

ТЕОРІЯ КОЛІСНОГО РУШІЯ ВАНТАЖНОГО АВТОМОБІЛЯ З РОЗШИРЕНИМИ ЕНЕРГЕТИЧНИМИ МОЖЛИВОСТЯМИ

Петров Леонід Миколайович

кандидат технічних наук, доцент
Військова академія, м. Одеса, Україна
ORCID: 0000-0001-5709-9986
leonid.petrov2@gmail.com

Петрик Юрій Миколайович

старший викладач
Військова академія, м. Одеса, Україна
ORCID: 0000-0003-4589-4282
leonid.petrov2@gmail.com

Характер сучасних технологічних операцій за допомогою мобільних енергетичних засобів (МЕЗ) вимагає високої їх мобільності та працездатності. Переміщення МЕЗ в більшості випадків, як правило, здійснюється в несприятливих дорожніх умовах, бездоріжжі з мінімальним використанням допоміжних засобів поліпшення пересуванню автомобіля та засобів «стримання» рухомості.

Від МЕЗ залежить безпосередньо і підтримання якості виконання самих технологічних операцій, зокрема як тягове навантаження, так і систем підтримки сили тяги, швидкості руху. Виходячи з цього, новітні технології поліпшення пересування МЕЗ є запорукою успішного проведення технологічних операцій. Основними напрямками реалізації цієї мети є: глибока модернізація наявних ходових систем автомобільної та допоміжної техніки з використанням новітніх технологій, що доведе їх технологічну придатність до можливості та рівня стандартів Європейського Союзу.

Створення українського МЕЗ може бути розміщене на базі повнопривідного шасі, що створене за спеціальними технічними вимогами до конструктивного удосконалення ходової системи.

МЕЗ яке буде призначене для монтажу чи під'єднання установок спеціального призначення – колісний рушій з глибокою модернізацією. Такий рушій може бути обладнаний спеціальною біговою доріжкою для переміщення динамічної ваги, що дозволяє зменшити буксування і забезпечення стабілізації заданого напрямку руху. У такій глибокій модернізації конструкції передбачено кріплення важеля для керуванням підпружиненими динамічними вагами. Така технологія переміщення автомобіля за допомогою навантаження колісного рушія дозволяє кочення колеса та його навантаження зробити більш м'якішим, що зменшує шум при пересуванні та більш якісно використовувати технологічне тягове навантаження.

Складено математичну модель руху МЕЗ з колісним рушієм навантаженим динамічними вагами.

Ключові слова: технологія, операція, модель, енергетичний засіб, колесо, стабілізація, важіль.

DOI <https://doi.org/10.32845/msnau.2021.4.5>

Вступ

Одне з найважливіших завдань вирішення продовольчої проблеми будь-якої країни – всевітнє підвищення ефективності с.-г. виробництва, насамперед, шляхом зниження енерговитрат на обробіток ґрунту й усунення негативного впливу енергетичних засобів (тракторів, комбайнів, автомобілів) на ґрунтову екологію, а також розробка передових технологій обробітку сільгоспкультур, які забезпечують збереження родючості земель.

Задля зниження ущільнювальної дії на ґрунт колісних тракторів до допустимого рівня, зменшення опору руху машин ґрунтом, підвищення тягово-зчіпних властивостей тракторів використовують шини, що мають більший діаметр і ширину, регулярно перевіряють у них тиск і змінюють його відповідно до виконуваної агротехнічної операції і навантаження, агрегатують трактор за нижчого баластного навантаження, яке забезпечує рух без значного буксування, використовують передні і задні здвоєні шини.

Усі вказані способи спрямовані на збільшення площі контакту шини з ґрунтом, що напряму впливає на зниження питомого тиску рушіїв на нього. Так, наприклад, зниження тиску повітря від 0,18 до 0,08 МПа в шинах 16,9R30 засвідчило, що за навантаження на колесо в 16,07 кН максимальний тиск на ґрунт знижується на 33%. У зв'язку з тим, що нормальні навантаження на колеса трактора змінюються в широких межах, а трактори працюють на ґрунтах із різною деформацією, рівень внутрішнього тиску повітря в шинах рекомендується заводом-виробником із деяким запасом, що унеможливує перевищення деформацій понад допустимі межі. Так, для шини 15,5R38 (трактор МТЗ-80) мінімально допустимому рівню тиску – 0,098 МПа – відповідає нормальне навантаження – 14,27 кН, а трактор під час роботи на холостому ході створює навантаження на шину всього лишень 10,5 кН. Колесо в таких умовах працює як жорстке, що спричинює збільшення деформації ґрунту. Таким чином, слід систематично регулювати

