

УДК 629.114.2

ЗАГАЛЬНА ТЕОРІЯ ПРОЦЕСУ ПЕРЕМІЩЕННЯ ТЯГОВО-ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ З МИТТЄВИМИ ЗУПИНКАМИ ІЗ-ЗА БУКСУВАННЯ КОЛІС РУШІЯ

Л. М. Петров, канд. техн. наук, С. М. Сікорський, студент магістратури.
Одеський державний аграрний університет

Приведена загальна теорія процесу переміщення тягово-транспортного засобу з миттєвими зупинками у разі виникнення відносного руху колісного рушія, яка запропонована Петровим Л. М. Результати дослідження оброблені в середовищі MATLAB.

Ключові слова: рушій, момент, кутова швидкість, сила тертя.

Вступ. Розроблення та удосконалення теорії переміщення тягово-транспортного засобу сприяє поліпшенню якісних показників колісних рушіїв. Основним завданням удосконалення колісних рушіїв являється конструктивне зняття накладання на нього відносного руху, тобто коли він буксує.

Проблема. В роботах [1, 3, 4] дослідженню якісних показників колісних рушіїв відводиться новим потужним сільськогосподарським тракторам. Такі трактори повинні працювати у різноманітних умовах пов'язаних з виконанням технологічних операцій, з підвищеними тяговими опорами та високими швидкостями. Для цього потребується перегляд теоретичних підходів при конструктивній розробці нових рішень та обґрунтуванні основних параметрів колісних рушіїв.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В роботі [1, 2] досліджуються тягово-зчіпні властивості тракторів. Встановлено, що ці властивості поліпшуються при зменшенні коефіцієнтів опору кочення та буксування, збільшенні коефіцієнтів зчеплення і корисної дії ходової системи. Автори в цих роботах встановили, що всі показники тягово-зчіпних властивостей тракторів залежать від того, як відбуваються процеси взаємодії коліс з ґрунтом, а також ними встановлено, що рішення цих питань полягає у деформуванні і відновленні деформації взаємодіючих тіл.

Мета досліджень: Розробка теоретичної закономірності кочення колісного рушія з миттєвими зупинками.

Результати досліджень. З метою опрацювання та створення загальної теорії переміщення тягово-транспортного засобу (ТТЗ) з миттєвими зупинками розглянемо транспортний засіб, який переміщується за допомогою колісних рушіїв. Невідповідність дії рушійного моменту

M_p до реактивного моменту M_{pc} будемо враховувати кутом α рис.1.

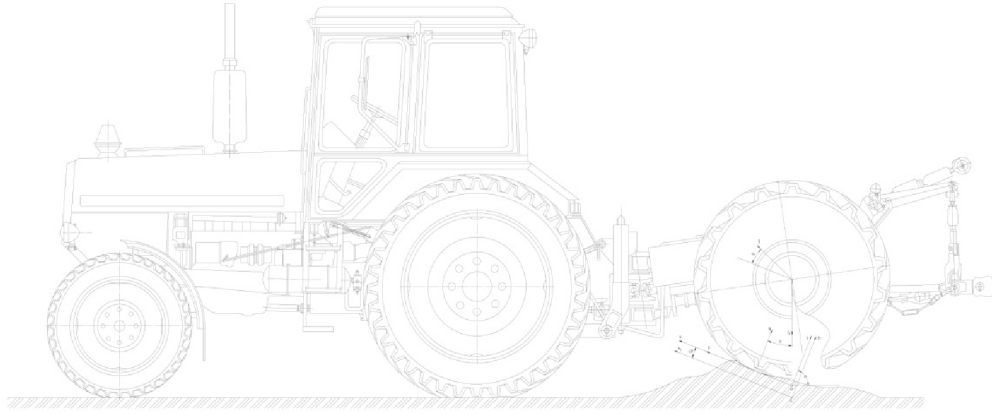


Рис. 1. Тягово-транспортний засіб з колісною формулою бхб з моделюванням миттєвих зупинок.

