

Спосіб покращення прохідності та підвищення керованості військового автомобіля за рахунок використання колісних дисків автоматичної змінної ширини

Method of improving passability and increasing controllability of a military vehicle by using automatic variable width wheel disks

Юрій Петрик^A

Corresponding author: старший викладач кафедри, e-mail: asva@ukr.net, ORCID: 0000-0003-4589-4282

Леонід Петров^A

кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри, e-mail: asva@ukr.net, ORCID: 0000-0001-5709-9986

Денис Котов^A

доктор філософії, доцент, e-mail: zvyagel.zt@ukr.net, ORCID: 0000-0002-6775-5593

Геннадій Шишкін^A

викладач, e-mail: gbsh1966@gmail.com, ORCID: 0009-0006-6463-1524

Віктор Скремінський^A

викладач, e-mail: skreminsky@ukr.net, ORCID: 0009-0007-0189-5044

Олександр Ярошевський^A

старший викладач, e-mail: 1972yaroshevsky@gmail.com, ORCID: 0000-0002-2608-8624

Yuriy Petryk^A

Corresponding author: Senior Lecturer, e-mail: asva@ukr.net, ORCID: 0000-0003-4589-4282

Leonid Petrov^A

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department, e-mail: asva@ukr.net, ORCID: 0000-0001-5709-9986

Denys Kotov^A

Doctor of Philosophy, associate professor, e-mail: zvyagel.zt@ukr.net, ORCID: 0000-0002-6775-5593

Hennadii Shyshkin^A

Lecturer, e-mail: gbsh1966@gmail.com, ORCID: 0009-0006-6463-1524

Victor Skreminskyi^A

Lecturer, e-mail: skreminsky@ukr.net, ORCID: 0009-0007-0189-5044

Oleksandr Yaroshevskiy^A

Senior Lecturer, e-mail: 1972yaroshevsky@gmail.com, ORCID: 0000-0002-2608-8624

^AВійськова академія, м. Одеса, Україна

^AMilitary Academy, Odesa, Ukraine

Received: April 29, 2025 | Revised: June 15, 2025 | Accepted: June 30, 2025

DOI: 10.33445/sds.2025.15.3.7

Мета роботи: дослідження прохідності і керованості військової автомобільної техніки шляхом використання колісних дисків змінної ширини.

Метод дослідження: порівняльний метод.

Результати дослідження: запропоновано технічні рішення для систем автоматичного налаштування ширини коліс, включаючи повітряні та гідравлічні приводи, які дають змогу підлаштовуватись до різних дорожніх умов без потреби зупинки автомобіля.

Теоретична цінність дослідження: основними результатами дослідження за тематикою статті є: підвищення прохідності та підвищення керованості військового автомобіля за допомогою використання колісних дисків зі змінною шириною, визначено залежності впливу зміни ширини колісного диска на прохідність військового автомобіля та питомий тиск на ґрунт, які показують ефективність використання зазначеного способу для поліпшення роботи військових автомобілів у важких дорожніх умовах.

Тип статті: теоретична.

Purpose: to study the cross-country ability and controllability of military vehicles through the use of variable-width wheel disks.

Method: a comparative method.

Findings: the paper proposes technical solutions for automatic wheel width adjustment systems, including air and hydraulic drives, which allow for adaptation to different road conditions without the need to stop the vehicle.

Theoretical implications: the main results of the research on the topic of the article are: increasing the cross-country ability and improving the controllability of a military vehicle through the use of wheel disks with variable width, the dependence of the influence of changing the width of the wheel disk on the cross-country ability of a military vehicle and the specific pressure on the ground were determined, which show the effectiveness of using the specified method to improve the operation of military vehicles in difficult road conditions.

Paper type: theoretical.

Ключові слова: прохідність, керованість, маневреність, військовий автомобіль.

Key words: cross-country ability, handling, maneuverability, military vehicle.

Вступ

Важливу роль у визначенні ефективності використання автомобілів багатоцільового призначення у військовій сфері відіграє їх прохідність, стійкість та керованість. В роботах [1–6] досліджується вивчення різних факторів, що впливають на експлуатаційну властивість

автомобіля, яка визначає здатність і можливість його руху по дорогах, у погіршених дорожніх умовах та бездоріжжю, долати різні перешкоди. Тому питання покращення прохідності та підвищення керованості військового автомобіля впливає на ефективність виконання завдань за призначенням.