тиск у шинах залежно від навантаження на них і типу ґрунту. Також краще застосовувати, замість діагональних, радіальні шини. Їхня перевага – у збільшеній площі контакту з опорною поверхнею, зниженому тиску повітря за однакової здатності витримувати вертикальні навантаження і аналогічних типорозмірів порівняно з діагональними шинами. Колісні трактори, обладнані радіальними шинами, забезпечують менший (на 20–25%) тиск на ґрунт і мають вищу прохідність під час роботи на м'яких ґрунтах. Ефективним способом підвищення тягово-зчіпних якостей, зменшення питомого тиску на ґрунт і поліпшення прохідності трактора є збільшення площі контакту рушіїв із ґрунтом шляхом застосування широкопрофільних, аркових, шин напівгусеничного ходу та здвоєних коліс.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми.

Відомо спосіб переміщення мобільного енергетичного засобу (Molodan, 2019, р. 48–53), який включає (Рис. 1, 2): двигун 1, який встановлюють на колісний рушій 2 та ведені колеса 3. Колісні рушії та ведені колеса встановлюють на опорну поверхню 4. Локальні пружні елементи 5 закріплюють на основному протекторі 6 фіксуючими штифтами 7. Спосіб переміщення мобільного засобу здійснюють наступним чином. Від двигуна 1 за допомогою трансмісії (на кресленні не показано) крутний момент передають колісним рушійам 2. Мобільний засіб починає рухатись на ведених 3 та ведучих 2 колесах. В зоні плями контакту колісних рушіїв з опорною поверхнею 4 локальний пружний елемент 5, вигнутий до початку деформації шини в зону прилягання до основного протектора 6, стрімко вигинається у протилежну сторону, тобто, в напрямку до контакту з опорною поверхнею 4. Це пояснюється тим, що протектор шини розтягується і вигнутий у його сторону локальний пружний елемент при розтягуванні основного протектора вигинається у протилежну сторону.

Таким чином, у зоні плями контакту шини з опорною поверхнею створюють імпульс локального пружного

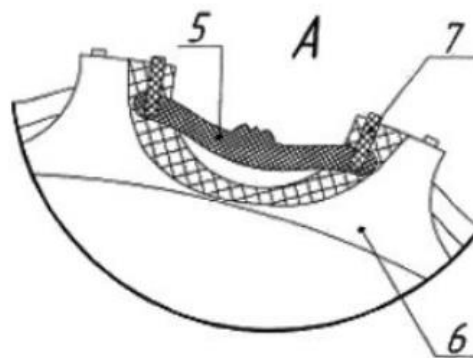


Рис. 2. Деформаційний елемент у протекторі

елемента, швидкість зміни якого дорівнює сумарній силі, що діє на локальний пружний елемент. Таким чином, періодична дія імпульсу локального пружного елемента в зоні плями контакту шини колісного рушія з опорною поверхнею дозволяє підвищити ефективність використання потужності двигунів трактора, зменшити буксування коліс та питому витрату палива.

Відомий спосіб Петрова-Борисенка підвищення прохідності тяговотранспортної системи (Molodan, 2018, р. 14–18), який включає (Рис. 3, 4, 5) колісний рушій 1, на якому закріплений зубчастий протектор 2. Колісний рушій встановлений на ступицю 3 тягово-транспортної системи. До ступиці хомутами 4 та 5 жорстко закріплений керуючий циліндр 6, в корпусі 7 розташований поршень 8, до якого приєднані штоки 9 та 10, на які вільно насажені пружини 11, 12 стиснення. Шарнірами 13 та 14 до протектора приєднані накладні зубчасті протектори 15 та 16, форма зубців 17 та впадин 18 яких відповідає формі зубців 19 та впадин 20 протектора колісного рушія. Аналогічно форма зубців 21 та впадин 22 накладного зубчастого протектора 16 відповідає формі зубців 19 та впадин 20 протектора колісного рушія. Вільні кінці накладних протекторів 15 та 16, шарнірами 23, 24