Динаміку розвитку процесу буксування будемо враховувати кутом β та можливим переміщенням колісного рушія при відсутності буксування S_0 . Куту швидкість колісного рушія будемо враховувати ω Масу, яка припадає на колісний рушій позначимо через m .

Прийнемо наступні системи координат:

$O_{1x_1y_1}$ - система координат, яка пов'язана з буксуючим колесом;

O_{xy} - система координат, яка пов'язана з колісним рушієм, рух якого не пов'язаний з буксуванням.

У проміжку часу, коли рух здійснюється без буксування відносно руху з буксуванням на колісний рушій будуть діяти наступні сили:

G - сила ваги; N -нормальна реакція шляху; F - сила тертя та сила інерції переносного руху колісного рушія I .

Рівняння відносного руху колісного рушія в проекціях на осі O_{xy} набуває вигляду:

S_0 - різниця між можливим переміщенням без буксування і переміщенням з буксуванням.

$$m \cdot \ddot{x} = G_x + F + I_x \quad (1)$$

$$m \cdot \ddot{y} = G_y + N + I_y \quad (2)$$

де G_x, G_y - проекції сили ваги на осі X та Y :

$$G_x = -G \cdot \sin \alpha = -mg \cdot \sin \alpha \quad (3)$$

$$G_y = -G \cdot \cos \alpha = -mg \cdot \cos \alpha \quad (4)$$

Проекції переносної сили інерції на осі X та Y набувають вигляду:

$$I_x = -m \cdot \ddot{x}_1 = -m \cdot (S_0 \cdot \cos \beta \cdot \sin \omega t) = m \cdot S_0 \cdot \omega^2 \cdot \cos \beta \cdot \sin \omega t \quad (5)$$

$$I_y = -m \cdot \ddot{y}_1 = -m \cdot (S_0 \cdot \sin \beta \cdot \sin \omega t) = m \cdot S_0 \cdot \omega^2 \cdot \sin \beta \cdot \sin \omega t \quad (6)$$

З урахуванням рівнянь (3), (4), (5), (6) диференціальні рівняння (1) та (2) набувають вигляду:

$$m \cdot \ddot{x} = m \cdot S_0 \cdot \omega^2 \cdot \sin \omega t \cdot \cos \beta - m \cdot g \cdot \sin \alpha + F \quad (7)$$

$$m \cdot \ddot{y} = m \cdot S_0 \cdot \omega^2 \cdot \sin \omega t \cdot \sin \beta - m \cdot g \cdot \cos \alpha + N \quad (8)$$

У випадку руху колісного рушія без буксування відносно шляху сила тертя буде визначатися відношеннями:

$$F = \begin{cases} -f \cdot N \text{ при } x > 0; \\ f \cdot N \text{ при } x < 0, \end{cases} \quad (9)$$

де f – коефіцієнт тертя сковзання.

Нормальна реакція при відсутності зміни координати $y=0$, визначається з формули (8):

$$N(t) = m \cdot g \cdot \cos \alpha - m \cdot S_0 \cdot \omega^2 \cdot \sin \beta \cdot \sin \omega t \quad (10)$$

Для режиму кочення колісного рушія без буксування реакція $N(t)$ повинна бути позитивною на протязі всього періоду такого руху. В тому випадку, коли кут, який визначає протяжність процесу буксування буде

$$\omega t = \frac{\pi}{2} \text{ величина } m \cdot S_0 \cdot \sin \beta \cdot \sin \omega t \quad (11)$$

у рівнянні (10) досягає максимуму.

Тоді умова руху без сковзання буде відповідати нерівності:

$$N(t) > 0 \quad (12)$$

Умова (12) з урахуванням (10) може бути записана таким чином:

$$C = \frac{S_0 \cdot \omega^2 \cdot \sin \beta}{g \cdot \cos \alpha} \leq 1 \quad (13)$$

Параметр C , який дорівнюватиме відношенню поперечної складової переносної сили інерції до поперечної складової сили ваги назвемо параметром перевантаження колісного рушія.

