

АНАЛІТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ КОЛІС С/Г ПРИЧЕПА В ПОЛЬОВИХ УМОВАХ

Рибак Т., д.т.н., проф., Попович П., к.т.н., доц., Целюк С., асп.,
Цьонь О., студ.

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Приведено матеріали дослідження взаємодії коліс сільськогосподарського причепа з ґрунтом, в умовах експлуатації, розглянуто питання процесу руху коліс.

Вступ. Основними постачальниками тракторних причепів у господарства України є вітчизняні підприємства, такі як Джанкойський машинобудівний завод, “Рівнесільмаш” та “Уманьферммаш”. Увесь спектр продукції, що випускають ці підприємства, можна поділити на дві групи: спеціалізовані та універсальні тракторні причепа вантажопідйомністю від 4 до 10 т, що є ідеальним для вітчизняного ринку. Єдина відмінність у тому, що кожний із виробників випускає певний модельний ряд тракторних причепів. Наприклад, “Уманьферммаш” виробляє спеціалізовані причепа вантажопідйомністю 5 т і універсальні – 10 т, а Джанкойський машинобудівний завод покриває лінійку від 4 до 8 т як спеціалізованими, так і універсальними причепами. Конкуренція між виробниками існує тільки щодо цінкових показників. При цьому слід віддати належне вітчизняним виробникам щодо формування цін на цей вид сільгосптехніки. Приміром, середня ціна на 4-тонну модель причепа, яка склалася нині, становить від 19 тис. грн, а за причіп вантажопідйомністю 10 т покупці мають заплатити 48660 грн. До речі, саме цей діапазон цін наразі стримує активність європейських виробників, у яких середня ціна становить близько 40 тис. грн за 6-тонну модель. Для порівняння: українські аналоги коштують у середньому 20 тис. грн. Окрім того, існує проблема щодо поставок запасних частин європейських аналогів у майбутньому (за матеріалами проектно-дослідницької групи Straefe). Найближчим часом, з огляду на розпаювання земель у сільському господарстві України і дальше скорочення кількості великих господарств, розвиватиметься сектор середніх і дрібних агропідприємств. Ця тенденція й надалі сприятиме розвитку вантажоперевезень причепами вантажопідйомністю до 6 т. Виробництво існуючих причепів вантажопідйомністю до 10 т буде організовано під замовлення на спеціалізованому підприємстві.

Підвищення працездатності тракторів та автомобілів, тракторних причепів сприяє удосконаленню їх конструктивних показників, зокрема удосконаленню теорії робочого процесу кочення колеса. На межі «рушій-причіп-ґрунт» виникають напруження, які деформують середовище. Важливо знати закономірність розподілу цих напружень по глибині та межі, в яких вони змінюються. Це дасть змогу розробити запобіжні заходи по ущільненню

грунту. При комплектації тракторних причепів велике значення мають розміри колеса, оскільки крім взаємодії з ґрунтом (його деформацією) із зміною поверхні контакту змінюються параметри руху транспортного засобу.

Проблема. В роботах [1,2,3] для підвищення працездатності відводиться місце новим потужним сільськогосподарським тракторам, які повинні працювати на високих швидкостях. Для цього вимагається конструктивна проробка нових рішень та обґрунтування основних параметрів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. З літературних джерел [1,2] залежність між напруженням зминання і деформацією ґрунту описується :

$$\sigma = P_o \cdot th \frac{k}{P_c} \cdot h, \quad (1)$$

де: k – коефіцієнт об'ємного стиску ґрунту кг/см^3 ;

P_c – коефіцієнт об'ємного зминання ґрунту, кг/см^3 ;

h – висота деформованого шару ґрунту.

Ця формула загально прийнята для практичних розрахунків, коефіцієнт об'ємного зминання ґрунту та коефіцієнт об'ємного стиску ґрунту, як характеристики властивостей загального визначені та їх значення приведені у посібниках [1]. Автор вказує, що функціональна залежність між напруженням σ та деформацією стиску, яка визначається формулою [1], отримана в результаті передумови, щодо характеру зміни властивостей ґрунту при стисканні. В [1] показано, що при русі причепа, який має навантаження на гаку, ґрунтозачепа коліс зсувають ґрунт у напрямку, зворотному руху агрегату. Зі збільшенням дотичних складових, сили тертя також збільшуються. Але величина їх не може перевищити межі, яка визначається нормальною силою, яка притискає поверхні одну до одної, та властивостями цих поверхонь:

$$T_n = f_n \cdot N, \quad (2)$$

де: T_n – сила тертя спокою;

f_n – коефіцієнт тертя спокою;

N – нормальне навантаження.

З досліджень [6,7,8] сила T змінюється у процесі зсуву поверхонь.