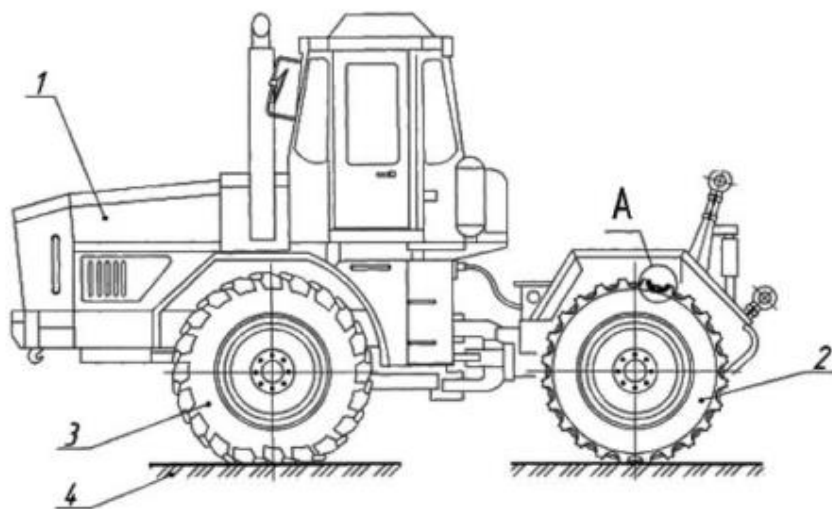


Рис. 1. Мобільний засіб виконаний з деформаційним елементом по декларативному патенту «Спосіб переміщення мобільного засобу»

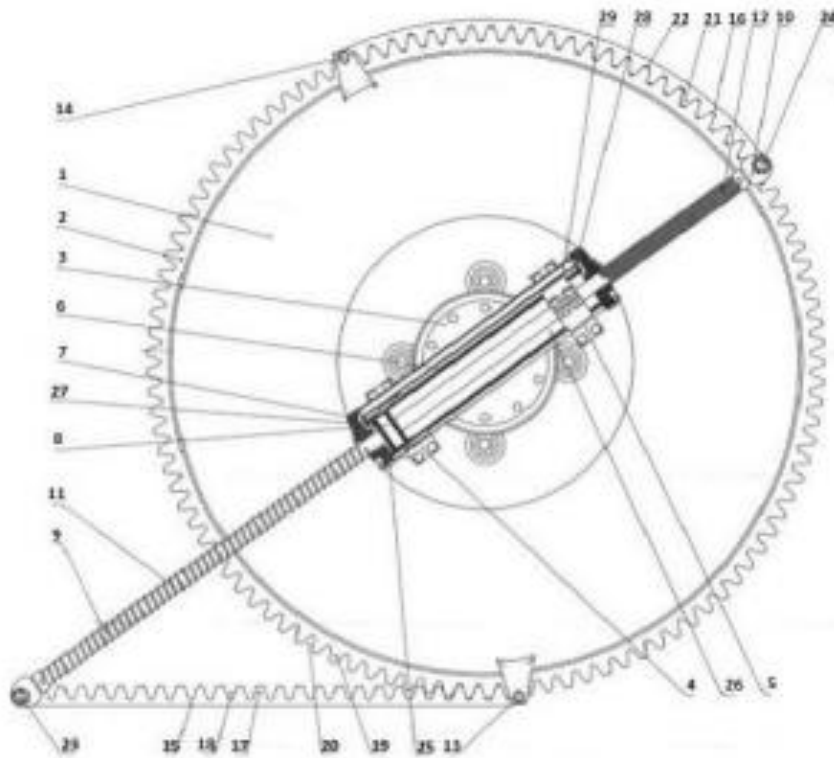


Рис. 3. Креслення згідно способу Петрова-Борисенка, щодо підвищення прохідності тягово-транспортної системи

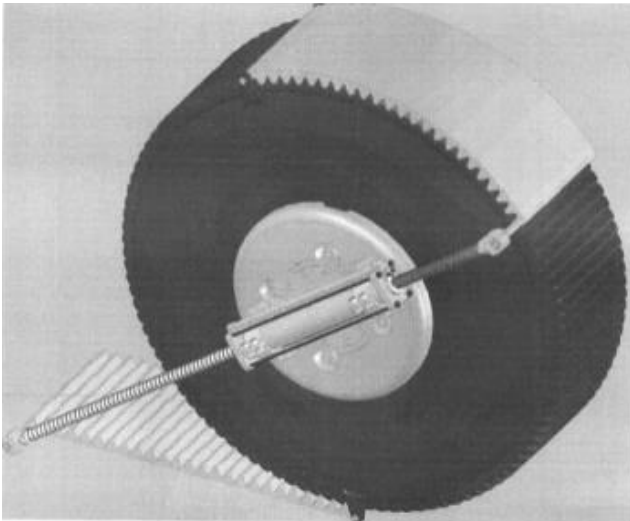


Рис. 4. Загальний вигляд колісного рушія по декларативному патенту «Спосіб Петрова-Борисенка підвищення прохідності тягово-транспортної системи»

