

УДК 629.113

І. Г. Грабар, д-р техн. наук, проф.;

Є. Г. Опанасюк, канд. техн. наук, доц.;

Д. Б. Бегерський;

С. О. Богатирчук, студ.

ОСОБЛИВОСТІ КІНЕМАТИКИ І ДИНАМІКИ ВЗАЄМОДІЇ БАГАТОКОЛІСНОГО РУШІЯ ЗІ СІПКИМ ҰРУНТОМ

Наведено обґрунтування необхідності проведення досліджень взаємодії багатоколісного рушія із сипкими ґрунтами. Подано результати експериментальних досліджень пружних властивостей пневматичних шин. Наведено опис експериментальної установки для дослідження процесів взаємодії багатоколісного рушія зі сипкими ґрунтами. Отримані рівняння потенціальної і кінетичної енергії для випадку взаємодії триколісного рушія з незалежною схемою приводу зі сипким ґрунтом.

Вступ

Аналіз матеріалів відомих теоретичних і експериментальних досліджень показує, що конструктори ще не мають достатньої інформації про динамічні властивості системи «колісний рушій — ґрунт». Крім того, існує потреба в удосконалюванні і самої методики розрахунку колісного рушія з урахуванням коливальних процесів, пов'язаних з нестационарними характеристиками тертя шини рушія і сипкого ґрунту.

У зв'язку з цим, роботи з експериментальних і теоретичних досліджень динаміки системи «автомобіль — ґрунт» для удосконалювання методики розрахунку приводу і шин рушія із заданими наперед пружно-демпферними характеристиками є актуальними.

Аналіз відомих робіт з питань взаємодії колісних рушіїв зі сипкими ґрунтами

При розгляді питання можливості руху автомобіля у важких дорожніх умовах найбільший інтерес викликає ведучий режим кочення. Як відомо [1], сила тяги на колесі у ведучому режимі визначається з рівняння;

$$P_p = \frac{M_k}{r_d} = G_a \phi, \quad (1)$$

де r_d — динамічний радіус колеса.

З рівняння (1) видно, що сила тяги автомобіля суттєво залежить від сили зчеплення, яка в свою чергу є функцією коефіцієнта зчеплення.

За [1] коефіцієнт зчеплення шини з ґрунтом можна визначити з формули

$$\phi = [k_n G_k \phi_T +] (1 - k_n) (F_k c_0 + G_k \phi_0) / G_k. \quad (2)$$

З цієї залежності (2) видно, що коефіцієнт зчеплення в значній мірі залежить від конструкції шини, навантаження на колесо та характеристик ґрунту. Формула (2) свідчить про залежність величини коефіцієнта зчеплення від властивостей ґрунтових утворень, і, насамперед, від величини опору ґрунту зсуву.

Наявність нестационарних характеристик внутрішнього тертя, а також пружних елементів приводу і самої шини, є причиною виникнення автоколивань в плямі контакту шини з опорною поверхнею.

Одночасно, дослідження [1] показали, що пісок під дією вібрацій набуває властивостей в'язкої рідини і величина коефіцієнта вібров'язкості невизначено велика для масиву ґрунту, що знахо-

диться в стані спокою, під дією вібрацій може знижуватись до величини, яку має така речовина як гліцерин (рис. 1).

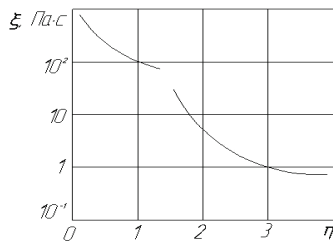


Рис. 1. Залежність вібров'язкості піску від прискорення вібрацій

Враховуючи викладене, можна з впевненістю констатувати, що на динаміку автомобільного колеса значний вплив здійснюють пружні властивості шини, особливості дотичного деформування ґрунтів і виникнення автоколивань при взаємодії шини з ґрунтом.

Рушій і опорно-тягові якості АВП

Аналіз конструкцій приводів рушіїв АВП [5] показує, що кожний з них складається з окремих колісних модулів (рис. 2).