Одна з головних проблем колісних дисків є їх постійна ширина. Ця проблема веде до деяких обмежень:

великий тиск на ґрунт – вузькі колеса роблять велике навантаження на поверхню, що підвищує шанс застрягнути в м'якому ґрунті або снігу;

обмежене зчеплення – невелика площа з'єднання на нестабільних поверхнях (пісок, бруд) зменшує пляму контакту і викликає пробуксовування ведучих коліс;

погіршена маневреність – широкі колеса можуть допомагати зчепленню на ґрунті, але збільшують опір кочення на твердих ділянках, що ускладнює керування автомобілем та збільшує витрату палива.

Сучасні технології, зокрема, системи централізованого регулювання тиску повітря в шинах, дозволяють частково адаптувати шини до різноманітних умов під час експлуатації. Проте, ці системи мають обмеження, оскільки не впливають на фізичні параметри колеса, такі як ширина плями контакту з дорожньою поверхнею. Через це, навіть при змінному тиску, вузьке колесо залишається малоефективним на м'яких дорожніх покриттях.

Інноваційним підходом до вирішення цієї проблеми є впровадження колісних дисків із регульованою шириною. Таке рішення дозволить водіям швидко адаптувати автомобіль до конкретних дорожніх умов, з якими вони стикаються в процесі експлуатації.

Зазначений підхід дозволить надати автомобільній техніці нові можливості для підвищення прохідності та безпеки руху в процесі експлуатації:

зменшувати питомий тиск на ґрунт у складних умовах за рахунок розширення колісного диску;

покращувати керованість на твердих покриттях, звужуючи колісний диск для зменшення опору коченню;

оптимізувати ресурс шин, рівномірно розподіляючи навантаження на площу плями контакту.

Враховуючи вище зазначені переваги, проблема адаптації автомобілів до різних умов експлуатації може бути вирішена за допомогою механізму автоматичної зміни ширини колісного диску, та може стати предметом подальшого дослідження даного механізму з метою розширення його можливостей.

Теоретичні основи дослідження

В різний час вченими проводилися дослідження прохідності колісного транспортного засобу. Так, у роботі [7] проведено експерименти з колесом місячного транспортного засобу та визначено геометрію руйнування ґрунтової основи, а також розподіл зміни об'ємної ваги ґрунту. У роботі [8] досліджено характеристики здвоєних та розташованих тандемом коліс на піску, у роботах [9, 10] отримала подальший розвиток методика з урахуванням кінематики поверхневої взаємодії і проведено експерименти на піску з жорсткими колісними рушіями з різними геометричними параметрами.

Проаналізувавши результати наукових досліджень та зазначені вище роботи щодо дослідження опорної прохідності автомобілів багатоцільового призначення, а також методів оцінки її показників, можна зробити висновок:

розв'язання комплексної задачі, пов'язаної з підвищенням опорної прохідності автомобілів багатоцільового призначення, обумовлює необхідність удосконалення методики розрахунку показників опорної прохідності;

у зазначених вище роботах обирається значущість процесу регулювання тиску повітря в шинах, значна увага приділяється впливу конструктивних факторів на прохідність колісного транспортного засобу.

Військові автомобілі розроблені для використання в важких дорожніх умовах, таких як бездоріжжя, заболочені ділянки, піщані або снігові поверхні. У таких умовах основними факторами, що забезпечують успішний рух, будуть відмінна прохідність, стійкість на різноманітних типах дорожнього покриття та здатність до ефективного керування.

Постановка проблеми

В автомобільній галузі значна увага приділяється централізованим системам регулювання тиску повітря в шинах [11-15]. Ці системи дозволяють водіям змінювати жорсткість колеса відповідно до дорожніх умов. Військові транспортні засоби багатьох країн вже оснащені такими системами, що допомагають швидко адаптуватись до руху піщаними, сніговими чи асфальтованими шляхами. Проте централізовані системи регулювання тиску повітря в шинах мають суттєвий недолік — вони не можуть значно збільшити площу контакту шин із м'якими ґрунтами, що знижує їхню ефективність на ділянках дороги з складним рельєфом.