При відносному переміщенні колісного рушія сила тертя може бути знайдена з рівняння (7):

$$F(t) = m \cdot g \cdot \cos \alpha - m \cdot S_0 \cdot \omega^2 \cdot \cos \beta \cdot \sin \omega t \quad (14)$$

Стан відносного руху при цьому зберігається до тих пір, поки виконується умова:

$$-f_i \cdot N(t) < F(t) < f_i \cdot N(t) \quad (15)$$

де f_i – коефіцієнт тертя покою.

Підставимо вираз для сили тертя (9) у рівняння (7) та врахуємо (10) тоді

одержимо рівняння переміщення транспортного засобу за допомогою колісного рушія

$$\ddot{x} = -g \cdot \frac{\sin(\alpha \pm \varphi)}{\cos \varphi} + S_0 \cdot \omega^2 \cdot \frac{\cos(\beta \pm \varphi)}{\cos \varphi} \cdot \sin \omega t \quad (16)$$

Верхні знаки в дужках рівняння (16) відповідають збільшенню фази кочення колісного рушія без сковзання, а нижні збільшенню фази кочення колісного рушія зі сковзанням.

При виконанні умови (13) колісний рушій здійснює процес переміщення транспортного засобу без перевантаження.

Границя по куту ωt інтервалу відносного переміщення транспортного засобу за допомогою колісного рушія, відповідає умові, коли необхідна сила тертя $F(t)$ не перевищує по абсолютній величині граничного значення сили статичного тертя $f_1 \cdot N(t)$. Цю границю можна визначити, коли підставити формули (10) та (14) у (15):

$$\sin \omega t > \frac{g}{S_0 \cdot \omega^2} \cdot \frac{\sin(\alpha \pm \varphi)}{\cos(\beta \mp \varphi)} \quad (17)$$

$$\sin \left[\frac{\pi}{2} - (\beta - \varphi) \right] \left(\frac{g \cdot \sin(\alpha \mp \varphi)}{A \cdot \omega^2 \cdot \cos(\beta \pm \varphi)} - \sin \omega t \right) > 0 \quad (18)$$

Введемо позначення:

$$K_{1\pm} = \frac{g}{S_0 \cdot \omega^2} \cdot \frac{\sin(\alpha \pm \varphi)}{\cos(\beta \mp \varphi)} \quad (19)$$

$$K_2 = \sin \left[\frac{\pi}{2} - (\beta - \varphi) \right] = \begin{cases} 1 & \text{при } \beta + \varphi < \pi/2 \\ -1 & \text{при } \beta + \varphi > \pi/2 \end{cases} \quad (20)$$

Тоді вирази (17) та (18) набувають вигляду:

$$\sin \omega t > K_{1+} \quad (21)$$

$$K_2 (K_{1-} - \sin \omega t) > 0 \quad (22)$$

Границі інтервалів будемо визначати з рівнянь:

$$\sin \omega t_+ = \sin n_{1+} = K_{1+} \quad (23)$$

$$\sin \omega t_1 = \sin n_{1-} = K_{1-} \quad (24)$$

Умова руху транспортного засобу без сковзання колісного рушія може бути записана як :

$$\sin \omega t > \frac{g}{S_0 \cdot \omega^2} \cdot \frac{\cos \alpha}{\sin \beta} = K_{1\pm} > 1 \quad (25)$$

Плинні границі інтервалів руху транспортного засобу без буксування колісного рушія, а також границі руху транспортного засобу з буксуванням

колісного рушія знайдуться з рівняння:

$$\sin \omega t = \sin n = K_0 \quad (26)$$

Яке у час початку буксування колісного рушія буде записано у вигляді:

$$\sin n_0 = K_0 \quad (27)$$

У рівняння (23),(24),(26) через n_+, n_-, K_0 позначенні рішення рівнянь. Ці рішення для границь інтервалів визначаються з рівнянь:

$$n_0 = \arcsin K_0 \quad (28)$$

$$n_{1+} = \arcsin K_{1+} \quad (29)$$

$$n_1 = \begin{cases} \pi - \arcsin K_{1+} \text{ при } n = 1, \beta + \varphi < \pi/2 \\ \arcsin K_{1-} \text{ при } n = -1, \beta + \varphi > \pi/2 \end{cases} \quad (30)$$

де $\arcsin K$ - головне значення функції у межах $[-0,5\pi, 0,5\pi]$.

