



• © С.П. Пожидаєв, канд. техн. наук, доцент (НУБіП України)

УТОЧНЕННЯ МЕХАНІЧНОЇ МОДЕЛІ ЕЛАСТИЧНОГО КОЛЕСА

Анотація. Еластичне колесо не можна розглядати у вигляді монолітного затверділого тіла, взаємодія якого з опорною поверхнею відбувається на плечі, рівному динамічному радіусу. У останньому разі колесо варто розглядати у вигляді двох твердих тіл, шарнірно з'єднаних між собою – колісного диска і важеля, кутова швидкість обертання якого дещо більша, ніж диска. Та з такої моделі випливає правомірність застосування і найпростішої моделі колеса – у вигляді монолітного недеформованого тіла, взаємодія якого з опорною поверхнею відбувається на плечі, рівному радіусу кочення, взятому без врахування буксування чи проковзування.

Ключові слова: еластичне колесо, динамічний радіус, радіус кочення.

Аннотация. Эластичное колесо нельзя рассматривать в виде монолитного затвердевшего тела, взаимодействие которого с опорной поверхностью происходит на плече, равном динамическому радиусу. В последнем случае его следует рассматривать в виде двух твердых тел, шарнирно соединенных между собой – колесного диска и рычага, угловая скорость вращения которого несколько больше, чем диска. Но из такой модели следует правомерность применения и самой простой модели колеса – в виде монолитного недеформируемого тела, взаимодействие которого с опорной поверхностью происходит на плече, равном радиусу качения, взятому без учета буксования или проскальзывания.

Ключевые слова: эластичное колесо, динамический радиус, радиус качения.

Annotation. An elastic wheel can not be regarded as a monolithic hardened body, whose interaction with the supporting surface occurs on the shoulder equal to the dynamic radius. In the latter case it should be considered as two solid bodies pivotally interconnected – a web of wheel and a lever, the angular speed of which is slightly larger than the web is one. The legitimacy of application of the simplest model of wheel is because of such a model – in the form of a monolithic non-deformable body, whose interaction with the supporting surface occurs on the shoulder equal to the effective rolling radius, taken without slipping or sliding.

Keywords: elastic wheel, loaded radius, effective rolling radius.

Вступ

У статті [1] показано, що рівняння, яке за допомогою динамічного радіуса встановлює взаємозв'язок між прикладеними до еластичного колеса крутним моментом і силою тяги, є помилковим, бо суперечить закону збереження енергії.

Однак з формально-математичного погляду – це рівняння абсолютно коректно впливає з умови рівноваги колеса (поданого у вигляді монолітного затверділого тіла) під дією прикладених до нього сил і моментів. Це дає підстави припустити, що джерелом некоректності може бути механічна модель елас-

тичного колеса у вигляді монолітного затверділого тіла, яке взаємодіє з опорною поверхнею на плечі, рівному динамічному радіусу.

Метою дослідження є уточнення теорії кочення еластичного колеса шляхом перевірки коректності його механічної моделі, поданої у вигляді затверділого монолітного тіла, яке взаємодіє з опорною поверхнею на плечі, рівному динамічному радіусу.

Основна частина

Розглянемо найпростіший випадок руху колеса по твердій опорній поверхні (рис. 1).

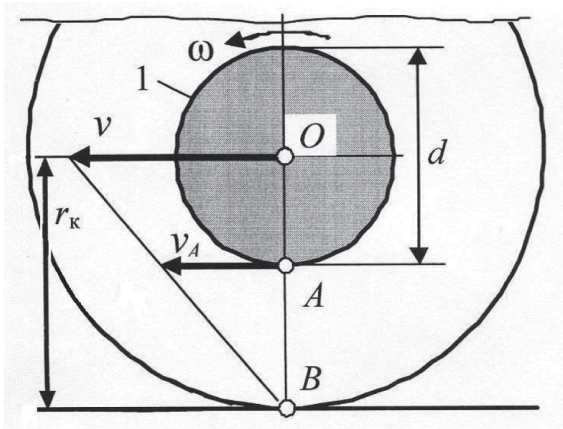


Рис. 1. Епюра розподілу лінійних швидкостей руху точок недеформованого колеса у перерізі OAB