Результати

Науковцями активно вивчаються адаптивні колісні системи, які здебільшого застосовуються у спеціалізованій та військовій техніці. Хоча основна увага дослідників зосереджена на шинах із регульованим тиском, системи зі змінною шириною диска досі залишаються в полі зору науковців та винахідників. У рамках програми GXV-T Агентство перспективних оборонних розробок США DARPA створило інноваційне колесо-трансформер RWT (рис.1). Ця розробка здатна змінювати свою форму з колеса на гусеничний рушій безпосередньо під час руху, що істотно покращує прохідність техніки на різних типах поверхонь. Дослідження у сфері роботизованих колісних систем показують, що технології зі змінною шириною коліс можуть суттєво підвищити прохідність та керованість транспортних засобів. Зокрема, випробування телескопічних коліс довели, що збільшення площі контакту на 30% знижує тиск на поверхню та покращує зчеплення з ґрунтом. Проведені розрахунки підтвердили ефективність механізму, який забезпечує швидке розширення коліс без потреби повної зупинки транспортного засобу. Деякі сучасні автомобілі вже використовують вдосконалені колеса для кращої прохідності та маневреності. Паралельно розробляються рішення щодо поєднання активних систем підвісок з адаптивними колесами, що дозволяє покращити керованість транспортних засобів на нерівних і складних поверхнях.



Рисунок 1 – Колесо-трансформер RWT

Механізм автоматичної зміни ширини колісного диска складається з наступних елементів:

телескопічний обід – який дозволяє змінювати ширину колеса;

пневматичні приводи – забезпечують рух телескопічних елементів за допомогою стисненого повітря;

система регулювання повітряного тиску – контролює роботу приводів, змінюючи тиск відповідно до умов дорожнього покриття;

автоматичний блок керування – отримує дані від датчиків та адаптує ширину диску для покращення прохідності або керуваності.

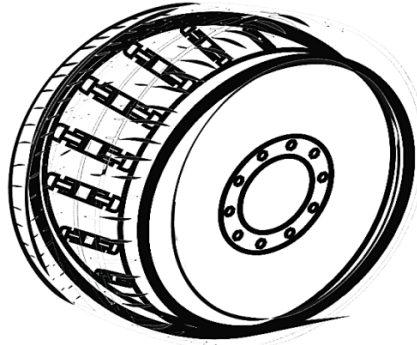


Рисунок 2 – Колісний диск з автоматичним розширенням

Використання даного механізму (рис. 2) на м'яких поверхнях (пісок, болото, сніг) за рахунок збільшення ширини колеса дозволяє знизити питомий тиск на ґрунт, а на твердих (асфальт, бетон) звуження диска покращує маневреність та знижує опір коченню.

Принцип роботи пневматичної системи наступний:

компресор подає повітря в пневматичні приводи;

під дією повітря тиск у циліндрах розширює або звужує обід;

датчики контролюють ширину колеса та подають сигнали блоку керування.

При використанні даної системи можливе використання електронних блоків управління та датків контролю роботи за рахунок яких бортова електроніка аналізує дорожні умови (наприклад, за допомогою датчиків зчеплення та тиску на ґрунт). На основі отриманих даних система змінює ширину коліс у режимі реального часу відповідно до потреби. Таке технічне рішення дозволить в значній мірі підвищити ефективність автомобілів у різних умовах експлуатації (рис. 3).

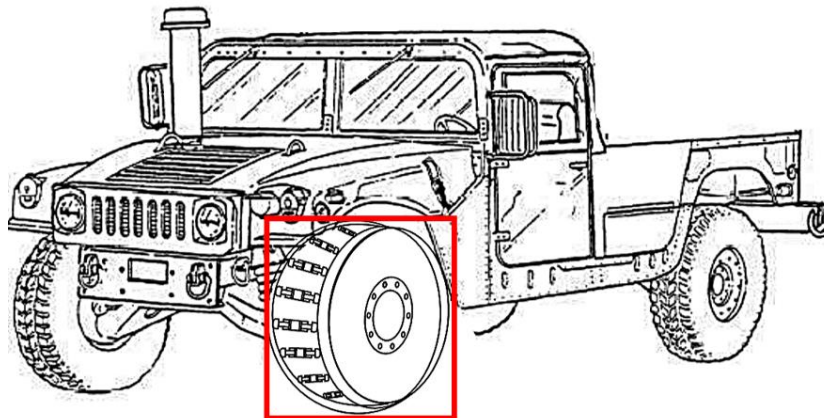


Рисунок 3 – Колісний диск з автоматичним розширенням на автомобілі HMMWV

Досліджено вплив ширини колісного диска на коефіцієнт зчеплення та питомий тиск, що є ключовими параметрами прохідності транспортного засобу. На основі проведених розрахунків і порівняльного аналізу показано, що застосування пневматичної системи для зміни ширини колісного диску дозволяє швидко адаптувати автомобіль до різних дорожніх умов.

