

ТЕОРІЯ ПЕТРОВА – КІШЯНУСА КОЛИВАЛЬНОГО РУХУ ГЕОМЕТРІЇ ПЛЯМИ КОНТАКТУ КОЛІСНОГО РУШІЯ ВАНТАЖНОГО АВТОМОБІЛЯ

Характер сучасних технологічних операцій за допомогою транспортних засобів (ТЗ) вимагає високого швидкого переміщення та працездатності. Переміщення ТЗ в сучасних умовах бойової обстановки, здійснюється в складних дорожніх розв'язках місцевості (бездоріжжя, пустельно-піщана, гірська, болотиста місцевість), з мінімальним використанням засобів підвищення прохідності бойових машин. Від ТЗ залежить безпосередньо своєчасне виконання різних бойових завдань на оперативному та стратегічному рівні, зокрема як тягові зусилля на колеса, що в свою чергу вплине на, мобільність, прохідність, швидкість руху машини. Розробка новітніх технологій по збільшенню ефективності прохідності ТЗ є важливим критерієм успішного проведення бойових операцій. Складовими критерію є: поліпшення наявних ходових властивостей автомобілів, що доведе їх технологічну придатність до можливості та рівня мирових стандартів. Перспективою створення українського ТЗ на повнопривідному шасі з удосконаленою ходовою частиною. ТЗ буде призначений для виконання різних специфічних завдань – модернізована ходова система. Такий рушій обладнаний спеціальною біговою доріжкою для переміщення динамічної ваги, який дозволяє зменшити проковзування для стабілізації заданого напрямку руху. При модернізації конструкції динамічні ваги керуються важелем. Така технологія переміщення військового автомобіля (спеціальних броньованих автомобілів) за допомогою навантаження ходової системи дозволяє кочення колеса та його навантаження зробити більш плавним, що зменшує вібрації при переміщенні та більш якісно використовувати тягове зусилля автомобіля. Запропонована математична модель руху ТЗ з ходовою системою навантаженням динамічними вагами.

Ключові слова: технологія, транспортний засіб, ходова система, стабілізація, важіль, динамічні ваги.

Вступ та постановка проблеми. Фахівці вітчизняного та іноземного автомобілебудування спрямовують свої думки на створення зразків рухомих транспортних засобів, в яких безпосередньо здійснюють свій напрям на розвиток конструкцій окремих елементів автомобілів, а саме ходової частини. Велика увага конструктивному удосконаленню ходової частини приділяється створенню колісних рушіїв. Думка провідних фахівців спрямована на експлуатацію військових автомобілів в різних дорожніх умовах, що передбачає спроможність підвищення прохідності таких колісних рушіїв. Для запобігання похибок при створенні таких ходових систем (колісних рушіїв), думка фахівців спрямовувалась на створенні математичної бази, яка б допомагала теоретично описати рух колісного рушія при певних навантаженнях.

За результатами теоретично проведених досліджень автори проаналізували результати та сформулювали напрями удосконалення колісних рушіїв.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При аналізі працездатності колісних рушіїв можуть мати деякі обмеження по профільній прохідності вантажних автомобілів, коли використовується модернізований диск у вигляді пружного диску безпосередньо режимі, який штовхає коли необхідно реалізувати тягове зусилля, яке може бути занадто малим при подоланні перепон.

На рис. 1 представлені пошкодження шини в результаті підвищеного тиску, що викликає надмірну напругу на її боковинах та призводить до розриву шини.



а).

б).



в).

г).



д).

Рисунок 1 – Пошкодження шини в результаті підвищеного рекомендованого тиску, що викликає надмірну напругу на її боковинах, що призводить до розриву шини.

