УДК 629.3.032+629.3.028

Л.М. Петров, канд. техн. наук, доц., Одес. держ.
аграр. ун-т

ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ ВЕДУЧОГО МОСТУ АВТОМОБІЛЯ

Л.М. Петров. Фізико-математична модель робочого процесу ведучого мосту автомобіля. Розроблено методику розв'язання задач кочення колеса в умовах його зв'язку з шарами опорної поверхні шляхом застосування диференціальних рівнянь. Отримано математичні залежності для описання кочення колісного рушія по опорній поверхні з різними фізичними властивостями при його експлуатації в різних умовах.

Ключові слова: поверхня, колесо, рушій, момент, дотична сила тяги.

Л.Н. Петров. Физико-математическая модель рабочего процесса ведущего моста автомобиля. Разработана методика решения задач качения колеса в условиях его связи со слоями опорной поверхности путем применения дифференциальных уравнений. Получены математические зависимости для описания качения колесного движителя по опорной поверхности с разными физическими свойствами при его эксплуатации в различных условиях.

Ключевые слова: поверхность, колесо, движитель, момент, касательная сила тяги.

L.M. Petrov. Physico-mathematical model of drive bridge working process. The technique of solving the problems of wheel rolling in terms of its connection with the supporting surface layers with the use of differential equations is developed. The mathematical relationships are obtained to describe the rolling wheel mover on the supporting surface with different physical properties when operated under different conditions.

Keywords: surface, the wheel, mover, torque, tangential traction.

Суттєве удосконалення колісних рушіїв можливо тільки на ґрунтовних теоретичних та експериментальних дослідженнях. В багатогранності досліджень з оцінки якості колісних рушіїв [1...3] незначна увага приділяється забезпеченню заданого напрямку руху у відповідних умовах експлуатації автомобілів і тракторів. Актуальність полягає в виявленні чинників, які впливають на стабілізацію заданого напрямку руху автомобілів і тракторів. При зміні фізико-механічних характеристик опорної поверхні під колесами лівого та правого бортів автомобіля може виникнути некерований процес руху автомобіля. Пояснюється це тим, що в процесі відхилення напрямку руху автомобіля від заданого до передніх частин шин підходять елементи шини, стиснуті з меншою інтенсивністю. Це призводить до різних значень дотичної сили тяги правого та лівого бортів автомобіля. Такий процес приводить до виникнення кута відведення автомобіля від заданого напрямку руху, оскільки реактивний момент буде реалізовуватись у горизонтальній площині.

Для підвищення стабільності заданого напрямку руху тракторів і автомобілів на високих швидкостях пропонується враховувати горизонтальний реактивний момент.

Експлуатація тягового енергетичного засобу показує, що при незапрограмованих його відхиленнях від заданого напрямку руху всякий поперечний переріз його конструкції повертається відносно заданого напрямку руху (осі Z) як жорсткий брус, при цьому траєкторія руху перетворюється в елементи гвинтової лінії BS [4] (рис. 1).

Відхилення тягового енергетичного засобу від заданого напрямку руху у площині контакту колісних рушіїв з підпільною поверхнею приводять до зсувів та дотичних перетворень тягової сили, величина яких пропорційна підведеному до колісного рушія від енергетичної установки крутного моменту [5].

Для визначення дотичних перетворень тягового зусилля в плямі контакту з опорною поверхнею виділяються з неї елементи під правим і лівим колісними рушіями, які можна назвати плямою контакту з радіусом r ; довжина відстані між правим і лівим колісними рушіями dx (рис. 2).

При випередженні швидкості обертання одного з колісних рушіїв у площині опору виникають зсуви плями контакту, воно викривлюється та у першому наближенні буде схоже на овал. У випадку, коли під дією моменту M_x , підведеного від енергетичної установки одного з коліс, яке має невелике зачеплення з опорною площиною, колесо повертається на кут $d\varphi$, а точка K_1 переходить у положення K_{11} , одночасно ця точка пересунеться з колесом у напрямку руху транспортного засобу. Через те, що переміщення точки K_1 відбувається по дузі утворюючої колісного рушія, воно завжди перпендикулярне радіусу колеса, тому і інтенсивність дотичної сили тяги P_τ у опорній поверхні плями контакту, яка виникає при зсуві точки K_1 , буде також перпендикулярною радіусу.

При переході точки K_1 у положення K_{11} утворюючи K_1D , яка відповідає базі транспортного засобу, займе положення $K_{11}D$. Кут K_1DK_{11} назовемо кутом зсуву траєкторії $d\varphi$, тому що він показує величину змінення кута K_1DN між базою транспортного засобу і напрямом траєкторії його руху у процесі відхилення від заданого прямолінійного руху.

Враховуючи невелике значення величини $d\varphi$ та величину ширини між колісними рушіями dx , можна записати, що випередження колісного рушія, який обертається швидше,

$$K_1K_{11} = \gamma \cdot dx,$$

де γ — кут відносного зсуву траєкторії руху транспортного засобу або кут зсуву коліс одне від одного.

