

УДК 629.114.2

ТЕОРІЯ КОЛІСНОГО РУШІЯ ДЛЯ ВАЖКИХ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Л. М. Петров, канд. техн. наук.
Одеський державний аграрний університет

Приведені матеріали дослідження взаємодії рушіїв трактора чи автомобіля з ґрунтом, висвітлені питання теорії робочого процесу руху колеса у важких умовах експлуатації, частково розглянуті питання підвищення швидкості руху енергетичного засобу.

Ключові слова: рушій, тягова характеристика, момент, тертя, тяжіння, опір.

Вступ. Підвищення працездатності тракторів та автомобілів сприяє удосконалення їх конструктивних показників. Для цього ціла плеяда науковців займаються удосконаленням теорії робочого процесу кочення колісного рушія.

Проблема. В роботі [3] у підвищенні працездатності тракторів відводиться новим потужним сільськогосподарським тракторам, які повинні працювати на більш високих швидкостях. Для цього потребується серйозна конструктивна розробка нових рішень та обґрунтування основних параметрів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. З літературних джерел [3,5] залежність між напруженням змяття та деформацією ґрунту, підкоряється закону гіперболічного тангенса:

$$\sigma = P_0 \cdot t \cdot h \frac{k}{P_c} h, \quad (1)$$

де k – коефіцієнт об'ємного стискання ґрунту, $\text{кг}/\text{см}^3$;
 P_c – коефіцієнт об'ємного зминання ґрунту, $\text{кг}/\text{см}^3$;
 h – висота деформуємого шару.

Ця формула загального прийняття для практичних розрахунків, тому що константи P_c та k , як характеристики властивостей загального визначені та їх значення приведені у різних посібниках [3]. Автор вказує, що функціональна залежність між напруженням σ та деформацією стиску, яка визначається формулою [1], отримана в результаті загальної передумови, що до характеру змінення властивостей ґрунту при його стисненні.

В [3] показано, що при русі трактора, який має навантаження на гаку, ґрунтозачепи колеса зсувають ґрунт у напрямку, зворотному руху агрегату, у площині взаємодії рушіїв з ґрунтом виникають сили тертя. Вони уявляють з себе дотичні реакції на поверхні дотичних тіл і тому відповідно дорівнюють дотичним складовим прикладених зовнішніх сил. Зі

збільшенням дотичних складових сили тертя також збільшуються. Але величина їх не може перевищити деякої межі, яка визначається нормальною силою, яка притискає поверхні друг до друга, та властивостями цих поверхонь:

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

де T_n – сила тертя покою;
 f_n – коефіцієнт тертя покою;
 N – нормальне навантаження.

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

В [3] 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 [5] 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 [1] 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 досліджень: Встановлення закономірностей взаємодії між колісним рушієм та опорною поверхнею.

Виберемо систему відліку: тіло відліку Земля, а систему координат пов'яжемо з землею і спрямуємо осі ox і oy згідно рис. 1.

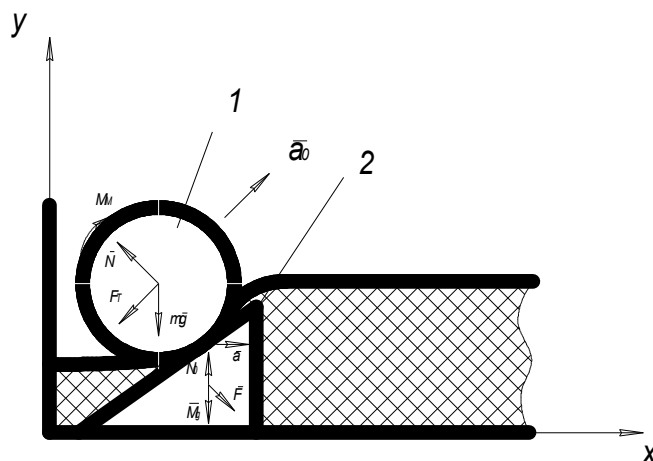


Рис 1. Схема навантаження колісного рушія у важких умовах експлуатації:

- 1 – колісний рушій;
- 2 – шар ґрунту, який деформується.