Спосіб переміщення мобільного енергетичного (рис. 2,3) [6 с. 92-98]

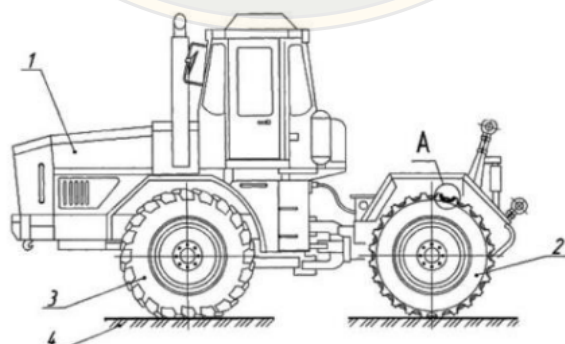


Рисунок 2 - Мобільний засіб виконаний з деформаційним елементом по декларативному патенту «Спосіб переміщення мобільного засобу»: 1 - двигун, 2 - колісний рушій, ведучі колеса, 3 - ведені колеса, 4 - опорна поверхня.

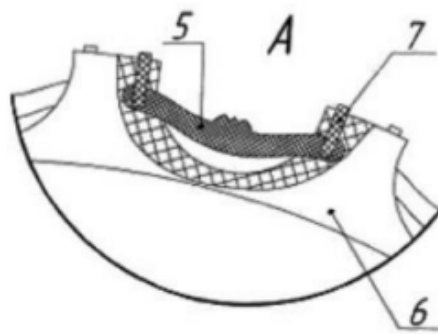


Рисунок 3 – Деформаційний елемент у протекторі:
5 - локальний пружний елемент, 6 - основний протектор, 7 - фіксуючі штифти

Відомий спосіб Петрова-Борисенка підвищення прохідності тягово-транспортної системи (рис. 4) [1, с. 1-3]. Відомий спосіб «Лягушка» переміщення мобільного енергетичного засобу конструкції Л.М. Петрова (Kolrahchyan, 2015, С. 125–136).

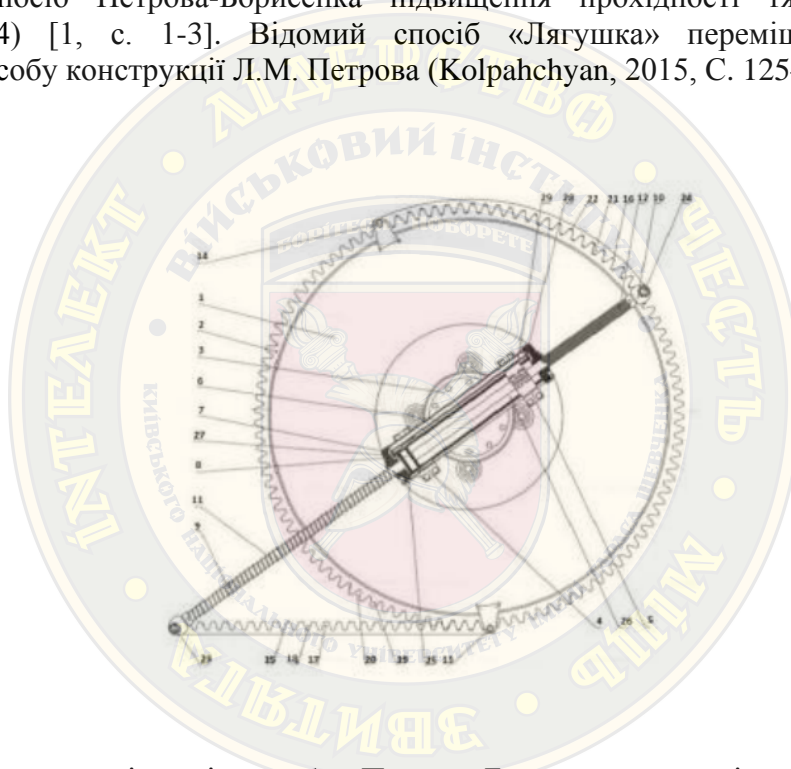


Рисунок 4 – Креслення згідно зі способом Петрова-Борисенка щодо підвищення прохідності тягово-транспортної системи:

1-колісний рушій, 2-зубчастий протектор, 3-ступиця, 4,5-хомути, 6-керуючий циліндр, 7- корпус, 8 - поршень, 9,10 - штоки, 11,12 - пружини, 13,14 - шарніри, 15,16 - зубчасті протектори, 17,19,20 -зубці, 18,20,22 -впадини, 23,24-шарніри, 25,26-порожнини циліндра, 27,28-отвори, 29-дріт.