З другого боку, ця відстань

$$K_1K_{11} = r \cdot d\varphi,$$

де r — радіус колісного рушія.

Тому

$$\gamma \cdot dx = r \cdot d\varphi \quad (1)$$

або

$$\gamma = \left(\frac{d\varphi}{dx} \right) \cdot r. \quad (2)$$

Через те, що при пересуванні тягового транспортного засобу ступінь реалізації дотичної сили тяги на колісних рушіях буде характеризуватися інтенсивністю її прикладення у плямі контакту з опорною поверхнею, можливо застосувати закон пересування транспортного засобу, який математично має вигляд

$$P_\tau = I \cdot \gamma, \quad (3)$$

де I — коефіцієнт пропорційності, який характеризує фізико-механічні характеристики опорної поверхні та колісного рушія у межах пружної деформації останнього.

Рис. 1. Відхилення від заданого напрямку руху тягово-транспортного засобу

Рис. 2. Визначення дотичних перетворень тягового зусилля в плямі контакту колеса з опорною поверхнею

Коефіцієнт I будемо визначати при навантаженні колісного рушія на різноманітних опорних поверхнях у межах пружних деформацій колісного рушія.

Через те, що величина відносного зсуву γ безрозмірна, коефіцієнт I вимірюємо у тих одиницях, що й дотична сила тяги P_τ , тобто у паскалях чи мегапаскалях.

З виразу (3) випливає, що

$$\gamma = \frac{P_\tau}{I}. \quad (4)$$

Таким чином, чим більший коефіцієнт I для даного колісного рушія та типу опорної поверхні, тим менший γ при одній і тій же інтенсивності дотичної сили тяги, тобто спостерігається більш жорстка робота колісного рушія.

З рівнянь (2) і (4) маємо

$$\frac{P_\tau}{I} = \left(\frac{d\varphi}{dx} \right) \cdot r \quad (5)$$

або

$$P_\tau = I \cdot \left(\frac{d\varphi}{dx} \right) \cdot r. \quad (6)$$

Формула (6) визначає інтенсивність дотичної сили тяги, яка виникає у зоні контакту колісного рушія з опорною поверхнею при повороті першого на кут $d\varphi$ чи при утворенні кута γ .

Нехай

$$L = I \cdot \left(\frac{d\varphi}{dx} \right),$$

де L — величина постійна для даної опорної поверхні, конструкції ходової частини трансмісії проектного транспортного засобу, тоді

$$P_\tau = L \cdot r. \quad (7)$$

З формули (7) випливає, що P_τ у межах пружності колісного рушія розподіляється за лінійним законом.

У фронтальній площині

$$KK_1 = \gamma \cdot dx$$

або

$$KK_1 = r \cdot d\varphi.$$

З метою відтворення умови побудови дотичної сили тяги можна виділити під колісними рушіями окремий коловий елемент, який під дією крутячого моменту та кінематики колісних рухів обертається біля точки O , при цьому утворююча K_2K_{21} буде дорівнювати утворюючій KK_1 (рис. 3).

Тоді

$$K_2K_{21} = R \cdot d\varphi_1 = r \cdot d\varphi = KK_1,$$

де R — умовний радіус опорної поверхні, яка обертається.

У рівнянні (1) замінюється права частина

$$\gamma \cdot dx = R \cdot d\varphi_1,$$

звідки

$$\gamma = \frac{R \cdot d\varphi_1}{dx}.$$

З рівняння (4) випливає

$$\frac{P_\tau}{I} = \frac{R \cdot d\varphi_1}{dx},$$

$$P_\tau = I \cdot R \cdot \frac{d\varphi_1}{dx}.$$

Рис. 3. Відтворення умови побудови дотичної сили тяги

Отже, дотична сила тяги як на опорній поверхні (утворююча K_2K_{21}), так і на колісному рушії (утворююча K_1K_{11}) може бути визначена як

$$P_{\tau} = I \cdot R \cdot \frac{d\varphi}{dx} = I \cdot \frac{d\varphi_1}{dx}.$$

Інтенсивність дотичної сили тяги буде змінюватись за прямолінійним законом, а сама дотична сила тяги може бути реалізована і за межами колісного рушія.

Рівняння (4) дозволяє створювати нові підходи до конструктивної побудови колісного рушія.

При створенні реальних умов пересування тягового транспортного засобу, тобто коли опорна поверхня (див. рисунок 2) не може обертатись навколо точки О, інтенсивність розподілення дотичної сили тяги на колісних рушіях буде мати вигляд, зображений на рис. 4, а.

Рис. 4. Реальні умови пересування тягово-транспортного засобу (а)
і розподілення реактивного моменту у горизонтальній площині (б)

При інтенсивному навантаженні ведучого мосту дотичною силою тяги має місце навантаження колісних рушіїв реактивним моментом M_p (рис. 4, б).

Для реалізації оптимального значення дотичної сили тяги (рис. 4, а) пропонується схема підключення колісних рушіїв до енергетичної установки (рис. 5).