Диференційне рівняння (16) може бути записано у вигляді:

$$\ddot{x} = S_0 \cdot \omega^2 \frac{(\beta \mp \varphi)}{\cos \varphi} \cdot \left[\sin \omega t - \frac{g}{S_0 \cdot \omega^2} \cdot \frac{\sin(\alpha \pm \varphi)}{\cos(\beta \mp \varphi)} \right] \quad (31)$$

Введемо позначення

$$n = \omega t \quad (32)$$

$$a_{\pm} = S_0 \cdot \omega^2 \cdot \frac{\cos(\beta \mp \varphi)}{\cos \varphi} \quad (33)$$

$$K_{\pm} = \frac{g}{S_0 \cdot \omega^2} \cdot \frac{\sin(\alpha \pm \varphi)}{\cos(\beta \mp \varphi)} \quad (34)$$

З урахуванням введених позначень (32),(33),(34) рівняння (31) набуває вигляду:

$$\ddot{x} = a_{\pm} (\sin n - K_{\pm}) \quad (35)$$

У рівняннях (33),(34) та (35) верхні знаки відповідають переміщенню транспортного засобу при відсутності буксування колісного рушія, а нижні знаки відповідають переміщенню транспортного засобу при буксуванні колісного рушія.

Розглянемо випадки руху транспортного засобу коли обертання колісного рушія обмежені областю значень кутів α та β при яких суми та різниці цих кутів у формулах (33) та (34) знаходяться у межах від $-0,5\pi$ до $0,5\pi$. Тоді $a_{\pm}, K_{1+} > 0; K_{1-} < 0$ так як прийнята умова(21).

Позначимо відлік фазових кутів σ , при яких починається відлік відносного руху колісного рушія без буксування та з буксуванням, відповідно σ_+ та σ_- , а фазові кути закінчення відліку цих рухів відповідно σ'_+ та σ'_- .

Переміщення транспортного засобу може початися при умові, коли $\dot{x} > 0$, тобто при $\sin \sigma_+ \geq K_{1+}$.

Необхідною умовою початку буксування колісного рушія буде, коли

переміщення транспортного засобу відповідає $\ddot{x} < 0$ при

$$\sin \sigma_{-} \leq K_{1-} \tau \quad (37)$$

Гранично можливими умовами переміщення без буксування і з буксуванням буде визначатися рівностями :

$$\sin \sigma_{0+} = K_{1+} = \frac{g}{S_0 \cdot \omega^2} \cdot \frac{\sin(\alpha + \varphi)}{\cos(\beta - \varphi)} \quad (38)$$

$$\sin \sigma_{0-} = K_{1-} = \frac{g}{S_0 \cdot \omega^2} \cdot \frac{\sin(\alpha - \varphi)}{\cos(\beta + \varphi)} \quad (39)$$

Коли до досягнення кожного з фазових кутів σ_{0+} та σ_{0-} транспортний засіб рухався рівномірно без буксування тоді буде виконуватись рівність :

$$\sigma_{+}' = \sigma_{0+} \text{ та } \sigma_{-}' = \sigma_{0-} \quad (40)$$

Визначити виконання цієї умови можливо інтегруванням рівняння відносного руху (35), та установленням фазових кутів σ_{+}' та σ_{-}' , які відповідають зупинці процесу буксування кожного з переміщень, при врахуванні, що цей процес почався при $\sigma_{+}' = \sigma_{0+}$; та $\sigma_{-}' = \sigma_{0-}$, що відповідає початку руху без буксування.

$$\int \frac{d^2 x}{dt^2} = \int_0^{\delta} S_0 \cdot \omega^2 \cdot \frac{\cos(\beta \pm \varphi)}{\cos \varphi} \cdot \left[\sin t - \frac{g}{S_0 \cdot \omega^2} \cdot \frac{\sin(\alpha \pm \beta)}{\cos(\beta \mp \varphi)} \right]$$