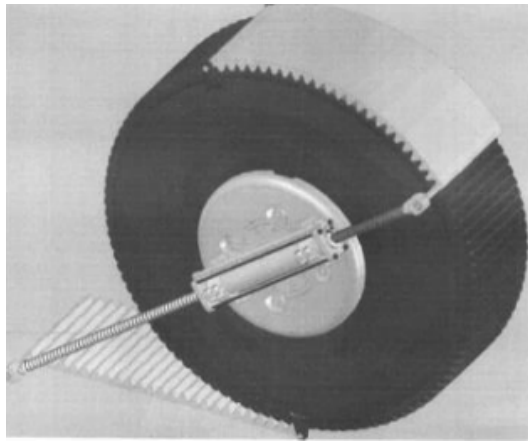


Рисунок 5 – Загальний вигляд колісного рушія по декларативному патенту «Спосіб Петрова-Борисенка підвищення прохідності тягово-транспортної системи»

На рис.6 представлено загальний вигляд автомобіля з удосконаленими колісними рушіями.

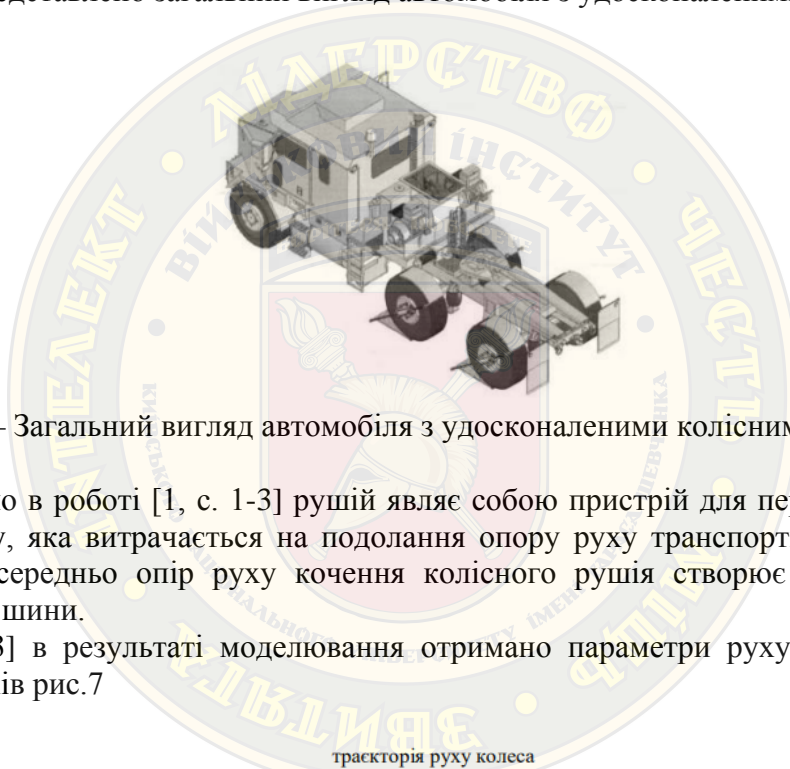


Рисунок 6 – Загальний вигляд автомобіля з удосконаленими колісними рушіями

Як відмічено в роботі [1, с. 1-3] рушій являє собою пристрій для перетворення енергії двигуна в роботу, яка витрачається на подолання опору руху транспортних засобів, треба відмітити, безпосередньо опір руху кочення колісного рушія створює коливальний рух частин стиснутої шини.

У роботі [3] в результаті моделювання отримано параметри руху колеса у вигляді наступних графіків рис.7

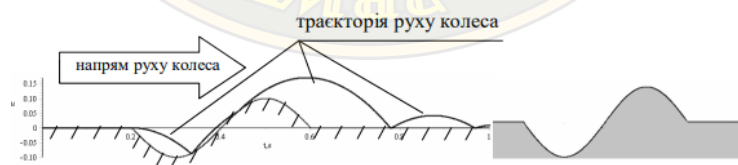


Рисунок 7– Параметри руху колеса

Прослідити коливання шини під навантаженням можливо, якщо перешкода буде більш повільною, або буде менше швидкість автомобілю. Такий приклад наведено на рис.8.