Відповідно до [16], для подолання складних ділянок дороги з м'яким покриттям (нещільний ґрунт, сніг, пісок) значний вплив на підвищення зчеплення коліс відіграє малюнок протектора та величина питомого тиску колеса (шини) $P_{ш}$ (H/m^2) на дорожнє полотно (рис. 4):

$$P_{ш} = \frac{G_k}{F_{кш}} \quad (1)$$

де G_k – вага транспортного засобу, яка припадає на колесо, H ;
 $F_{кш}$ – площа контакту колеса (шини) з дорожнім полотном, m^2 ;

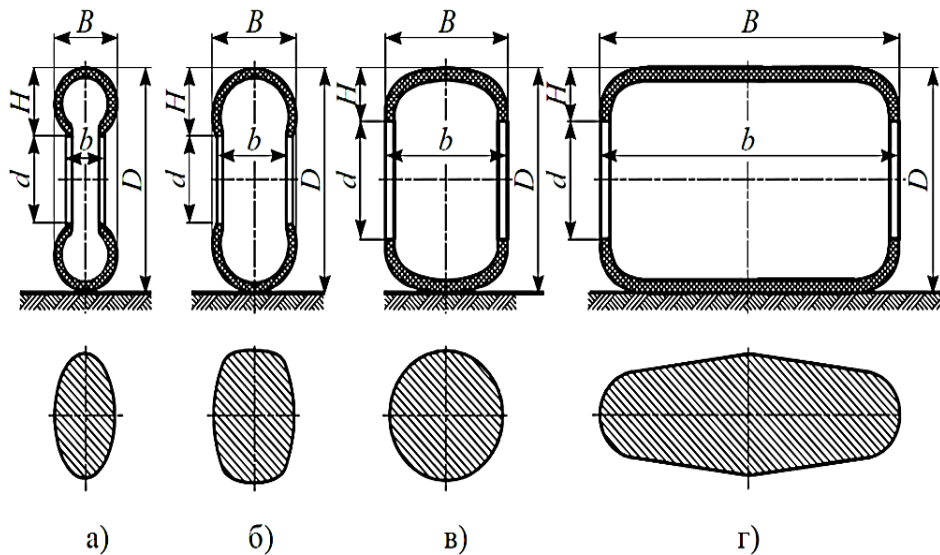


Рисунок 4 – Типи шин та форма площі контакту: а – тороїдна; б – широкопрофільна; в – арочна; г – пневмокоготок

Для оцінки ефективності використання колісних дисків зі змінною шириною було виконано розрахунки питомого тиску на поверхню (табл.1).

Таблиця 1 – Питомі показники пневматичних шин різних типів

Відношення	Тороїдна	Широкопрофільна	Арочна	Пневмокоготок
Висоти профіля до його ширини (H/B)	0,9-1,0	0,65-0,85	0,4-0,6	0,1-0,4
Зовнішнього діаметра до внутрішнього (D/d)	1,5-3,0	1,5-3,0	1,5-2,0	2,0-4,0
Ширини профіля до зовнішнього діаметра (B/D)	0,18-0,36	0,36-0,46	0,5-0,6	0,9-2,0
Ширини обода до ширини шини (b/B)	0,7-0,8	0,8-0,9	0,9-1,0	0,9-1,0
Площі відбитку до площі під ґрунтозачепами, %	100	120-140	150-200	250-300

Приймаємо: вага автомобіля: 17500 кг, розмір колеса: 385/65 R20 (ширина 385 мм, профіль 65% від ширини, радіус 20 дюймів), кількість коліс: 4, гравітаційне прискорення: 9.81 м/с², контактна довжина: 0.3 м, розширення дисків: до 10 см.

Розрахуємо навантаження на одне колесо, яке визначається за формулою:

$$F = \frac{M \cdot g}{N} \quad (2)$$

де F – сила, що припадає на одне колесо;
 M – маса автомобіля;
 g – прискорення вільного падіння;
 N – кількість коліс.

Питомий тиск розрахуємо за формулою:

$$p = \frac{F}{B \cdot L} \quad (3)$$

де p – питомий тиск на поверхню;
 F – сила, що припадає на одне колесо;
 B – ширина контакту шини з поверхнею;
 L – довжина контактної плями.