(41)

Перші інтеграли рівняння (41) для інтервалів відносного руху колісного рушія, як без буксування, так і з буксуванням, будуть мати вигляд:

$$x = \frac{a_{+}}{\omega} [(\cos \sigma_{0+} - \cos \sigma) - K_{x+} \cdot (\sigma - \sigma_{0+})] \quad (42)$$

$$x = \frac{a_{-}}{\omega} [(\cos \sigma_{0-} - \cos \sigma) - K_{x-} \cdot (\sigma - \sigma_{0-})] \quad (43)$$

Праві частини цих рівнянь повинні обертатися в нуль при припиненні буксування, тобто коли кути σ приймуть значення кутів σ_{+}' та σ_{-}' .

Тому:

$$\cos \sigma_{0+} - \cos \sigma_{+}' = K_{1+} \cdot (\sigma_{+}' - \sigma_{0+}) \quad (44)$$

$$\cos \sigma_{0-} - \cos \sigma_{-}' = K_{1-} \cdot (\sigma_{-}' - \sigma_{0-}) \quad (45)$$

Рішенням трансцендентних рівнянь (44) та (45) визначають значення фазових кутів σ_{+}' та σ_{-}' , які відповідають зупинкам колісного рушія при зміні режиму руху без буксування на рух з буксуванням та зворотно.

Для створення процесу регуляторного режиму руху транспортного засобу з миттєвими зупинками початок руху в кожному з випадків співпадає по часу та фазовому куту з закінченням руху з буксуванням чи без нього.

Тоді для цього режиму руху можливо буде записати:

$$\sigma_{-}' = \sigma_{+}' \quad (46)$$

$$\sigma_{-}' = 2\pi + \sigma_{+}' \quad (47)$$

У загальному випадку для такого режиму виконуються умови:

$$\sigma'_+ \geq \sigma_{0+} \text{ та } \sigma'_- = \sigma'_0 \quad (48)$$

При цьому умови

$$\sigma'_+ = \sigma_{0-} \text{ та } \sigma'_- = \sigma'_0 \quad (49)$$

будуть визначати границі області існування даного режиму.

Інтегруючи диференціальне рівняння (41)

$$\int_0^\sigma \frac{d^2x}{dt^2} = \int_0^\sigma S_0 \cdot \omega^2 \cdot \frac{\cos(\beta \mp \varphi)}{\cos \varphi} \cdot \left[\sin t - \frac{g}{S_0 \cdot \omega^2} \cdot \frac{\sin(\alpha \pm \beta)}{\cos(\beta \mp \varphi)} \right] \quad (50)$$

отримуємо:

$$\dot{x} = \frac{a_+}{\omega} \cdot [(\cos \sigma'_+ - \cos \sigma) - K_{1+}(\sigma - \sigma'_+)] \quad (51)$$

Для режиму переміщення з буксуванням колісного рушія рівняння (50) інтегруємо у межах від σ'_+ та σ і отримуємо:

$$\dot{x} = \frac{a_-}{\omega} \cdot [(\cos \sigma'_- - \cos \sigma) - K_{1-}(\sigma - \sigma'_-)] \quad (52)$$

У миттєвих перетвореннях руху з наявністю буксування у руху з відсутністю буксування при $\dot{x} = 0$ кути σ в рівняннях (51) та (52) приймають відповідні значення $\sigma = \sigma''_+$ та $\sigma = \sigma''_-$. Після підстановки цих значень в рівняння (51) та (52), отримуємо:

$$\cos \sigma'_+ - \cos \sigma''_+ = K_{1+} \cdot (\sigma''_+ - \sigma'_+) \quad (53)$$

$$\cos \sigma'_- - \cos \sigma''_- = K_{1-} \cdot (\sigma''_- - \sigma'_-) \quad (54)$$

Підставимо в рівняння (54) значення σ'_- та σ''_- з рівняння (47) і отримуємо:

$$\cos \sigma'_+ - \cos(2\pi + \sigma'_+) = K_{1-} \cdot (2\pi + \sigma'_+ - \sigma''_-) \quad (55)$$