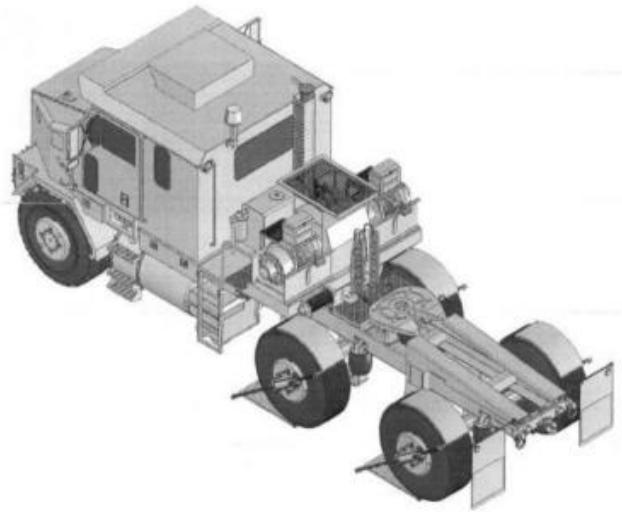


Рис. 5. Загальний вигляд автомобіля з удосконаленими колісними рушіями

з'єднані зі штоками 9, 10. Порожнини 25 і 26 циліндра з'єднані отворами 27 і 28 та проводом 29 з'єднані між собою. Робочий процес підвищення прохідності тягово-транспортної системи, здійснюється таким чином: до ступиці 3 від двигуна через трансмісію (яка на кресленні не показана) підводиться крутний момент. При цьому ступиця 3 приводить в обертальний рух колісний рушій 1. Разом з колісним рушієм 1 приводиться в оберталь-

ний рух зубчастий протектор 2 та закріплений хомутами 4, 5 керуючий циліндр 6 разом з поршнем 8 та штоками 9, 10 і пружинами 11, 12. При цьому зубчастий протектор 2 зубцям 19 втискується у впадини 18 13 накладного протектора 15, а зубці 17 накладного протектора втискуються у впадини 20 зубчастого протектора 2 колісного рушія 1. Обертаючись, колісний рушій 1 шарніром 13 примушує накладний протектор 15 вигинатися, охоплю-

ючи зубці 19 колісного рушія 1, а шарнір 23 притискає до опорної поверхні накладний протектор 15. Одночасно шток 9 з поршнем 8 переміщується в напрямку вільної зони від навантаження колісного рушія 1, на якій розташований шарнір 24. При цьому шарнір 23 разом зі штоком 9, під час обертання колісного рушія 1, переміщується до осередку колісного рушія 1, стискаючи пружину 11, а шарнір 24 рухається в напрямку вільної зони колісного рушія, 1 розгортаючи накладний протектор 16. При цьому пружина 12 розтягується, зубці 21 накладного протектора 16 звільняються із впадин 18 зубчастого протектора 2, а впадини 22 накладного протектора 16 вивільняють зубці 19 зубчастого протектора 2 колісного рушія 1. Таким чином створюється зона майбутньої «плями контакту» між шарнірами 14 та 24. Переміщення поршня 8 по керуючому циліндру 6 ближче до зони вільної від навантаження колісного рушія 1 примушує рідину із порожнини 22 керуючого циліндра 6 через отвір 28 та провід 29 і отвір 27 перейти в порожнину 25, забезпечуючи стабілізацію положення поршня 8 згідно з кутом повороту колісного рушія 1 відносно опорної поверхні.

Таким чином, запропонований спосіб «Петрова-Борисенка підвищення прохідності тягово-транспортної системи» створює додаткову штучну опорну поверхню для тягово-транспортної системи, розширює можливості колісного рушія 1 для збільшення його тяги та поєднує можливості колісного та гусеничних рушіїв. Застосування накладного протектора на колісний рушія, який навантажений і сегмент навантаження якого визначають центральним кутом повороту деформованої опорної поверхні, дозволяє підвищити прохідність тягово-транспортної системи, створити додаткову штучну опорну поверхню для тягово-транспортної системи, розширити можливості колісного рушія для збільшення його тяги та поєднати функції колісного та гусеничних рушіїв. Такий перелік операцій дозволяє розширити можливий діапазон тягової динаміки тягово-транспортної системи, змен-

шити час на її розгін та підвищити мобільність тягово-транспортної системи.