До колісного рушія 1 прикладені сили:

- mg – сила тяжіння;
- \overline{N} – сила нормальної реакції і опори;
- F_T – сила тертя.

На деформуємий ґрунт 2 діятиме:

- сила тяжіння \overline{M}_g ;
- сила нормальної реакції ущільненого шару ґрунту \overline{N}_0 ;
- деформаційна сила F , з якою колісний рушій діятиме на деформуємий ґрунт 2.

Запишемо другий закон Ньютона у проєкціях на осі ox і oy для колісного рушія:

$$\begin{aligned} m \cdot g_x + N_x + F_{Tx} &= m \cdot a_x, \\ m \cdot g_y + N_y + F_{Ty} &= m \cdot a_y. \end{aligned} \quad (1)$$

Оскільки

$$\begin{aligned} m \cdot g_x &= 0; N_x = -N \cdot \sin\alpha; F_{Tx} = -F_T \cdot \cos\alpha; \\ m \cdot g_y &= 0; N_y = N \cdot \cos\alpha; F_{Ty} = -F_T \cdot \sin\alpha. \end{aligned} \quad (2)$$

З урахуванням (2) система рівнянь для колісного рушія набуває вигляду:

$$-N \cdot \sin\alpha - F_T \cdot \cos\alpha = m \cdot a_x, \quad (3)$$

$$N \cdot \cos\alpha - F_T \cdot \sin\alpha - mg = m \cdot a_y. \quad (4)$$

Як видно з наведеного рух колісного рушія відносно нерухомого тіла (Земля) буде складним. Цей рух складається з двох рухів: по похилій площині з прискоренням $\overline{a_0}$ і разом з деформованим ґрунтом з прискоренням \overline{a} .

Тому:

$$a_x = a + a_0 \cdot \cos\alpha, \quad (5)$$

$$a_y = a_0 \cdot \sin\alpha \quad (6)$$

підставивши a_x і a_y у рівняння (3) і (4), дістанемо

$$-N \cdot \sin\alpha - F_T \cdot \cos\alpha = m(a + a_0 \cdot \cos\alpha), \quad (7)$$

$$N \cdot \cos\alpha - F_T \cdot \sin\alpha - mg = m \cdot a \cdot \sin\alpha, \quad (8)$$

Оскільки

$$F_T = \mu \cdot N,$$

(9)

то розв'язавши систему рівнянь (7) і (8) маємо:

$$-N \cdot \sin\alpha - \mu \cdot N \cdot \cos\alpha = m(-a + a_0 \cdot \cos\alpha), \quad (10)$$

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

$$\Rightarrow N = \frac{-m \cdot g - m \cdot a_0 \cdot \sin\alpha}{\mu \cdot \sin\alpha - \cos\alpha} = \frac{m \cdot a_0 \cdot \sin\alpha + m \cdot g}{\cos\alpha - \mu \cdot \sin\alpha}; \quad (11)$$

З рівняння (10) маємо:

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

чи

$$m \cdot a_0 \cdot \sin^2 \alpha - mg \cdot \sin \alpha - \mu \cdot m \cdot a_0 \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha - \mu \cdot mg \cdot \cos \alpha = m \cdot a \cdot \cos \alpha + m \cdot a_0 \cdot \cos^2 \alpha - \mu \cdot m \cdot a \cdot \sin \alpha - \mu \cdot m \cdot a_0 \cdot \cos \alpha \cdot \sin \alpha.$$

$$m \cdot a \cdot \cos \alpha - \mu \cdot m \cdot a \cdot \sin \alpha = -m \cdot a_0 \cdot \sin^2 \alpha + \mu \cdot m \cdot a_0 \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha + m \cdot a_0 \cdot \cos^2 \alpha - \mu \cdot m \cdot a_0 \times \cos \alpha \cdot \sin \alpha + mg \cdot \sin \alpha + \mu \cdot mg \cdot \cos \alpha \cdot a(m \cdot \cos \alpha - \mu \cdot m \cdot \sin \alpha) = a_0 \cdot m(\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha) + mg \cdot \sin \alpha + \mu \cdot mg \cdot \cos \alpha.$$