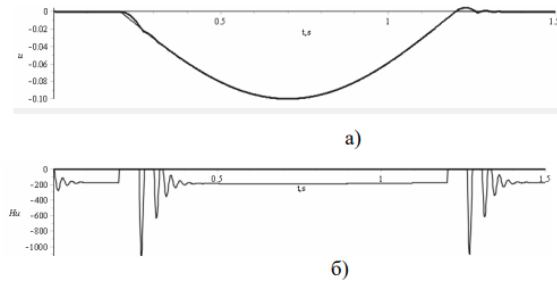


Рисунок 8 – Приклад подолання у вігнутої внутрішньої перешкоди (а) із значенням коливань шини (б).

Дослідниками в галузі автомобільного транспорту [4. с. 1-47] розроблене програмне середовище для моделювання і візуалізації шин, які деформуються під впливом різних факторів. Запропонована методика може стати альтернативою суто теоретичному визначенню реакцій колеса і шини на різноманітні перешкоди в різних умовах руху автомобіля і дії зовнішніх факторів, на (рис. 9).



Рисунок 9 – Моделювання деформованого стану шини при перекочування через нерівність: методом скінчених елементів в САЕ

На рис. 10 представлений фізичний зміст опору коченню колеса військового автомобіля.

Під час кочення колеса шина деформується під дією різних сил, що постійно змінюються, викликаючи багаторазові пружні деформації її компонентів. Ці деформації супроводжуються значними втратами енергії, що призводить до значного нагрівання шини та зміни її основних властивостей. Втрати при коченні шини в основному обумовлені втратами на внутрішнє тертя в гумі та корді, величина яких залежить від властивостей і деформації цих матеріалів. З метою мінімізації вищезазначених втрат пропонується наступна класифікація механізмів втрат в пневматичних шинах.

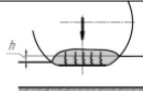
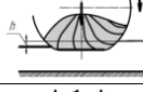
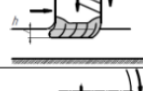
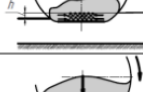
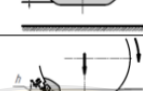

ч/ч	Тип втрат	Схема типу втрат	Головні чинники, які викликають гистерезисні втрати
1	Втрати на радіальну деформацію шини		Нормальне навантаження
2	Втрати на кутову деформацію шини		Крутий момент; гальмівний момент; нормальне навантаження.
3	Втрати на деформацію у боковому напрямку		Бокова сила; нормальне навантаження.
4	Втрати в шині під час деформування в тангенціальному напрямку		Крутий момент; нормальне навантаження.
5	Втрати на зменшення тиску повітря в шині		Крутий момент; нормальне навантаження.
6	Втрати на зношення шини (відривання частинок шини від основи протектора)		Крутий момент; нормальне навантаження.

Рисунок 10 – Класифікація втрат в пневматичних шинах.

Мета: вдосконалення теорії реалізації дотичної сили тяги в плямі контакту колісних рушіїв військових автомобілів з опорною поверхнею шляхом використання коливальної енергії стиснутої та розтягнутої частини шини.

Постановка завдання: отримати формули для підрахунку вихідних параметрів при використанні коливальної енергії в розрахунках.

Виклад основного матеріалу дослідження. Рух автомобільного колісного рушія супроводжується розсіюванням енергії. Якщо колісному рушію постійно не надавати додаткової енергії, то він (колісний рушія) припинить своє кочення, що пояснюється дією сил опору середовища, внутрішнього тертя та інших сил непружного опору. При подоланні колісним рушієм сил непружного опору витрачається робота систем підведення до нього енергії. При цьому можуть зменшуватися передбачувані на такий режим запасу енергії. Можуть з'явитися підвищені значення споживання підведеної енергії.