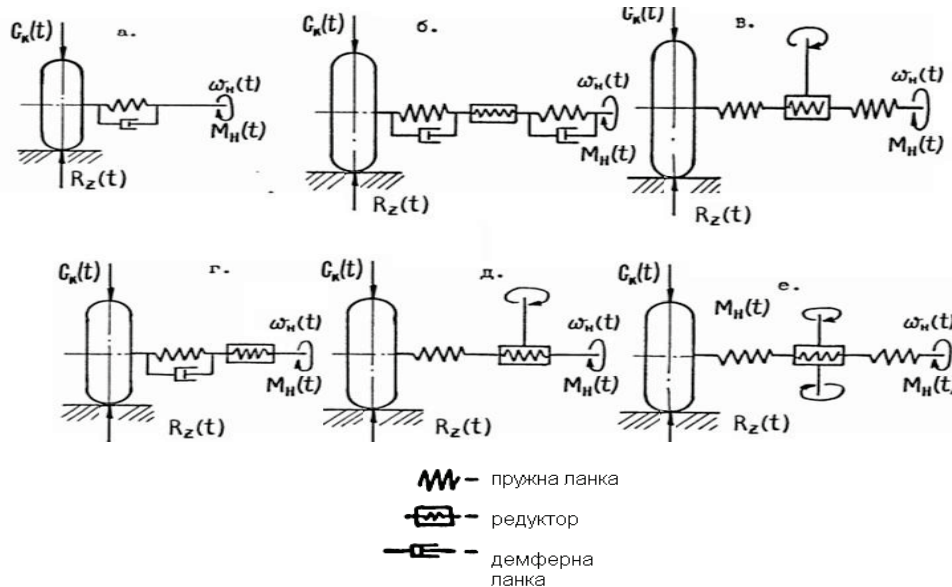


Рис. 2. Типові схеми трансмісійних модулів. [5]

Основними характеристиками колісних модулів є: C_{α_i} — крутильна жорсткість ланок (колесо, підвіска); $K_{\delta\alpha_i}$ — демпфірування ланок, що передають крутні моменти; C_{Z_i} — радіальна жорсткість шини, нормальна жорсткість підвіски; $K_{\delta z_i}$ — демпфірування ланок, що передають вертикальні навантаження; m_i — маси окремих ланок модулів; J_i — моменти інерції елементів, що обертаються; c_i , d_i , e_i — коефіцієнти, що враховують протікання робочих процесів у колісних модулях.

До зовнішніх характеристик модулів відносяться: $\omega_i(t)$ — кутова швидкість; $M_{K_i}(t)$ — крутний момент, прикладений до колеса; $G_{K_i}(t)$ — вертикальне навантаження; $Z_{K_i}(t)$ — вертикальні переміщення елементів; $\eta_i(t)$ — ККД модуля; $j_i(t)$ — коефіцієнт урахування впливу зазорів між елементами модуля.

Показники роботи рушії в значній мірі залежать від конструктивних особливостей трансмісії, її динамічних властивостей, а також від типу ґрунту опорної поверхні, його несучих і зчіпних властивостей.

Дослідження пружних властивостей пневматичної шини

На основі аналізу робіт [2, 3] можна зробити висновок про те, що характеристики процесів, які відбуваються в контактні автомобільного колеса з опорною поверхнею, суттєво залежать від пружних властивостей шини. В роботі [2] показано, що при закручуванні шини збільшується радіальна жорсткість шини. Тобто, якщо вважати радіальне навантаження на колесо постійною величиною, збільшення радіальної жорсткості від тангенціальної деформації призводить до збільшення динамічного радіуса шини.

Авторами проведені дослідження залежності динамічного радіуса шини від тангенціальної деформації шини при двовісному навантаженні. Опис експериментальної установки та результати проведених досліджень показані в [3, 4].

Експериментальна установка для дослідження взаємодії багатоколісного рушія з ґрунтом

Ще одним фактором який впливає на процес взаємодії рушія з сипким ґрунтом є взаємодія між окремими елементами (модулями) системи. Для дослідження процесів взаємодій багатоколісного рушія нами була використана спеціальна експериментальна установка (рис. 3).