З проведених досліджень можна запропонувати кінематичну схему передавання крутного моменту до колісних рушіїв та їх взаємодії з опорною поверхнею.

Рис. 5. Оптимальна реалізація колісними рушійми тягового зусилля

В результаті математичних досліджень отримано залежності для обчислення дотичного навантаження P_k , опорного навантаження з інтенсивністю P_o

$$\frac{dM}{dx} = P_k$$

та

$$\frac{dP_k}{dx} = P_o,$$

де dP_k та dM — безкрайньо малі величини дотичної сили тяги та реактивного моменту, відповідно; dx — база автомобіля.

Умова заданого напрямку руху транспортного засобу полягає в тому, що друга похідна від реактивного моменту по осі колісного рушія дорівнює інтенсивності опорного навантаження.

$$\frac{d^2M}{dx^2} = P_o.$$

З викладеного можна зробити висновки:

Явище некерованого руху автомобіля відбувається з причини наявності горизонтального реактивного моменту, який керує цим процесом при тимчасовій втраті одним з ведучих рушіїв дотичної сили тяги.

Найбільш небезпечний процес некерованого руху автомобіля відбувається тоді, коли горизонтальний реактивний момент досягає максимуму. В такому випадку епюра дотичної сили тяги проходить через O , тобто виникає небезпечний процес некерованого руху автомобіля. Показано, що шляхом удосконалення конструкції ведучих мостів та рушіїв можна усунути явище некерованого руху.

Література

1. Вахламов, В.К. Техника транспорта. Эксплуатационные свойства подвижного состава / В.К. Вахламов, И.Н. Порватов. Ч. 2. — М.: МАДИ (ГТУ), 2004. — 64 с.
2. Петров, Л.М. Теорія колісного рушія з гнучким бандажем і динамікою навантаження гравітаційною складовою / Л.М. Петров // Аграр. вісн. Причорномор'я: зб. наук. пр. — Одеса, 2010. — № 49. — С. 57 — 59.
3. Петров, Л.М. Теорія транспортного засобу з імпульсно-силовою підтримкою / Л.М. Петров // Аграр. вісн. Причорномор'я: зб. наук. пр. — Одеса, 2006. — № 34. — С. 57— 59.

4. Петров, Л.М. Елементи теорії гравітаційного підвищення тягових можливостей трактора “Гравіметр” / Л.М. Петров, В.В. Земляк // Аграр. вісн. Причорномор’я: зб. наук. пр. — Одеса, 2007. — № 40. — С. 89 — 92.
5. Олійник, М.І. Експериментальні випробування планетарно-колісного рушія / М.І. Олійник // Наук. вісн. УкрДЛТУ: зб. наук.-техн. пр. — Львів, 2004. — № 14.3. — С. 155 — 161.

References

1. Vakhlamov, V.K. Tekhnika transporta. Ekspluatatsionnye svoystva podvizhnogo sostava [Machinery transport. Operational properties of rolling stock] / V.K. Vakhlamov, I.N. Porvatov // Part 2. — Moscow, 2004. — 64 p.
2. Petrov, L.M. Teoriia kolisnoho rushiia z hnuchkym bandazhem i dynamikoii navantazhennia hravitatsii-noiu skladovoii [Theory of wheeled mover with flexible bandage and dynamics of loading with gravity component] / L.M. Petrov // Ahrar. visn. Prychornomoria: zb. nauk. pr. [Agr. Bul. of the Black Sea Region: Coll. sci papers] — Odesa, 2010. — # 49. — pp. 57 — 59.
3. Petrov, L.M. Teoriia transportnoho zasobu z impulsno-sylovoii pidtrymkoii [Theory of a vehicle with pulsed-power support] / L.M. Petrov // Ahrar. visn. Prychornomoria: zb. nauk. pr. [Agr. Bul. of the Black Sea Region: Coll. sci papers] — Odesa, 2006. — # 34. — pp. 57 — 59.
4. Petrov, L.M. Elementy teorii hravitatsiinoho pidvyshchennia tiahovykh mozhlyvostei traktora “Hravitometr” [Elements of the theory of gravity improving of traction capabilities of the tractor “Gravimeter”] / L.M. Petrov, V.V. Zemliak // Ahrar. visn. Prychornomoria: zb. nauk. pr. [Agr. Bul. of the Black Sea Region: Coll. sci papers] — Odesa, 2007. — # 40. — pp. 89 — 92.
5. Oliinyk, M.I. Eksperymentalni vyprobuвання planetarno-kolisnoho rushiia [Experimental test of planetary wheel mover] / M.I. Oliinyk // Na-uk. visn. UkrDLTU: zb. nauk.-tekhn. pr. [Sci. Bul. of UkrDLTU] — Lviv, 2004. — #14.3. — pp. 155 — 161.

Рецензент д-р техн. наук проф. Одес. нац. політехн. ун-ту Оробей В.Ф.

Надійшла до редакції 24 жовтня 2013 р.