Відомий спосіб «Лягушка» переміщення мобільного енергетичного засобу конструкції Л.М. Петрова (Kolrahchyan, 2015, р. 125–136), який здійснюють таким чином (Рис. 6): від енергетичного модуля 1 крутний момент за допомогою кінематичного зв'язку подається на центральний редуктор 2. За допомогою карданних шарнірів 15, 16 та 17, 18 карданних валів 19, 20 крутний момент подається на кінцеві передачі 21, 22 колісних рушіїв 10, 11. Таким чином мобільному енергетичному засобу надають рух. При зміні опору руху на передніх чи задніх колісних рушіях пружинним елементом примушують передній колісний рушія (при виникненні на ньому додаткового опору) перестрибнути через бар'єр чи підтягнуть задні колісні рушія (при виникненні на них додаткового тягового опору) перестрибнути через цей бар'єр.

Мета та завдання дослідження

Мета: вдосконалення технології передачі крутного моменту від двигуна до колісних рушіїв шляхом створення нової конструкції колісного рушія мобільного енергетичного засобу.

Завдання: розробити конструкцію тягового МЕЗ з колісними рушіями, які навантажені динамічними вагами.

Викладення нового матеріалу

Уявимо собі, що по гладкій внутрішній поверхні диска колеса МЕЗ з верхньої його частини перекочується вага. Колесо МЕЗ рухається з постійною швидкістю u_0 , рис. 1, (Petrov, 2009, р. 1-3; Petrov, 2014, р. 1-3).

Мета: визначити яку швидкість вага буде мати в зоні плями контакту, тобто, коли вага буде в зоні контакту шини з опорною поверхнею.

Зв'яжемо осі координат з колесом МЕЗ, рис. 2.

Для вирішення поставленої задачі використовуємо закон змінення механічної енергії і ваги за час, від початку її руху від верхньої частини диска до нижньої тобто, коли вага буде в нижній точці диска.

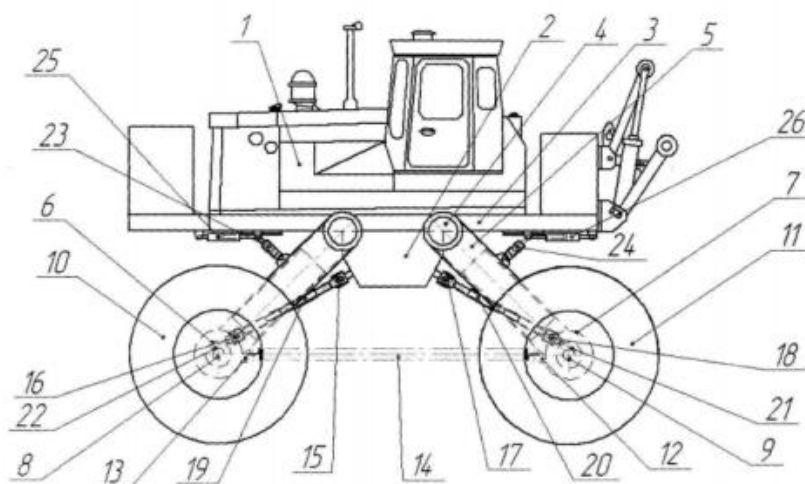


Рис. 6. Мобільний засіб виконаний по декларативному патенту «Спосіб «Лягушка» переміщення мобільного енергетичного засобу конструкції Л.М. Петрова»