В [1] автор робить дуже важливий висновок, що визначення закономірностей змінення напруження зсуву від величини дотичної деформації має велике значення для обґрунтування параметрів рушія. В роботі [7] наведена функціональна залежність між напруженням і деформацією зсуву яка відповідає дійсним умовам експлуатації. В роботі [2] автор В. В. Кацигін приводить формулу, яка досконало дозволяє описувати дійсний процес зсуву ґрунту, але не надає конкретних висновків, щодо впливу зсуву ґрунту на швидкісні можливості руху енергетичного засобу. В роботі [3] приведені дослідження поведінки нормальних та тангенціальних реакцій на ділянці взаємодії колеса і ґрунту, але також не дається аналіз впливу поведінки цих

реакцій на розкриття швидкісних можливостей енергетичного засобу.

Мета розрахункових досліджень: Встановлення закономірностей взаємодії між колісним рушієм та опорною поверхнею. Виберемо систему відліку: систему координат пов'яжемо з ґрунтом і направимо осі O_x і O_y згідно рис.1.

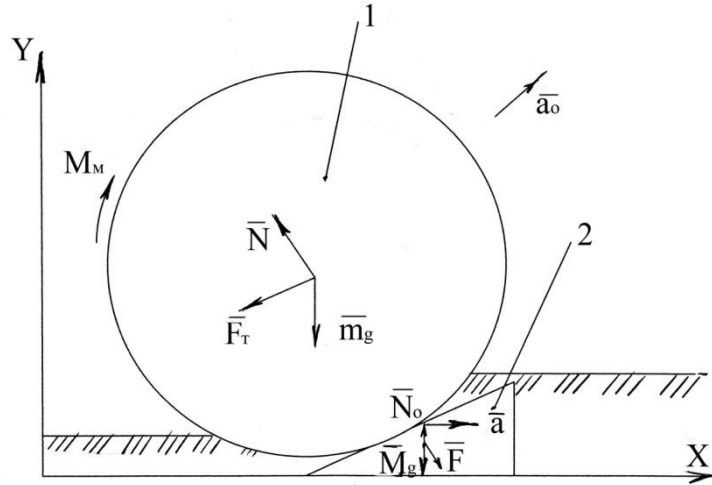


Рис 1 – Схема навантаження колеса у важких умовах експлуатації:

1 – колесо; 2 – шар ґрунту, який деформується

До колеса прикладені сили:

✓ m_g – сила тяжіння; N – сила нормальної реакції і опори; F_T – сила тертя.

На ґрунт 2 діятиме:

✓ сила тяжіння M_g ; сила нормальної реакції ущільненого шару ґрунту N_0 ; деформаційна сила F , з якою колесо діятиме на ґрунт 2.

Запишемо другий закон Ньютона у проекціях на осі O_x і O_y для колеса:

$$\begin{aligned} m \cdot g_x + N_x + F_{T_x} &= m \cdot a_x; \\ m \cdot g_y + N_y + F_{T_y} &= m \cdot a_y. \end{aligned} \quad (3)$$

Оскільки

$$m \cdot g_x = 0; N_x = -N \cdot \sin \alpha; F_{T_x} = -F_T \cdot \cos \alpha; \quad (4)$$

$$m \cdot g_y = 0; N_y = N \cdot \cos \alpha; F_{T_y} = -F_T \cdot \sin \alpha.$$

З урахуванням (2) система рівнянь:

$$-N \cdot \sin \alpha - F_T \cdot \cos \alpha = m \cdot a_x; \quad (5)$$

$$N \cdot \cos \alpha - F_T \cdot \sin \alpha - m_g = m \cdot a_y. \quad (6)$$

Як видно з наведеного рух колеса відносно нерухомого ґрунту буде складним. Цей рух складається з двох рухів: по похилій площині з

прискоренням a_0 і разом з деформованим ґрунтом з прискоренням a :

$$a_x = a + a_0 \cdot \cos \alpha ; \quad (7)$$

$$a_y = a_0 \cdot \sin \alpha . \quad (8)$$

Підставивши a_x і a_y у рівняння (5) і (6):

$$-N \cdot \sin \alpha - F_T \cdot \cos \alpha = m(a + a_0 \cdot \cos \alpha) ; \quad (9)$$

$$N \cdot \cos \alpha - F_T \cdot \sin \alpha - m_g = m \cdot a \cdot \sin \alpha . \quad (10)$$