При стандартній ширині 385 мм: $p = 0.37$ МПа; при розширеній ширині 485 мм: $p = 0.29$ МПа.

Зменшення питомого тиску на 20.6% при розширенні дисків свідчить про значне покращення прохідності транспортного засобу на м'яких поверхнях, таких як пісок, болото чи сніг.

Оцінено вплив ширини дисків на прохідність та керованість автомобіля. Коефіцієнт зчеплення збільшується на 20% при розширенні дисків. Опір коченню залишається незмінним.

Сила тяги розраховується за формулою:

$$T = F \cdot \mu \quad (4)$$

де μ – коефіцієнт зчеплення (0.6 для стандартної ширини, 0.72 після розширення).

Опір руху визначається за формулою:

$$R = F \cdot f \quad (5)$$

де f – коефіцієнт опору коченню (0.015).

Швидкість подолання перешкод визначається за формулою:

$$V = \frac{T - R}{M} \quad (6)$$

За результатами проведених розрахунків було отримано наступні дані:

При стандартній ширині: 5.74 м/с; при розширеній ширині: 6.92 м/с.

Виходячи з отриманих даних отримане збільшення швидкості подолання перешкод становить 20.5 %, що свідчить про покращення прохідності та керованості транспортного засобу в умовах бездоріжжя.

Для наочного порівняння впливу зміни ширини колісного диска на прохідність та питомий тиск побудований графік (рис. 5).

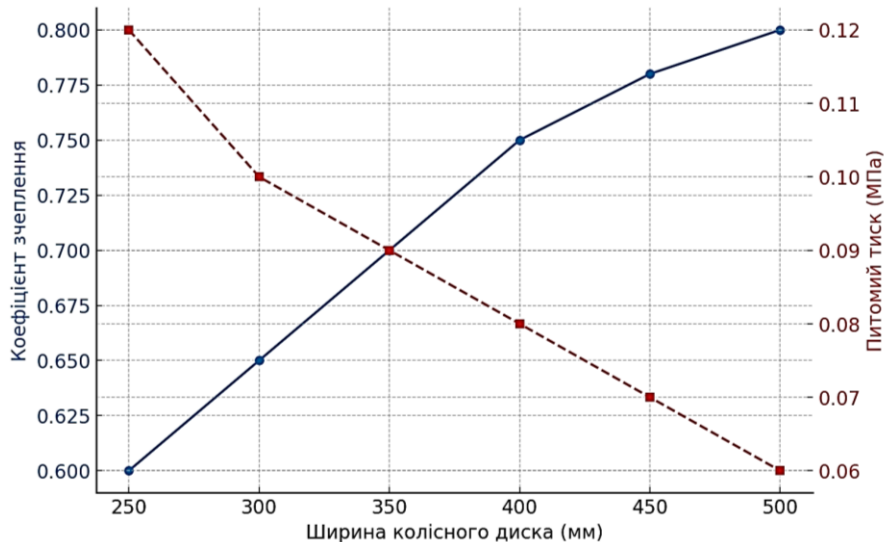


Рисунок 5 – Порівняльний аналіз прохідності автомобіля залежно від ширини колісного диска

Графік питомого тиску показує зниження навантаження на ґрунт при розширенні дисків, що сприяє кращій прохідності.

Графік швидкості подолання перешкод демонструє збільшення прохідності автомобіля в складних дорожніх умовах при зміні ширини диска.

Висновки

В результаті аналізу отриманих результатів (рис.5) можна зробити висновки, що використання колісних дисків зі змінною шириною створює можливості у розвитку колісних рушіїв транспортних засобів (зокрема військової автомобільної техніки). Ця технологія не лише покращить прохідність машин у складних умовах, але й істотно підвищить їх керованість.

Проведені розрахунки показують, що збільшення ширини колеса ефективно знижує тиск на поверхню дороги, що дуже важливо для важких транспортних засобів, особливо військового призначення. Це дозволяє таким автомобілям швидше та впевненіше долати пересічені ділянки місцевості.

Подальші дослідження та розробки в даному напрямку сприятимуть зниженню вартості технології та її впровадженню в різноманітні сфери транспорту, від спеціалізованих автомобілів військового призначення до міських автомобілів, що працюють у складних дорожніх умовах.

Фінансування

Це дослідження не отримало конкретної фінансової підтримки.