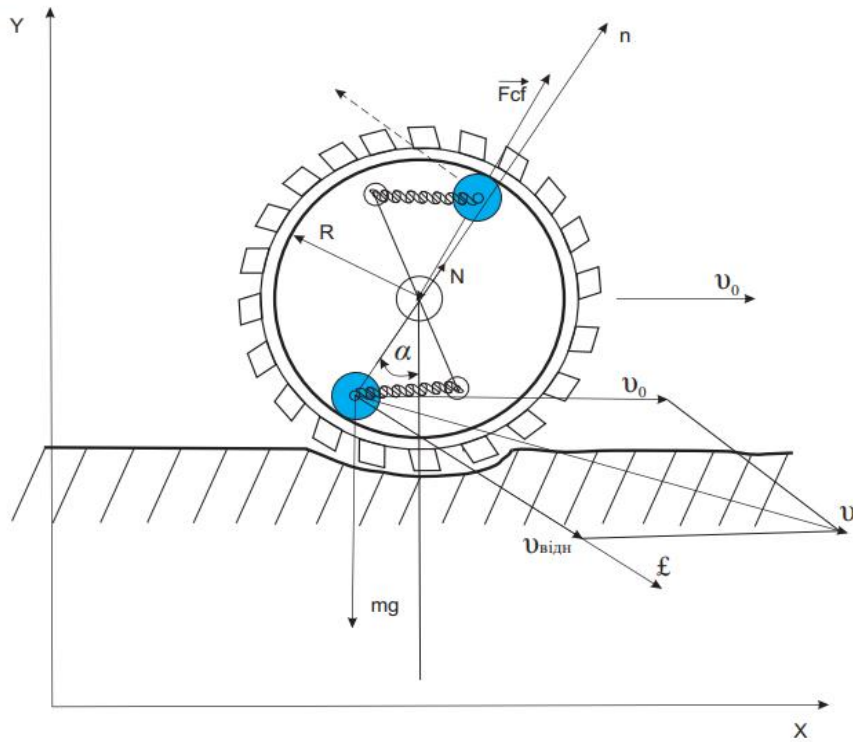


Рис. 7. Колесо МЕЗ з додатковою динамічною вагою

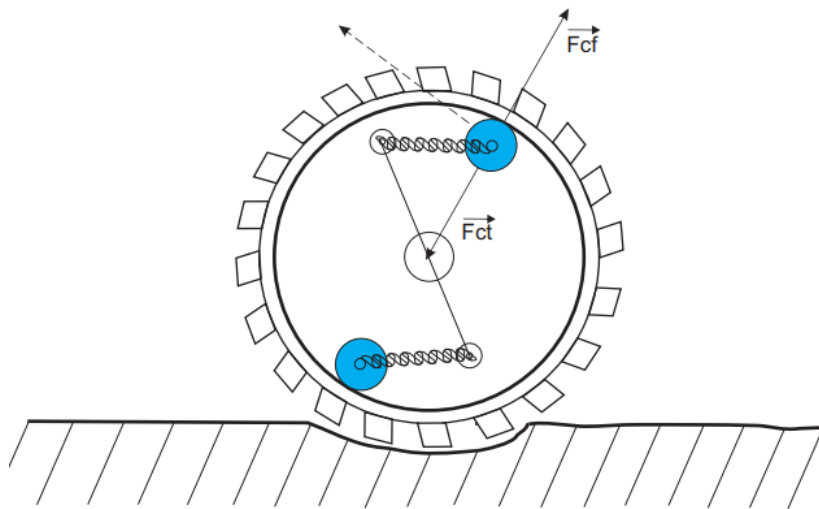


Рис. 8. Фізична модель колеса МЕЗ з додатковою динамічною вагою

Змінення механічної енергії рухомої ваги при її русі від верхньої точки диску до нижньої точки диску буде представлено різницею потенційної та кінетичної енергії.

$$(E_b^n + E_b^k) - (E_h^n + E_h^k) = A \quad (1)$$

де $E_b^n - E_h^n = mgr$ – змінення потенційної енергії за розглядаємий інтервал часу

$E_b^k - E_h^k = \frac{mv^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2}$ – зміна кінетичної енергії рухомої ваги за розглядаємий інтервал часу;

A – робота зовнішніх сил.

Зовнішньою силою згідно, рис. 2 являється сила нормальної реакції, яка діє зі сторони диску колеса МЕЗ на динамічну вагу.

Робота цієї сили за невеликий проміжок часу Δt може бути представлена формулою:

$$\Delta A = N * v dt \quad (2)$$

Для визначення сили N використовуємо природні осі системи координат, які зв'яжемо з колесом МЕЗ. З цією метою запишемо рівняння руху ваги відносно природних осей системи координат в проекціях на нормальну n та тангенціальну t осі (Lobas, 2008, р. 331-335).

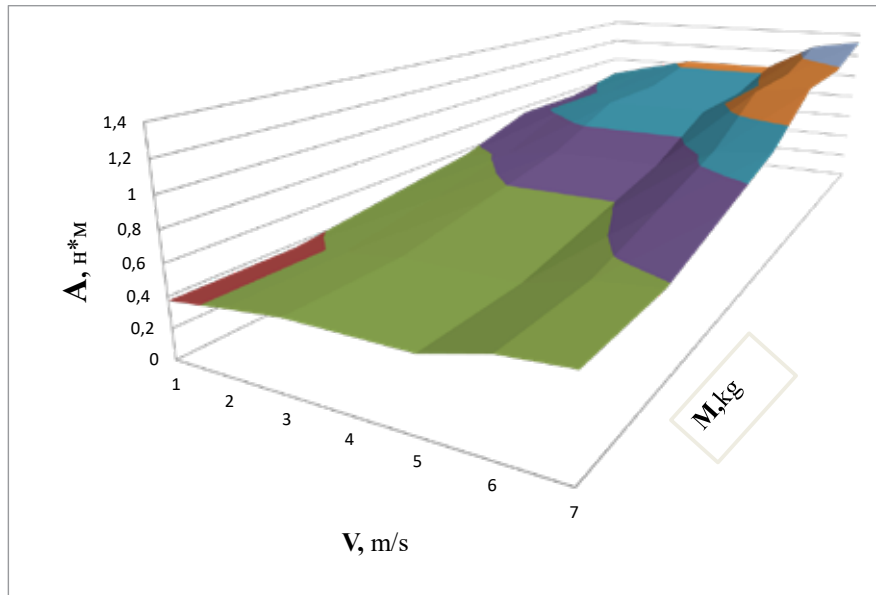


Рис. 9. Графік залежності роботи A , яку здійснює сила нормальної реакції опору в природній системі відліку