Сила тертя:

$$F_T = \mu \cdot N , \quad (11)$$

то розв'язавши систему рівнянь (9) і (10):

$$N \cdot \sin \alpha - \mu \cdot N \cdot \cos \alpha = m(-a + a_0 \cdot \cos \alpha) ; \quad (12)$$

$$N \cdot \cos \alpha - \mu \cdot N \cdot \sin \alpha - m_g = m \cdot a_0 \cdot \sin \alpha \Rightarrow$$

$$\Rightarrow N = \frac{-m_g - m \cdot a_0 \cdot \sin \alpha}{\mu \cdot \sin \alpha - \cos \alpha} = \frac{m \cdot a_0 \cdot \sin \alpha + m_g}{\cos \alpha - \mu \cdot \sin \alpha} . \quad (13)$$

З рівняння (12):

$$\begin{aligned} & - \frac{m \cdot a_0 \cdot \sin \alpha \cdot \sin \alpha}{\cos \alpha - \mu \cdot \sin \alpha} - \frac{m_g \cdot \sin \alpha}{\cos \alpha - \mu \cdot \sin \alpha} - \frac{m \cdot a_0 \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha}{\cos \alpha - \mu \cdot \sin \alpha} - \mu \frac{m_g \cdot \cos \alpha}{\cos \alpha - \mu \cdot \sin \alpha} = \\ & = m \cdot (a - a_0 \cdot \cos \alpha) . \end{aligned}$$

Запишемо другий закон Ньютона для деформованого ґрунту:

$$M_{gz} + N_{ox} + F_{Tx} = M \cdot a_x ; \quad (14)$$

$$M_{gy} + N_{oy} + F_{Ty} = M \cdot a_y .$$

Зуїнування ґрунту в напрямку O_x , та враховуючи, що:

$$M_{gx} = 0; N_{ox} = 0; F_T = F \cdot \sin \alpha; M \cdot a = M \cdot a .$$

Тоді рівняння для деформованого ґрунту набуде вигляду:

$$F \cdot \sin \alpha = M \cdot a . \quad (15)$$

Розв'язавши сумісно рівняння (13) і (15) і враховуючи, що $|F|=|N|$, отримаємо:

$$\frac{1}{M} \cdot \frac{m \cdot a_0 \cdot \sin \alpha + m_g}{\cos \alpha - \mu \cdot \sin \alpha} (m \cdot \cos \alpha - \mu \cdot m \cdot \sin \alpha) = a_0 \cdot m + m_g \cdot \sin \alpha + \mu \cdot m_g \cdot \cos \alpha$$

З (15) маємо:

$$\left[\frac{m}{M} \cdot \frac{M}{1-M} (g \cdot \sin \alpha + \mu \cdot g \cdot \cos \alpha) - \frac{m_g}{M} \right] \cdot \frac{1}{\operatorname{ctg} \alpha - M} . \quad (16)$$

Для здійснення руху необхідно виконати умови (15) і (16) $a_0 > 0$, та $a > 0$.

Висновки: Виконано огляд розрахункових досліджень та встановлено закономірності взаємодії між колісним рушієм та опорною поверхнею. Проаналізовано вплив зсуву ґрунту на швидкісні можливості руху тракторного причепа.

Список використаних джерел

1. Л. М. Петров. Теорія колісного рушія для важких умов експлуатації аграрний вісник причорномор'я Вип. 48. 2009 р.
2. Гуськов В.В. Оптимальные параметры сельскохозяйственных тракторов. - М.: Машиностроение, 1966.
3. Кацыгин В.В. Вопросы технологии механизированного сельскохозяйственного производства. - Минск.: Сельхозгиз, 1963.
4. Бабков В. Ф. Проходимость колесных машин по ґрунту. М.: Автотрансиздат, 1959.
5. Генних М.Э. Сцепление автомобильного колеса с деформируемым ґрунтом. «Проблемы повышения проходимости колесных машин». М.: АН СССР, 1959.
6. Запольський В.П. Исследование параметров гусеничной ленты. «Труды научной конференции ЦНИИ МЭСХ 1961г.». Минск.: Сельхозгиз, 1963.
7. Ульянов Ф.Г. Повышение проходимости и тяговых свойств колесных тракторов на пневматических шинах. М.: Машиностроение, 1964.

Аннотация

АНАЛІТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ КОЛЕС СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРИЦЕПА В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ

Рибак Т., Попович П., Целюк С., Цьонь О.

Статья касается аналитического исследования процесса взаимодействия колес сельскохозяйственного прицепа и поля в условиях реальной эксплуатации.

Abstract

ANALYTICAL DESIGN OF MOVE OF WHEELS OF AGRICULTURE MACHINES IS IN THE FIELD TERMS

T. Rybak, P. Popovich, S. Tseluyuk, O. Tson

Materials of research of co-operation of wheels of agricultural trailer are resulted with soil, in the conditions of exploitation, the question of theory of process of motion of wheels is considered.