеної прохідності в експлуатаційних умовах / В.П.Матейчик, Д.В.Савенок // *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. – Луганськ, 2007. – №6(112). – С. 27 – 33.

REFERENCES

1. Lyman K., Dukhniak Kh., Hladkov V., & Khizhniuk O. (2024). Perspektyvy rozvytku mashyn spetsialnoho pryznachennia vysokoi prokhdnosti ta orhanizatsiia viiskovykh perevezhen. *Materialy konferentsii MNL*, (25 zhovtnia 2024 r., m. Poltava), 607–609. Vylucheno z <https://archive.liga.science/index.php/conference-proceedings/article/view/1302>
2. Podryhalo M., Nikorchuk A. (2025). Pidvyshchennia prokhdnosti avtomobiliv ta nazemnykh robotyzovanykh kompleksiv. *Zbirnyk naukovykh prats Derzhavnoho naukovo-doslidnoho instytutu vyprobuvan i seryfikatsii ozbroiennia ta viiskovoi tekhniki*, 23(1), s. 70–77. doi: 10.37701/dndivsovt.23.2025.09
3. Zhdanovich Cheslav, Orda Aleksandr, Kamiński Jan, Kuboń Maciej. Theoretical research of resistance motion of running systems. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, 2017, Vol. 62(1), pp. 182–186.
4. Hrubel M.H., Kraiňyk L.V. Prokhdnist viiskovykh avtomobiliv: *monohrafiia*. Kyiv: VD «Profesional», 2023. 183 s.
5. Volkov V.P. Teoriia ekspluatatsiinykh vlastyvostei avtomobilia: *navch. posibnyk*. Kharkiv: KhNADU, 2003. 292 s.
6. Skliarov M.V., Shapovalov O.I. Matematychnе modeliuвання rukhu po deformovanii opornii poverkhni pry zmini tysku v shynakh kolis bahatotsilovoho bronovanogo avtomobilia na prykladi KrAZ «Urahan». *Zbirnyk naukovykh prats Natsionalnoi akademii Natsionalnoi hvardii Ukrainy*. Kharkiv: NA NHU, 2021. Vyp. 1 (37). S. 78–88.
7. Larminie J.C. Modifications to the mean maximum pressure system. *Journal of Terramechanics*, 1992. 29(2). P. 239–255. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/002248989290029J/>
8. Mateichyk V.P. Doslidzhennia vplyvu typu enerhoustanovky na pokaznyky avtomobilia pidvyshchenoi prokhdnosti v ekspluatatsiinykh umovakh / V.P. Mateichyk, V.V. Yanovskyi, D.V. Savenok // *Visnyk Skhidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu imeni Volodymyra Dalia*. Luhansk, 2009. – №11(141). – S. 22–25.
9. Mateichyk V.P. Osoblyvosti modeliuвання rukhu avtomobilia pidvyshchenoi prokhdnosti v ekspluatatsiinykh umovakh / V.P. Mateichyk, D.V. Savenok // *Visnyk Skhidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu imeni Volodymyra Dalia*. – Luhansk, 2007. – №6(112). – S. 27–33.

A. Bokhonko. Analysis of the Off-Road Performance of a Vehicle Equipped with an Aero-Compensator

All types of vehicles must possess off-road capabilities, as any vehicle may encounter the need to leave a paved road, traverse damaged sections of roads, drive on dirt detours around repaired or constructed sections of roads and bridges, or travel in winter over uneven, snow-covered roads.

For vehicles that systematically operate under severe road conditions, off-road performance is of primary importance. These include, first and foremost, military medium- and light-duty trucks, small buses,

passenger cars, and other vehicles used in rural or forested areas, as well as dump trucks used in the construction of large hydraulic structures, road construction, and other construction projects. The average driving speeds, productivity, and preservation of vehicle mechanisms largely depend on the off-road capabilities of these vehicles.

This article analyzes the dependence of wheel rolling resistance on the main parameters of the wheel and the soil. Graphical dependencies are constructed showing the rut depth, resistance force, and rolling resistance coefficient as functions of soil compaction and moisture for soft soils. An obstacle classification and analysis of vehicle off-road performance considering their profile properties are carried out. Key performance indicators of off-road capability are identified. Based on an analysis of the factors that improve off-road performance, it is established that vehicle mobility on rough terrain can be enhanced by reducing the vertical load on the support surface. This can be achieved by combining a wheeled propulsion system with an aero-compensator (a directional air fan). Preliminary calculations show that the difference in wheel load between a vehicle without an aero-compensator and one equipped with it is approximately 10–15%.

Keywords: vehicle off-road performance, wheel rolling resistance, vertical wheel load, vertical load aero-compensator, obstacle classification.

БОХОНКО Андрій Віталійович, аспірант кафедри проектування машин та автомобільного інжинірингу, Національний університет «Львівська політехніка», e-mail: andrii.v.bokhonko@lpnu.ua.

Andrii BOKHONKO, PhD student at the Department of Machine Design and Automotive Engineering, Lviv Polytechnic National University, e-mail: andrii.v.bokhonko@lpnu.ua.

DOI 10.36910/automash.v1i24.1716