Конкуруючі інтереси

Автори заявляють, що у них немає конкуруючих інтересів.

Список використаних джерел

1. Агейкин, Я.С. Вездеходные колесные и комбинированные движители. М.: Машиностроение, 1972. 184 с.
2. Агейкин, Я.С. Проходимость автомобилей. М.: Машиностроение, 1981. 232 с.

3. Агейкин, Я.С. (1982). Расчет проходимости автомобилей при проектировании. *Теория, проектирование и испытания автомобилей: межвуз. сб. научн. тр.*, (1), 8–15.
4. Антонов, А.С., Кононови.ч, Ю.А., Магидович Е.Н., Прозоров В.С. Армейские автомобили. Теория / под общ. ред. А.С. Антонова, М.: Воениздат, 1970. 526 с.
5. Васильченко В.Ф. Военная автомобильная техника. Книга вторая. Военные автомобили и гусеничные машины. Теория эксплуатационных свойств. / под общ. ред. М.А. Невдаха. Рязань: Воениздат МО РФ, 2004. 432 с.
6. Литвинов, А.С., Фаробин, Я.Е. Автомобиль: Теория эксплуатационных свойств: Учебник для вузов по специальности «Автомобили и автомобильное хозяйство». М.: Машиностроение, 1989. 240 с.
7. Hovland, H.J., Mitchell, J.K. Model studies of the failure mechanic associated with a sphere rolling down a soil slope. *Journal of Terramechanics*, 1972, Vol. 9, № 1, P. 37–50.
8. Swanson, G.D. Studies of dual and tandem rigid wheel performance in sand. *Journal of Terramechanics*, 1973, Vol. 10, № 2, P. 9–47
9. Gee-Clough, D. The Bekker theory of rolling resistance amended to take account of skid and deep-sinkage. – *Journal of Terramechanics*, 1976, Vol. 13, №2, P. 87–105.
10. Gee-Clough, D. The effect to wheel with on the rolling resistance of rigid wheels in sand. – *Journal of Terramechanics*, 1979, Vol. 15, № 4, P. 161–184.
11. Скляр, М. В., Яковлев, О. В., Бондар, Е. В., Коломицев, В. М., & Кашканов, В. А. (2024). Аналіз впливу на прохідність автобронетанкової техніки конструктивних факторів та методика її збільшення шляхом автоматичного регулювання тиску повітря в шинах коліс. *Вісник машинобудування та транспорту*, 19(1), 150–156. <https://doi.org/10.31649/2413-4503-2024-19-1-150-156>.
12. Шаповалов, О. І., & Скляр, М. В. (2021). 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*, 1(37), 78-88. <https://doi.org/10.33405/2409-7470/2021/1/37/237881>.
13. Грубель, М. Г., Крайник, Л. В., & Купріненко, О. М. (2019). Методологія оцінки опорної прохідності колісної військової автомобільної техніки. *Озброєння та військова техніка*, (4), 22-31.
14. Грубель, М. Г. (2019). Теоретичні основи моделювання взаємодії пневматичної шини автомобіля з бездоріжжям. *Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил*, (3), 112-121. <https://doi.org/10.30748/zhups.2019.61.14>.
15. Скляр, М. В., Цебрюк, І. В., Яковлев, О. В., Бондар, Е. В., & Кашканов, А. А. . (2024). Математичне моделювання руху автобронетанкової техніки з колісною формулою 4x4 при зміні тиску в шинах коліс на прикладі КраЗ-Спартан . *Вісник машинобудування та транспорту*, 19(1), 139–149. <https://doi.org/10.31649/2413-4503-2024-19-1-139-14916>.
16. Хітров І. О. Експлуатаційні властивості транспортних засобів [Електронне видання] : навч. посіб. / І. О. Хітров, М. Є. Кристопчук, В. М. Никончук. – Рівне : НУВГП, 2022. – 176 с.

References

1. Ageikin, Ya.S. Vezdekhodnie kolesnie i kombinirovannie dvizhyteli. Moscow: Mashynostroenie, 1972. 184 s. (In Rus.).
2. Ageikin, Ya.S. Prokhdimost avtomobiley. Moscow: Mashynostroenie, 1981.232 s. (In Rus.).
3. Ageikin, Ya.S. (1982) Raschet prokhdimosti avtomobiley pri proektirovanii. Teoriia, proektirovanie i ispitanii avtomobiley: mezhvuz. sb. nauchn. tr., (1), 8–15. (In Rus.).
4. Antonov, A.S., Kononovich, Yu.A., Mahidovych E.N., Prozorov V.S. Armeiskie avtomobili. Teoriia / pod obshch. red. A.S. Antonova, Moscow: Voenizdat, 1970. 526 s. (In Rus.).