$$\frac{mv_{\text{відн}}^2}{R} = N - mq \cos \alpha \quad (3)$$

Після диференціювання отримуємо

$$\frac{mdv_{\text{відн}}}{dt} = mq \sin \alpha \quad (4)$$

де m - маса динамічної ваги;

v від n модуль швидкості рухливої ваги відносно диску колеса МЕЗ;

α кут між віссю n та вертикальною віссю.

У наведеній системі відліку яку нами пов'язано з колесом МЕЗ, рухлива вага рухається по колу радіуса R , отже:

$$v_{\text{відн}} = -R \frac{d\alpha}{dt} \quad (5)$$

Узагальнену швидкість руху динамічної ваги відносно природної системи відліку осей координат буде:

$$v = v_0 + v_{\text{відн}} \quad (6)$$

За допомогою попередніх рівнянь можна визначити кінематичні характеристики руху досліджуємої ваги.

Елементарна робота, яку виконує динамічної ваги:

$$\delta A = mv_0 \sqrt{\frac{qR \cos \alpha}{2}} \sin \alpha * d\alpha \quad (7)$$

Робота A , яку здійснює сила нормальної реакції опору в природній системі відліку та інтервалі часу від початку руху до моменту попадання динамічної ваги в зону плями контакту колеса МЕЗ з опорною поверхнею буде мати вигляд, формула 10:

$$A = \int_{\frac{\pi}{2}}^0 mv_0 \sqrt{\frac{qR \cos \alpha}{2}} \sin \alpha d\alpha \quad (8)$$

$$A = m\sqrt{2qRV_0} \quad (9)$$

Отримана формула для роботи A динамічної ваги дозволяє отримати закон зміни механічної енергії колеса МЕЗ:

$$mqR + \frac{mv^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2} = m\sqrt{2qRV_0} \quad (10)$$

Тоді шляхом рішення наведеного рівняння, відносно швидкості рухливої ваги в зоні плями контакту колеса МЕЗ з опорною поверхнею, отримуємо формулу швидкості для колеса МЕЗ:

$$v = V_0 + \sqrt{2qR} \quad (11)$$

Матеріали та методи досліджень

Для виявлення впливу на роботу A , яку здійснює сила нормальної реакції опору в природній системі відліку та інтервалі часу від початку руху до моменту попадання рухомої ваги в зону плями контакту колеса МЕЗ з опорною поверхнею, розглянемо формулу 10 в середовищі EXEL. Отримані результати представимо на графіку 1.

Висновки

В результаті проведених досліджень МЕЗ з модернізованими колісними рушіями:

1. Проведений патентний пошук напрямків модернізації колісних рушіїв МЕЗ дозволив виявити можливі напрямки модернізації колісного рушія з використанням динамічної ваги.
2. Для модернізації колісного рушія запропоновано на диску колеса встановити динамічну вагу.
3. Проведені дослідження на полігоні ОФ НАТІ виявили перевагу модернізованих коліс з динамічною вагою в порівнянні з існуючими в силі тяги на 35%.
4. По результатам дослідів було побудовано графічну залежність виконаної МЕЗ роботи від швидкості та динамічної ваги.
5. Розроблено макет колеса МЕЗ.
6. По результатам проведених досліджень було оформлено матеріали на декларативний патент і які було направлено до Укрпатенту.