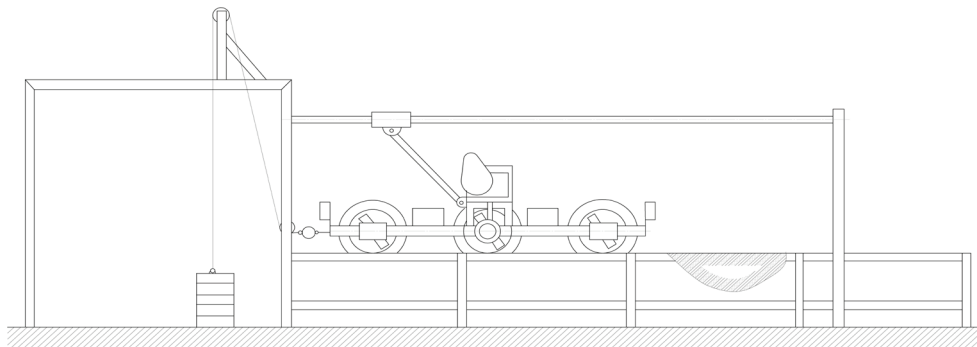


Рис. 3. Експериментальна установка для дослідження взаємодії багатоколісного рушія з ґрунтом

Експериментальна установка являє собою універсальну фізичну модель системи «Двигун-трансмiсія-рушій», яка дозволяє досліджувати вплив різних факторів на динамічність досліджуваної системи. Експериментальна установка дозволяє реєструвати в процесі проведення досліджень такі динамічні і кінематичні параметри робочого процесу «трансмiсія-рушій-ґрунт»: шлях, пройдений моделлю S_m (м) і лінійну швидкість моделі V_m (м/с); кути повороту α_{ki} (рад) і кутові швидкості обертання коліс ω_{ki} (рад/с); кут повороту $\alpha_{в.л}$ (рад) та кутову швидкість вихідного вала черв'ячного редуктора (ведучої ланки) $\omega_{в.л}$ (рад/с); вертикальні прискорення задньої частини рами a_n (м/с²); крутний момент на валу електродвигуна $M_{дв}$ (Н/м); силу тяги на гаку $P_{кр}$ (Н); крутні моменти, які підводяться до коліс рушія M_{ki} (Н/м); час t (с).

Математичне моделювання процесів взаємодії триколісного рушія з ґрунтом

На рис. 4. зображено всі можливі розрахункові схеми приводу триколісного рушія.

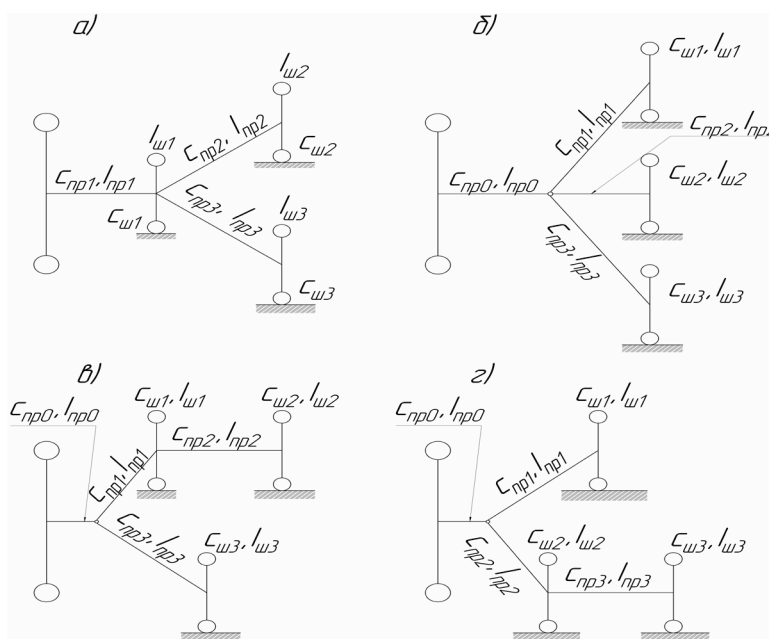


Рис. 4. Розрахункові схеми приводу триколісного рушія

Розглянемо детально схему б. Потенціальна енергія для такої схеми дорівнює

$$\Pi = \frac{1}{2} \left[c_{\text{пр}0} \Delta\phi_0^2 + c_{\text{пр}1} \Delta\phi_1^2 + c_{\text{пр}2} \Delta\phi_2^2 + c_{\text{пр}3} \Delta\phi_3^2 + c_{\text{ш}1} \Delta\phi_{\text{ш}1}^2 + c_{\text{ш}2} \Delta\phi_{\text{ш}2}^2 + c_{\text{ш}3} \Delta\phi_{\text{ш}3}^2 + \Pi_{\text{гр}} \right], \quad (3)$$

де $c_{\text{пр}0}$, $c_{\text{пр}1}$, $c_{\text{пр}2}$, $c_{\text{пр}3}$ — жорсткості відповідних елементів приводу, $c_{\text{ш}1}$, $c_{\text{ш}2}$, $c_{\text{ш}3}$ — жорсткості відповідних шин рушія, $\Delta\phi_0$, $\Delta\phi_1$, $\Delta\phi_2$, $\Delta\phi_3$ — деформації відповідних елементів приводу, $\Delta\phi_{\text{ш}1}$, $\Delta\phi_{\text{ш}2}$, $\Delta\phi_{\text{ш}3}$ — деформації відповідних шин привода, $\Pi_{\text{гр}}$ — сумарна потенціальна енергія деформації ґрунту.