Припустимо що колісний рушія рухається по нерівній дорозі.

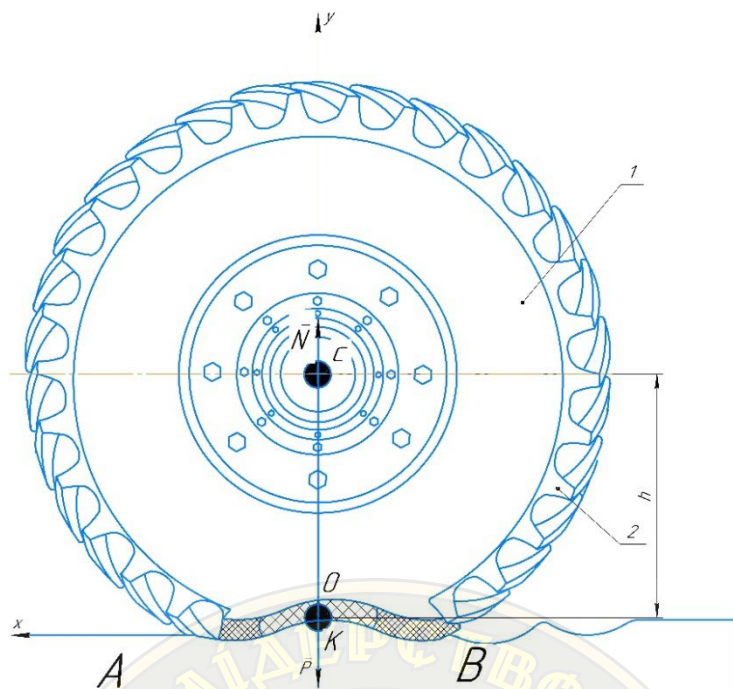


Рисунок 11 – Модель колісного рушія в спокої.

Враховуючи вищенаведені способи переміщення мобільних транспортних засобів і незважаючи на природу непружного опору запропонуємо спрощену схему математичного опису процесу на (рис.11).

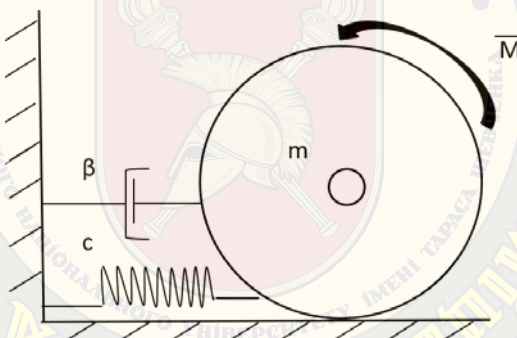


Рисунок 12 – Спрощена модель непружного опору коченню колісного рушія

Для спрощеного уявлення сил опору непружного стану використаємо поняття в'язкого тертя:

$$R = \beta \cdot \dot{\chi} \quad (1)$$

де $\dot{\chi}$ - швидкість взаємодії колісного рушія з опорною поверхнею;

$$\beta = \left[\frac{H \cdot c}{M} \right] \text{ коефіцієнт тертя}$$

Математична модель силової схеми руху колісного рушія під дією непружного опору, складемо силову схему на (рис.12) руху колісного рушія на якій вербальні сили. Для спрощення розрахунків, не використовуємо.

Складемо силову схему на (рис.12) руху колісного рушія, на якій вербальні сили, для спрощення розрахунків, не використовуємо.