Бібліографічні посилання:

1. Petrov L.M. (2009) «Sposib udoskonalennya obertal'noho rukhu kolisnoho rushiya avtomobilya [Method of improving the rotational movement of the wheel drive of the car]. Kyiv: Patent № 42929, Byul. № 7 (in Ukrainian)
2. Petrov L.M. (2014) «Sposib peremishchennya mobil'noho zasobu» [Method of moving a mobile energy supply] Kyiv: Bul. № 1 (in Ukrainian).
3. Lobas L.H., Lobas Lyudm. H. (2008) «Teoretychna mekhanika: Pidruchnyk dlya studentiv vyshchyykh tekhnichnykh navchal'nykh zakladiv» [Theoretical mechanics: Textbook for students of higher technical educational institutions.] Kyiv: 406 p. p. 331–335. (in Ukrainian).
4. Podryhalo M.A., Abramov D.V., Tarasov YU.V., Efymchuk V.M., (2015) «Énerhetycheskaya ékonomychnost' avtomobilya y krytery yë otsenky,» [Energy efficiency of the car and criteria for its evaluation] Visnyk natsional'noho tekhnichnoho universytetu «KHPI». Zbirnyk naukovykh prats'. Seriya: Avtomobile- ta traktorobuduvannya. Kharkiv: № 40(1119). p. 28–37. (in Ukrainian).
5. Molodan A.A., Polyanskiy A.S. (2018) «Teoreticheskiye raschety odnositel'nogo dopolnitel'nogo raskhoda topliva pri otklyuchenii tsylindrov», [Theoretical calculations of the relative additional fuel consumption when the cylinders are turned off] Inzheneriya prirodokoristuvannya, Kharkiv: № 2(10). p. 14–18. (in Ukrainian).
6. Podrigalo M.A., Artomov N.P., Abramov D.V., Shulyak M.L., (2015) «Otsenka dopolnitel'nykh energeticheskikh poter pri ustanovivshemsya rezhime dvizheniya transportno-tyagovykh mashin» [Assessment of additional energy losses in the steady state mode of movement of transport and traction machines] Visnyk natsional'noho tekhnichnoho universytetu «KHPI». Zbirnyk naukovykh prats'. Seriya: Avtomobile- ta traktorobuduvannya, Kharkiv: № 9 (1118),. p. 98–107. (in Ukrainian).
7. Kolpachyan P.G., Zarifyan A.A. (Jr), (2015) “Study of the asynchronous traction drive’s operating modes by computer simulation. Problem formulation and computer model,” Transp. Prob. Int. Sci. J, vol. Kharkiv:10, is. 2,. pp. 125–136. (in Ukrainian).
8. Molodan A.O., (2019) «Pidvyshchennya enerhetychnoyi efektyvnosti kolisnykh mashyn metodom vidklyuchennya tsylindriv v avtotraktornomu dvyhuni» [Improving the energy efficiency of wheeled vehicles by the method of turning on cylinders in an autotractor engine]. Kharkiv: vyp. 10, vyp. 2,. p. 48–53. (in Ukrainian).
9. Molodan A.O., (2018) «Metod vyznachennya dodatkovykh vytrat enerhiyi vyklykanykh nerivnomirnistyu krutnoho momentu dvyhuna pry vidklyuchenni tsylindriv» [A method for determining additional energy inputs for estimating the uneven torque of the engine when the cylinders are turned on], Visnyk mashynobuduvannya ta transportu: Kharkiv: № 2. (in Ukrainian).

Petrov L. M., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Military Academy, Odessa, Ukraine

Petryk Yu. M., Senior Lecturer, Military Academy, Odessa, Ukraine

THE THEORY OF WHEELED PROPULSION OF A MOBILE ENERGY VEHICLE WITH ADVANCED ENERGY CAPABILITIES

The nature of modern technological operations with the help of mobile energy means (MEZ) requires their high mobility and efficiency. Movement of MEZ in most cases, as a rule, is carried out in unfavorable road conditions, off-road with minimal use of aids to improve the movement of the car and means of “restraint” mobility.

The maintenance of the quality of the technological operations themselves, in particular both the traction load and the traction force and speed support systems, depends directly on the MEZ. Based on this, the latest technologies to improve the movement of MEZ is the key to successful technological operations. The main directions of realization of this purpose are: deep modernization of the existing running systems of automobile and auxiliary equipment with use of the newest technologies that will prove their technological suitability to possibility and level of standards of the European Union.

Creation of the Ukrainian MEZ can be placed on the basis of the all-wheel drive chassis created according to special technical requirements for constructive improvement of the running system.

MEZ which will be intended for installation or connection of special purpose installations is a wheeled engine with deep modernization. Such a propulsion system can be equipped with a special treadmill to move the dynamic weight, which reduces slippage and stabilizes the specified direction of movement. In such deep modernization of a design fastening of the lever for management of spring-loaded dynamic scales is provided. This technology of moving the car by means of wheel load allows to make the wheel rolling and its load softer, which reduces noise when moving and better use of technological traction load.

A mathematical model of MEZ motion with a wheel drive loaded with dynamic scales is compiled.

Key words: technology, operation, model, energy means, wheel, stabilization, lever.

Дата надходження до редакції: 29.11.2021 р.