Запишемо другий закон Ньютона для деформованого ґрунту:

$$\begin{aligned} M_{gz} + N_{ox} + F_{Tx} &= M \cdot a_x, \\ M_{gy} + N_{oy} + F_{Ty} &= M \cdot a_y. \end{aligned} \quad (12)$$

Нас буде цікавити руйнування ґрунту в напрямку осі ox , та враховуючи, що

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

Тоді рівняння для деформованого ґрунту набуде вигляду:

$$F \cdot \sin \alpha = M \cdot a. \quad (13)$$

Розв'язавши сумісно рівняння (11) і (13) і враховуючи, що $\mathbf{F} = \mathbf{M}$, отримаємо:

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

чи

$$\begin{aligned} \frac{m^2}{M} a_0 + \frac{m^2}{M} g &= a_0 \cdot m + mg \cdot \sin \alpha + \mu \cdot mg \cdot \cos \alpha \\ \frac{a_0}{M} - a_0 &= g \cdot \sin \alpha + \mu \cdot g \cdot \cos \alpha - \frac{mg}{M} \\ a_0 &= \frac{M}{1-M} (g \cdot \sin \alpha + \mu \cdot g \cdot \cos \alpha) - \frac{mg}{M}. \end{aligned} \quad (14)$$

З (13) маємо:

$$a = \frac{F \cdot \sin \alpha}{M} = \frac{1}{M} \cdot \frac{m \cdot \frac{M}{1-M} (g \cdot \sin \alpha + \mu \cdot g \cdot \cos \alpha) - \frac{mg}{M}}{\cos \alpha - \mu \cdot \sin \alpha} \cdot \sin \alpha = \quad (15)$$

$$= \left[\frac{m}{M} \cdot \frac{M}{1-M} (g \cdot \sin \alpha + \mu \cdot g \cdot \cos \alpha) - \frac{mg}{M} \right] \cdot \frac{1}{\cos \alpha - \mu \cdot \sin \alpha}.$$

Для здійснення руху необхідно виконати умову для (14), (15):

$$a_0 > 0, \text{ та } a > 0.$$

З метою опрацювання математичної моделі був створений макетний зразок мобільного енергетичного засобу МЕЗ-200 з двигуном потужністю 136 кВт та приєднаним до нього транспортно-технологічним модулем (ТТМ), яка уявляє з себе одноосний причеп з приводом коліс через узгоджуючий редуктор від синхронного валу відбору потужності енергетичного модуля. З'єднується

ТТМ з енергомодулем через задній навісний пристрій. ТТМ має вертикальний та горизонтальний шарніри, які забезпечують поворот в горизонтальній площині до 30° у обидві сторони від поздовжньої осі енергомодуля та качання у поперечній площині у межах $\pm 15^\circ$. Вертикальний шарнір має гідравлічний блокуючий пристрій з електричним керуванням.



Рис. 2. Загальний вигляд МЕЗ-200 з ТТМ:
1- енергетичний модуль(ЕМ); 2 – транспортно-технологічний модуль (ТТМ).
Результати випробувань МЕЗ з ТТМ на рис 3,4,5.