Кінетична енергія для такої схеми може бути виражена рівнянням

$$T = \frac{1}{2} \left[\frac{G_a}{g} \dot{X}_a^2 + I_{\text{пр}0} \omega_0^2 + I_{\text{пр}1} \omega_1^2 + I_{\text{пр}2} \omega_2^2 + I_{\text{пр}3} \omega_3^2 + I_{\text{ш}1} \omega_{\text{ш}1}^2 + I_{\text{ш}2} \omega_{\text{ш}2}^2 + I_{\text{ш}3} \omega_{\text{ш}3}^2 + T_{\text{гр}} \right], \quad (4)$$

де $I_{\text{пр}0}$, $I_{\text{пр}1}$, $I_{\text{пр}2}$, $I_{\text{пр}3}$ — моменти інерції відповідних елементів приводу, ω_0 , ω_1 , ω_2 , ω_3 — кутові швидкості відповідних елементів приводу рушія, $I_{\text{ш}1}$, $I_{\text{ш}2}$, $I_{\text{ш}3}$ — моменти інерції відповідних шин рушія, $\omega_{\text{ш}1}$, $\omega_{\text{ш}2}$, $\omega_{\text{ш}3}$ — кутові швидкості відповідних шин рушія, $T_{\text{гр}}$ — сумарна кінетична енергія деформації ґрунту.

Отримані рівняння дадуть змогу математично описати процес взаємодії триколісного рушія з ґрунтом. Розв'язки та подальші дослідження отриманих рівнянь, їх експериментальна перевірка буде наведено в подальших статтях.

Висновки

1. Визначені основні особливості взаємодії багатоколісного рушія з ґрунтом.
2. Розроблена спеціалізована експериментальна установка для дослідження взаємодії багатоколісного рушія з сипким ґрунтом.
3. Отримані рівняння кінетичної та потенціальної енергії для випадку взаємодії триколісного рушія, з незалежною схемою приводу, з ґрунтом.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кошарный Н. Ф. Технично-эксплуатационные свойства автомобилей высокой проходимости / Н. Ф. Кошарный. — К. : Вища школа, 1981. — 208 с.
2. Упругость и демпфирование шин при совместном радиальном и тангенциальном нагружении / А. А. Енаев, Ю. М. Глазырин, В. П. Шалдыкин, Н. Н. Яценко. — Автомобильная промышленность. — 1982. — № 7.
3. Грабар І. Г. Дослідження пружних властивостей пневматичної шини / І. Г. Грабар, Є. Г. Опанасюк, Д. Б. Бегерський // Вісник ЖДТУ. — 2008. — № 1 (44) / Технічні науки. — С. 26—33.
4. Грабар І. Г. Порівняльний аналіз пружних властивостей шин різних конструкцій / І. Г. Грабар, Є. Г. Опанасюк, Д. Б. Бегерський // Вісник ЖДТУ. — 2008. — № 3 (46) том 2 / Технічні науки. — С. 106—111.
5. Кошарный Н. Ф. Динамика процесса взаимодействия многоколесного движителя с ґрунтом / Н. Ф. Кошарный, Е. Г. Опанасюк // Повышение эффективности проектирования и испытаний автомобилей / в том числе для сельского хозяйства / тез. докл. и сообщ. науч.-техн. конф. — Горький, 1984. — С. 35—36.

Рекомендована кафедрою автомобілів та трнспортного менеджменту

Надійшла до редакції 10.09.09
Рекомендована до друку 23.09.09

Грабар Іван Григорович — завідувач кафедри, **Опанасюк Євген Григорович** — доцент, **Бегерський Дмитро Богданович** — асистент.

Кафедра автомобілів і механіки технічних систем;

Багатурчук Сергій Олександрович — студент.

Житомирський державний технологічний університет