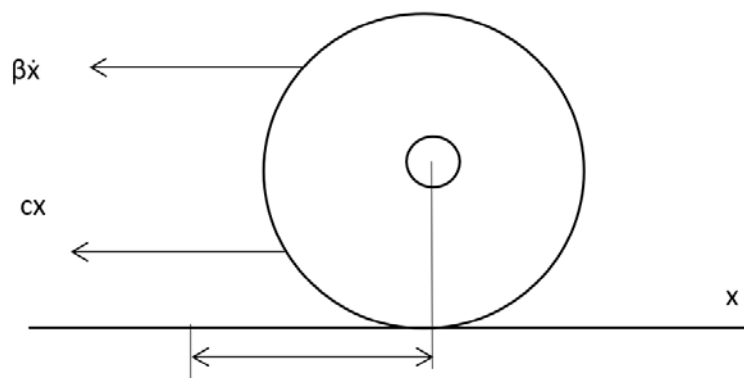


Рисунок 13 – Силова схема руху колісного рушія: c – жорсткість

Диференціальне рівняння руху колісного рушія набуває математичного вигляду:

$$mk = -\beta\ddot{\chi} - c\dot{\chi}$$

Розділимо на дві частки останнього рівняння на m :

$$\ddot{\chi} + 2h\dot{\chi} + \rho^2\chi = 0, \text{ де} \quad (2)$$

$$2h = \frac{\beta}{m}; \rho^2 = \frac{c}{m}$$

Отримаємо лінійне однорідне диференціальне рівняння 2-го порядку зі сталими коефіцієнтами.

Для рівняння (2) початкові умови:

$$\chi \text{ при } t=0 = \chi_0; \dot{\chi} \text{ при } t=0 = \dot{\chi}_0 = 0$$

$$\chi(0) = \chi_0; \dot{\chi}(0) = 0$$

Аналіз математичної моделі.

Загальний розв'язок рівняння (2) проведемо за допомогою характеристики цього рівняння:

$$k_2 + 2hk + \rho^2 = 0 \quad (3)$$

Корені рівняння (3) має розв'язок

$$k_{1,2} = \frac{-2h \pm \sqrt{4h^2 - 4\rho^2}}{2} = -h \pm \sqrt{h^2 - \rho^2}$$

Будуть залежати від значення параметра h (величини візкового тертя) у відповідності з теорією диференціальних рівнянь можна розглянути випадки:

$$h \leq \rho \text{ (невеликий опір), якщо } \rho > h, \text{ то } h^2 - \rho^2 < 0$$

Отже, корені характеристичного рівняння (3) комплексні

$$k_{1,2} = -h \pm i\sqrt{\rho^2 - h^2}$$

Тоді, загальний розв'язок лінійного однорідного диференційного рівняння (2) має вигляд:

$$\chi(t) = e^{-ht} \left[C_1 \cos(\sqrt{\rho^2 - h^2} \cdot t) + C_2 \sin(\sqrt{\rho^2 - h^2} \cdot t) \right] \quad (4)$$

З загального розв'язку (4) знайдемо частинний розв'язок, тобто значення сталих C_1 та C_2 за допомогою початкових умов (2)

Підставимо до (4) першу початкову умову:

$$\chi_0 = e^0 [C_1 \cos 0 + C_2 \sin 0] = C_1 = \chi_0$$

Отже, $C_1 = \chi_0$

Для того, щоб використати другу початкову умову, необхідно знайти похідну від (4):

$$\dot{\chi}(t) = -he^{-ht} \left[C_1 \cos(\sqrt{\rho^2 - h^2} \cdot t) + C_2 \sin(\sqrt{\rho^2 - h^2} \cdot t) \right] + e^{-ht} \left[-C_1 \sqrt{\rho^2 - h^2} \cdot \sin(\sqrt{\rho^2 - h^2} \cdot t) + C_2 \sqrt{\rho^2 - h^2} \cdot \cos(\sqrt{\rho^2 - h^2} \cdot t) \right]$$

$$\begin{aligned} \text{Тоді, } \dot{\chi}(0) &= -he^0 [\chi_0 \cos 0 + C_2 \sin 0] + e^0 [-\chi_0 \sqrt{\rho^2 - h^2} \sin 0 + C_2 \sqrt{\rho^2 - h^2} \cdot \cos 0] = \\ &= -h\chi_0 + C_2 \sqrt{\rho^2 - h^2} = 0 \end{aligned}$$

$$\text{Отже, } C_2 = \frac{h\chi_0}{\sqrt{\rho^2 - h^2}}$$

Остаточно, частинний розв'язок лінійного однорідного диференційного рівняння (2) має вигляд:

$$\chi(t) = e^{-ht} \left[\chi_0 \cos(\sqrt{\rho^2 - h^2} \cdot t) + \frac{h\chi_0}{\sqrt{\rho^2 - h^2}} \sin(\sqrt{\rho^2 - h^2} \cdot t) \right] \quad (5)$$