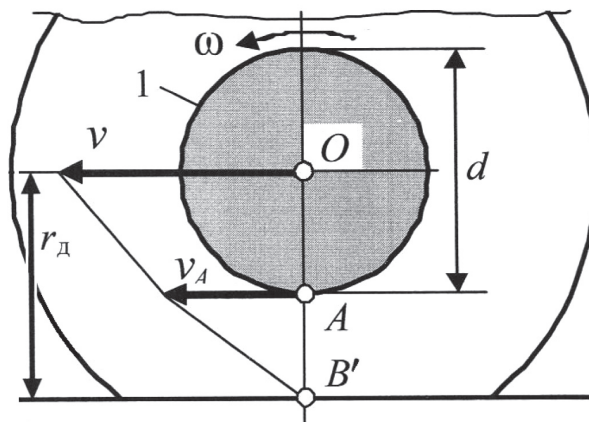


Рис. 2. Епюра розподілу лінійних швидкостей руху точок еластичного колеса у перерізі OAB'

Припустимо, що воно має таке мале нормальне навантаження, при якому нормальна деформація шини практично відсутня, завдяки чому колесо можна розглядати як недеформоване. Припустимо також, що диск 1 колеса приводиться у рух з кутовою швидкістю ω , а буксування чи проковзування колеса відносно опорної поверхні відсутнє. У такому разі т. B – це миттєвий центр обертання колеса у його абсолютному русі, внаслідок чого лінійні швидкості руху точок O і A дорівнюватимуть:

- лінійна швидкість т. O :

$$v = \omega \cdot r_k, \quad (1)$$

де r_k – радіус кочення колеса (взятий без врахування його буксування чи проковзування), під яким, згідно з п.27 стандарту [2], розуміють відношення поздовжньої складової поступальної швидкості колеса v до його кутової швидкості ω або, що те ж, відношення поздовжньої складової L шляху, пройденого колесом, до кута його повороту α у площині обертання:

$$r_k = \frac{v}{\omega} \equiv \frac{L}{\alpha}; \quad (2)$$

- лінійна швидкість т. A колісного диска діаметром d :

$$v_A = v - \omega \cdot 0,5d = \omega \cdot (r_k - 0,5d). \quad (3)$$

Оскільки т. B – миттєвий центр обертання колеса, її лінійна швидкість і довжина вектора швидкості дорівнюють нулю.

З'єднавши прямими лініями кінці векторів швидкостей точок O , A і B прямими лініями, отримуємо епюру розподілу лінійних швидкостей точок колеса у перерізі OAB . Вона по всій довжині являє собою пряму лінію, що свідчить про однаковість кутових

швидкостей обертання недеформованого колеса у всьому згаданому перерізі.

Розглянемо другий випадок: нормальне навантаження на колесо велике, внаслідок чого спостерігається істотна нормальна деформація шини (рис. 2).

Та, незважаючи на нормальну деформацію шини, її бігова доріжка, маючи велику жорсткість в окружному напрямку, “...поводить себе при коченні колеса подібно тракторній гусеничній стрічці” [3, С. 38]. Завдяки цьому шлях L , пройдений деформованим колесом при його повороті на один оберт у площині обертання ($\alpha = 2\pi$), буде таким самим, як і у попередньому випадку.

Звідси випливає, що радіус кочення колеса (згідно з виразом (2)) та лінійна швидкість руху т. O (згідно з виразом (1)) будуть такими самими, як і у недеформованого колеса. На рис. 2 це відображено вектором v швидкості руху т. O такої ж довжини, як і на рис. 1.

Згідно з виразом (3) лінійна швидкість руху т. A теж не зміниться. Не зміниться також і лінійна швидкість т. B' , рівна нулю.

З'єднавши кінці векторів швидкостей точок O , A і B' прямими лініями, отримуємо епюру розподілу лінійних швидкостей точок деформованого колеса у перерізі OAB' . Вона є ламаною лінією, що свідчить про існування двох різних кутових швидкостей у згаданому перерізі. На ділянці OA кутова швидкість обертання залишиться тією ж, що і раніше, рівною ω . Однак на ділянці AB' кутова швидкість ω' дещо більша, бо на меншому, ніж у недеформованого колеса, плечі AB' (рівному $r'_d - 0,5d$) вона забезпечує отримання тієї ж лінійної швидкості v_A , що і у недеформованого колеса (див. вираз (3)):

$$v_A = \omega \cdot (r_k - 0,5d) = \omega' \cdot (r'_d - 0,5d).$$



Звідси випливає, що кутова швидкість ω' обертання ділянки AB' перерізу $OA B'$ деформованого колеса дорівнює:

$$\omega' = \omega \cdot \frac{(r_k - 0,5d)}{(r_d - 0,5d)}. \quad (4)$$

Через наявність двох різних кутових швидкостей у перерізі OAB' еластичне колесо не можна розглядати як монолітне затверділе тіло, що взаємодіє з опорною поверхнею на плечі, рівному динамічному радіусу.