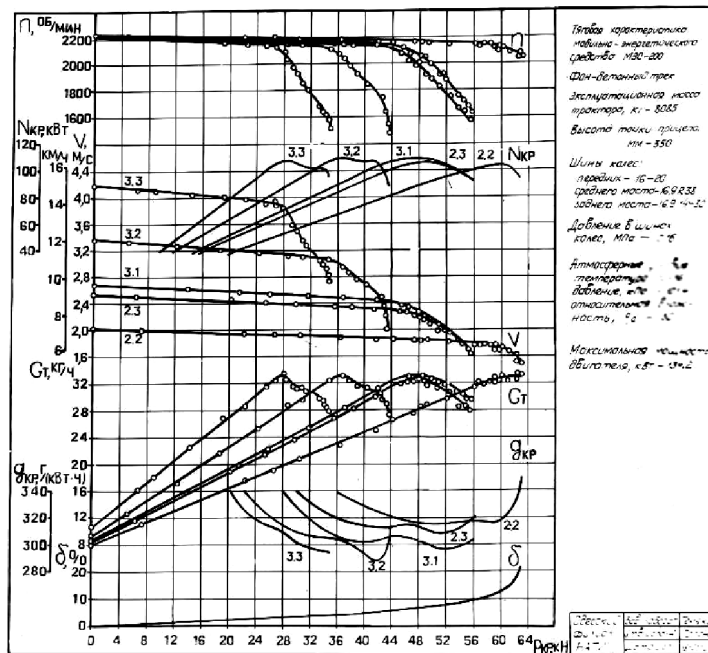


Рис. 3. Тягова характеристика МЕЗ-200 на бетонному треку.

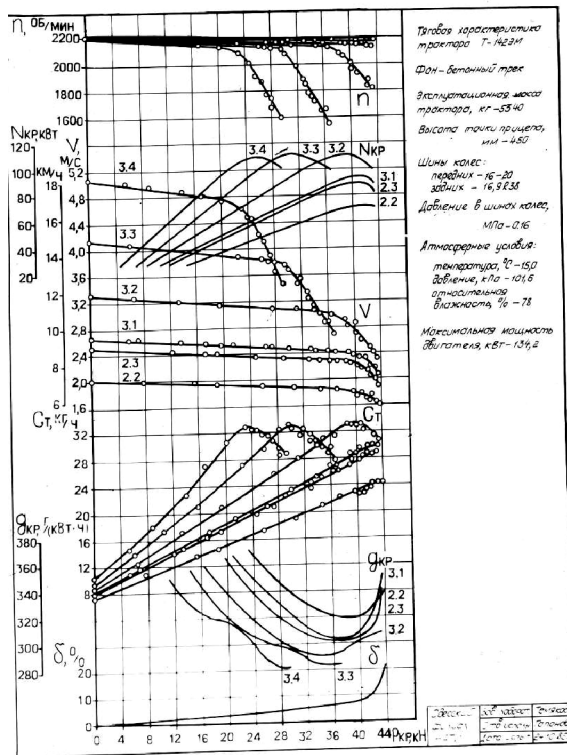


Рис.4. Тяговая характеристика энергетического модуля

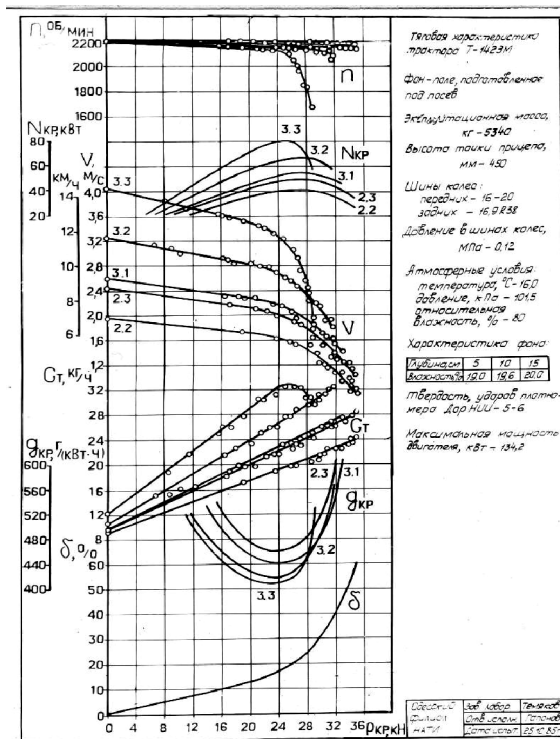


Рис.5. Тяговая характеристика энергетического модуля на полі, підготовленому на посів.