Оскільки $\cos_\alpha = \sin\left(\alpha - \frac{\pi}{2}\right)$ то функцію (5), яке є розв'язкою (2) можна записати у вигляді:

$$\chi(t) = e^{-ht} \left[\chi_0 \sin\left(\sqrt{\rho^2 - h^2} \cdot t - \frac{\pi}{2}\right) + \frac{h\chi_0}{\sqrt{\rho^2 - h^2}} \sin(\sqrt{\rho^2 - h^2} \cdot t) \right] \quad (6)$$

Сумою двох синусоїд з однаковою частотою ω є також синусоїда тієї ж частини, яка визначається за формулою:

$$A_1 \sin(\omega t + \varphi_1) + A_2 \sin(\omega t + \varphi_2) = A \sin(\omega t + \varphi), \text{ де}$$

$$\text{де } A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos(\varphi_2 - \varphi_1)}$$

$$\varphi = \arctg \frac{A_1 \sin \varphi_1 + A_2 \sin \varphi_2}{A_1 \cos \varphi_1 + A_2 \cos \varphi_2}$$

У нашому випадку, для функції (6)

$$A_1 = \chi_0; A_2 = \frac{h\chi_0}{\sqrt{\rho^2 - h^2}}; \varphi_1 = -\frac{\pi}{2}; \varphi_2 = 0$$

$$\text{Тоді, } A = \sqrt{\chi_0^2 + \frac{h^2 \chi_0^2}{\rho^2 - h^2}}$$

$$\varphi = \arctg \frac{\chi_0}{\frac{h\chi_0}{\sqrt{\rho^2 - h^2}}} = \arctg \frac{\sqrt{\rho^2 - h^2}}{h}$$

Остаточно, функція (6) приймає вигляд:

$$\chi(t) = A \cdot e^{-ht} \cdot \sin(\omega t + \varphi), \text{ де}$$

$$A = \sqrt{\chi_0^2 + \frac{h^2 \chi_0^2}{\rho^2 - h^2}}; \varphi = \arctg \frac{\sqrt{\rho^2 - h^2}}{h}; \omega = \sqrt{\rho^2 - h^2}$$

У спрощеному варіанті, коли сприймаємо, що рух та коливання плями контакту здійснюється по гармонічному закону в двох площинах опорної поверхні, загальний рух

деформованої плями контакту буде здійснюватися (в спрощеному варіанті) рівнянням:

$$y = \frac{A_2}{A_1} * X,$$

де y - коливання плями контакту у вертикальній площині;

x - коливання плями контакту у горизонтальній площині;

A_1 . коливання плями контакту у горизонтальній площині;

A_2 . коливання плями контакту у вертикальній площині.

Висновки. В результаті проведених теоретичних досліджень складено математичну модель руху МЕЗ з колісним рушієм навантаженим динамічними вагами, також теоретично встановлено, що коливання плями контакту може відбуватися у двох напрямках та сумарні коливання будуть здійснюватися по прямій лінії, тангенс кута нахилу якої буде визначатися відношенням амплітуд A_1 та A_2 .

ЛІТЕРАТУРА:

1. Спосіб удосконалення обертального руху колісного приводу автомобіля Л.М. Петрова: пат. 42929, Україна. заявл. u200902119 опубл. 27.07.2009, бюл. № 14, С. 3
2. Д.О Дмитрієв, О.А. Войтович, С.А. Русанов, С.О. Чурсов Стендові методи випробування шин автотранспорту, Вісник ХНТУ № 2(69) Херсон, 2019. С. 47
3. Белятинський А. О. Дослідження факторів, що впливають на площу контакту шини з поверхнею проїзної частини / Белятинський А. О., Краюшкіна К. В., Скрипченко О. В. // Молодь: наука та інновації : зб. пр. II-ї всеукр. наук.-техн. конф. студентів, аспірантів і молодих учених, м. Дніпропетровськ : НГУ, 2014. – Т. 4. – С. 2-3
4. Мандрик Є. В.; Гриб К. В. Шляхи вдосконалення експлуатаційних і конструктивних параметрів автомобільних шин. Збірник наукових праць Національної академії Державної прикордонної служби України. Сер.: Військові та технічні науки, 2013, 2: С. 317-325.
5. Collins, R. L. "Frequency response of tires using the point contact theory." *Journal of Aircraft* 9.6 (1972): pp. 427-432.
6. Hall, W., Mottram, J. T., Dennehy, D. J., & Jones, R. P. Characterisation of the contact patch behaviour of an automobile tyre by physical testing. *International journal of vehicle design*, (2003). 31(3), pp. 354-376.

REFERENCES:

1. Method of improving the rotational motion of the wheel drive of a car by L.M. Petrov (2009), pat. 42929, Ukraine. declared. u200902119, Bulletin. No. 14, 3 p.
2. Dmitriev D.O., O.A. Voytovych, S.A. Rusanov, S.O. (2019), Chursov Bench testing methods for vehicle tires, Bulletin of KhNTU No. 2(69). p. 47.
3. Byeliatynskiy A. O. Research of factors influencing the contact area of the tire with the road surface / Byeliatynskiy A. O., Krayushkina K. V., Skrypchenko O. V. (2014), Youth: science and innovations: collection of proceedings of the II All-Ukrainian scientific and technical conference of students, postgraduates and young scientists, T. 4. – pp. 2-3.
4. Mandryk, E. V.; Hryb, K. V. (2013), Ways of improving the operational and structural parameters of automobile tires. Collection of scientific papers of the National Academy of the State Border Guard Service of Ukraine. Ser.: Military and Technical Sciences, 2: pp. 317-325.
5. Collins, R. L. (1972), "Frequency response of tires using the point contact theory." *Journal of Aircraft* 9.6 pp. 427-432.
6. Hall, W., Mottram, J. T., Dennehy, D. J., & Jones, R. P. (2003), Characterisation of the contact patch behaviour of an automobile tyre by physical testing. *International journal of vehicle design*., 31(3) pp. 354-376.

**PETROV-KISHIANUS THEORY OF OSCILLATORY MOTION GEOMETRY CONTACT
PATCHES OF THE WHEEL DRIVE OF A TRUCK**

The nature of modern technological operations with the help of vehicles (TK) requires high fast movement and operability. The movement of vehicles at the present stage, as a rule, is carried out in difficult road conditions (off-road, desert-sandy, mountainous terrain), with minimal use of means to increase the cross-country ability of the vehicle. The timely completion of tasks at the operational and strategic levels, in particular both the traction load and the traction support systems, mobility, cross-country ability, and speed of movement, depends directly on the vehicle. Based on this, the latest technologies for increasing the efficiency of vehicle cross-country ability are the key to successful combat operations. The main directions for the implementation of this goal are: modernization of the existing chassis of military equipment using the latest technologies, which will bring their technological suitability to the possibility and level of world standards. The creation of a Ukrainian vehicle can be placed on an all-wheel drive chassis, which is built according to special technological and technical requirements for the structural improvement of the chassis. The vehicle will be designed for installation and connection of special equipment - a wheeled propulsion system with deep modernization. Such a propulsion system is equipped with a special treadmill for moving dynamic weight, which allows you to reduce slippage and stabilize the specified direction of movement. In such a deep modernization of the design, a lever is attached to control spring-loaded dynamic scales. This technology of moving a military vehicle (special armored vehicles) with the help of a wheel drive load allows you to make the rolling of the wheel and its load smoother, which reduces noise when moving and uses the technological traction load more efficiently. A mathematical model of the movement of a vehicle with a wheel propulsion loaded with dynamic weights has been compiled.

Keywords: technology, vehicle, wheel, stabilization, lever.