Застосовуючи принцип затвердіння, еластичне колесо необхідно уявляти у вигляді **двох твердих тіл**, шарнірно з'єднаних між собою – колісного диска 1 з посадковим діаметром d , що обертається з кутовою швидкістю ω , і прикріпленого до нього важеля 2 довжиною $AB' = r_d - 0,5d$ (рис. 3), кутова швидкість обертання якого (ω') дещо більша, ніж ω , і визначається за виразом (4).

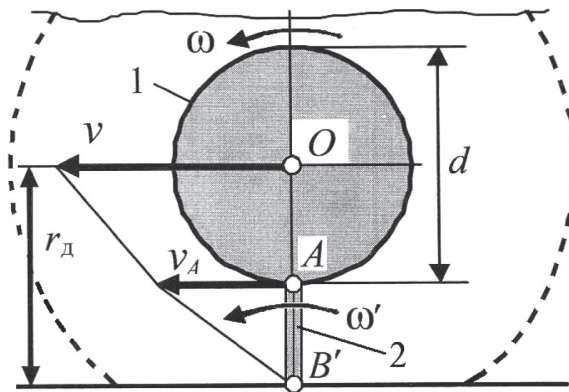


Рис. 3. Подання еластичного колеса у вигляді двох твердих тіл

Тільки у такому разі механічна модель колеса, яка спирається на динамічний радіус, буде надавати істинне значення поступальної швидкості руху т. O :

$$v = (r_d - 0,5d) \cdot \omega' + 0,5d \cdot \omega \equiv r_k \cdot \omega. \quad (5)$$

Сили, що діють у такій механічній системі, неможливо визначити за допомогою звичайного рівняння рівноваги під дією прикладених до системи сил і моментів.

Це можна зробити лише за допомогою балансу енергій і робіт [1], який свідчить про силову взаємодію еластичного колеса з опорною поверхнею на плечі, рівному радіусу кочення r_k , а не динамічному радіусу r_d . З другого боку, рівняння (5) вказує на можливість застосування і найпростішої моделі еластичного колеса – у вигляді монолітного

недеформованого тіла, яке взаємодіє з опорною поверхнею на плечі, рівному радіусу кочення, взятому без врахування буксування чи проковзування.

Можливе і зовсім просте пояснення непридатності застосування динамічного радіуса до еластичного колеса [4]. Оскільки його бігова доріжка “...поводить себе <...> подібно тракторній гусеничній стрічці”, то згадане колесо можна розглядати як окремий випадок гусеничного рушія, у якого відстань від центра ведучої зірочки до опорної поверхні (а така відстань є аналогом статичного чи динамічного радіуса колеса) не має жодного стосунку до кінематичних чи силових показників роботи рушія.

Висновки

Причиною некоректності рівняння, яке за допомогою динамічного радіуса встановлює взаємозв'язок між прикладеними до еластичного колеса крутним моментом і силою тяги, є хибне уявлення про те, що дане колесо можна розглядати як монолітне затверділе тіло, що взаємодіє з опорною поверхнею на плечі, рівному динамічному радіусу.

Насправді еластичне колесо варто розглядати як механічну систему двох твердих тіл, шарнірно з'єднаних між собою – колісного диска діаметром d і прикріпленого до нього важеля довжиною $r_d - 0,5d$, кутова швидкість обертання якого у $(r_k - 0,5d)/(r_d - 0,5d)$ разів більша, ніж кутова швидкість диска. Та з такої моделі випливає правомірність застосування і найпростішої моделі – у вигляді монолітного недеформованого тіла, взаємодія якого з опорною поверхнею відбувається на плечі, рівному радіусу кочення, взятому без врахування буксування чи проковзування.

ЛІТЕРАТУРА

1. Пожидаев С.П. К вопросу о радиусах эластичного колеса // Автошляховик України. – 2014. – № 4. – С. 6-8.
2. ГОСТ 17697-72. Автомобили. Качение колеса. Термины и определения. – Введ. 1972-05-06. – М.: Изд-во станд., 1972. – 24 с.
3. Работа автомобильного колеса / В.И. Кнороз, Е.В. Кленников, И.П. Петров и др. – М.: Транспорт, 1976. – 239 с.
4. Пожидаев С.П., Ляшенко П.Г. К вопросу о противоречии между балансом мощности и уравнениями равновесия колеса под действием приложенных к нему сил и моментов // Сб. Механизация и электрификация сельского хозяйства. – Вып. 45. – К.: Урожай, 1979. – С. 60-70.