Для порівняльного аналізу проведені випробування трактора аналога Т-150К. Результати випробувань приведені на рис.6.

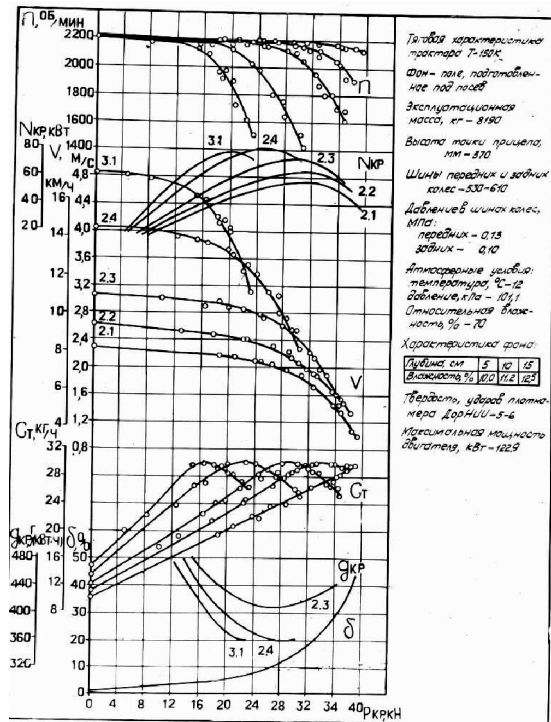


Рис.6. Тягова характеристика енергетичного модуля Т-150К на полі підготовленому під посів.

Висновки: Підвищення швидкості руху енергетичного засобу залежить від взаємного напрямку векторів прискорення колісного рушія і деформації ґрунту.

Застосування МЕЗ з ТТМ дає можливість значно підвищити працездатність енергетичного модуля з агрегатом.

Розширення зони застосування великих значень навантаження на гаку енергетичного модуля при великих значеннях швидкостей, визначається наявністю ТТМ.

ЛІТЕРАТУРА

- 1 Бабков В. Ф. Проходимость колесных машин по ґрунту. М.: Автотрансиздат, 1959.
- 2 Генних М.Э. сцепление автомобильного колеса с деформируемым ґрунтом. «Проблемы повышения проходимости колесных машин». М.: АН СССР, 1959.
- 3 Гуськов В.В. Оптимальные параметры сельскохозяйственных тракторов. – М.: Машиностроение, 1966.
- 4 Запольський В.П. Исследование параметров гусеничной ленты. «Труды научной конференции ЦНИИ МЭСХ 1961г.». Минск.: Сельхозгиз, 1963.
- 5 Кацыгин В.В. Вопросы технологии механизированного

сельскохозяйственного производства. – Минск.: Сельхозгиз, 1963.

6 Ульянов Ф.Г. Повышение проходимости и тяговых свойств колесных тракторов на пневматических шинах. М.: Машиностроение, 1964.

7 Bekker M.G. Theory of land locomotion. The mechanics of vehicle mobility. University of Michigan press. An Arbor, Mich. 1957.

8 Bekker M.G. Wheels and track. "Journal Automobile Engineers, 1955, №6.

ТЕОРИЯ КОЛЕСНОГО ДВИЖИТЕЛЯ ДЛЯ ТРУДНЫХ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Л. Н. Петров

Ключевые слова: движитель, тяговая характеристика, момент, трение, сопротивление.

Резюме

Приведены материалы исследования взаимодействия движителей трактора или автомобиля с землей, освещены вопросы теории рабочего процесса движения колеса в сложных условиях эксплуатации, частично рассмотрены вопросы повышения скорости движения энергетического средства.

THEORY OF WHEELED MOVER FOR DIFFICULT CONDITIONS OF EXPLOITATION

L. N. Petrov

Key words: hauling description, moment, friction, attraction, resistance.

Summary

There are reduced research materials of interaction between tractor mover or vehicle with ground, discovered the questions of working process theory of motion of wheel are lighted up in difficult external environments, the questions of increase of rate of movement of power mean are partly considered.