5. Vasilchenkov V.F. Voennaia avtomobilnaia tekhnika. Kniga vtoraia. Voennie avtomobili i gusenichnie mashini. Teoriia ekspluatatsionnikh svoistv. / pod obshch. red. M.A. Nevdakha. Riazan: Voenyizdat MO RF , 2004. 432 s. (In Rus.).
6. Litvinov, A.S., Farobin, Ya.E. Avtomobil: Teoriia ekspluatatsionnikh svoistv: Uchebnik dlia vuzov po spetsialnosti «Avtomobili i avtomobilnoe hoziaistvo». Moscow: Mashinostroenie, 1989. 240 s. (In Rus.).
7. Hovland, H.J., Mitchell, J.K. Model studies of the failure mechanic associated with a sphere rolling down a soil slope. *Journal of Terramechanics*, 1972, Vol. 9, № 1, P. 37–50.
8. Swanson, G.D. (1973), Studies of dual and tandem rigid wheel performance in sand. *Journal of Terramechanics*, Vol. 10, № 2, P. 9–47
9. Gee-Clough, D. (1976). The Bekker theory of rolling resistance amended to take account of skid and deep sinkage. – *Journal of Terramechanics*, Vol. 13, №2, P. 87–105.
10. Gee-Clough, D. (1979). The effect to wheel with on the rolling resistance of rigid wheels in sand. – *Journal of Terramechanics*, Vol. 15, № 4, P. 161–184.
11. Skliarov, M. V., Yakovlev, O. V., Bondar, Ye. V., Kolomytsev, V. M., & Kashkanov, V. A. (2024). Analiz vplyvu na prokhidnist avtobronetankovoi tekhniky konstruktyvnykh faktoriv ta metodyka yii zbilshennia shliakhom avtomatychnoho rehuliuвання tysku povitria v shynakh kolis. *Visnyk mashynobuduvannia ta transportu*, 19(1), 150–156. <https://doi.org/10.31649/2413-4503-2024-19-1-150-156>. (In Ukr.).
12. Shapovalov, O. I., & Skliarov, M. V. (2021). Matematychni modeliuvannia rukhu po deformovanii opornii poverkhni pry zmini tysku v shynakh kolis bahatotsilovoho bronovanoho avtomobilia na prykladi KrAZ “URAHAN”. *Zbirnyk naukovykh prats Natsionalnoi akademii Natsionalnoi hvardii Ukrainy*, 1(37), 78-88. <https://doi.org/10.33405/2409-7470/2021/1/37/237881>. (In Ukr.).
13. Hrubel, M. H., Krainyk, L. V., & Kuprinenko, O. M. (2019). Metodolohiia otsinky opornoii prokhidnosti kolisnoi viiskovoi avtomobilnoi tekhniky. *Ozbroiennia ta viiskova tekhnika*, (4), 22-31. (In Ukr.).
14. Hrubel, M. H. (2019). Teoretychni osnovy modeliuvannia vzaiemodii pnevmatychnoi shyny avtomobilia z bezdorizhzhiam. *Zbirnyk naukovykh prats Kharkivskoho natsionalnoho universytetu Povitrianykh Syl*, (3), 112-121. <https://doi.org/10.30748/zhups.2019.61.14>. (In Ukr.).
15. Skliarov, M. V., Tsebruiuk, I. V., Yakovlev, O. V., Bondar, Ye. V., & Kashkanov, A. A. (2024). Matematychni modeliuvannia rukhu avtobronetankovoi tekhniky z kolisnoiu formuloiu 4x4 pry zmini tysku v shynakh kolis na prykladi KrAZ-Spartan. *Visnyk mashynobuduvannia ta transportu*, 19(1), 139–149. <https://doi.org/10.31649/2413-4503-2024-19-1-139-14916>. (In Ukr.).
16. Khitrov I. O. Ekspluatatsiini vlastyvoli transportnykh zasobiv [Elektronne vydannia]: navch. posib. / I. O. Khitrov, M. Ye. Krystopchuk, V. M. Nykonchuk. – Rivne : NUVHP, 2022. – 176 s. (In Ukr.).