Рівняння (55) представимо у наступному виді:

$$\cos \sigma'_+ - \cos \sigma''_+ = K_{1-} \cdot [(\sigma''_+ - \sigma'_+) - 2 \cdot \pi] \quad (56)$$

Прирівнюємо праві частини рівнянь (53) та (56), і отримуємо:

$$\sigma''_+ - \sigma = 2\pi \cdot \frac{\gamma}{\gamma - 1} \quad (57)$$

Величину γ будемо визначати з співвідношення:

$$\gamma = \frac{K_{1-}}{K_{1+}} = \frac{\sin(\alpha + \varphi) \cdot \cos(\beta - \varphi)}{\cos(\beta + \varphi) \cdot \sin(\alpha + \varphi)} \quad (58)$$

Введемо позначення:

$$\varepsilon = \frac{\sigma''_+ - \sigma'_+}{2} = \pi \cdot \frac{\gamma}{\gamma - 1} \quad (59)$$

Уявимо ліву частину рівняння (56) у вигляді:

$$\cos \sigma''_+ - \cos \sigma'_+ = 2 \cdot \sin \frac{\sigma''_+ - \sigma'_+}{2} \cdot \sin \frac{\sigma''_+ + \sigma'_+}{2}$$

та підставимо в рівняння (53) з урахуванням введеної позначки (59)

отримуємо:

$$2 \cdot \sin \frac{\sigma_+'' - \sigma_+'}{2} \cdot \sin \varepsilon = 2 \cdot K_{1+} \cdot \varepsilon \quad (60)$$

З рівняння (60) маємо:

$$\frac{\varepsilon - \sigma_+'}{2} = \arcsin \frac{\varepsilon \cdot K_{1+}}{\sin \varepsilon} \quad (61)$$

Приймемо, що кут $\frac{\sigma_+'' + \sigma_+'}{2}$ змінюється тільки на півоберта колісного рушія. Тоді рівняння набуває вигляду:

$$\frac{\sigma_+'' - \sigma_+'}{2} = \pi - \arcsin \frac{\varepsilon \cdot K_{1+}}{\sin \varepsilon} \quad (62)$$

Рішення сумісно рівнянь (59) та (62) дає можливість отримати вирази для визначення фазових кутів початку та кінця руху колісного рушія без буксування:

$$\sigma_+' = \left(\pi - \arcsin \frac{\varepsilon \cdot K_{1+}}{\sin \varepsilon} \right) - \varepsilon; \quad (63)$$

$$\sigma_+'' = \left(\pi - \arcsin \frac{\varepsilon \cdot K_{1+}}{\sin \varepsilon} \right) + \varepsilon \quad (64)$$

З формул (63) та (64) випливають співвідношення:

$$\sin \sigma_+' = \frac{\varepsilon \cdot K_{1+}}{\operatorname{tg} \varepsilon} + \sqrt{\sin^2 \varepsilon - (\varepsilon \cdot K_{1+})^2}; \quad (65)$$

$$\sin \sigma_+'' = \frac{\varepsilon \cdot K_{1+}}{\operatorname{tg} \varepsilon} - \sqrt{\sin^2 \varepsilon - (\varepsilon \cdot K_{1+})^2}. \quad (66)$$

Для визначення переміщень транспортного засобу за один оборот колісного рушія і з дотриманням режиму буксування та без буксування проінтегруємо рівняння:

$$\int_{\sigma_+'}^{\sigma_+''} \frac{dx}{dt} = \int_{\sigma_+'}^{\sigma_+''} \frac{a_+}{\omega} \cdot [\cos \sigma_+' - \cos \sigma] - K_{1+} \cdot (\sigma - \sigma_+') \quad (67)$$

У межах від σ_+' до σ_+'' та рівняння

$$\int_{\sigma_+'}^{\sigma_+' + 2\pi} \frac{dx}{dt} = \int_{\sigma_+'}^{\sigma_+' + 2\pi} \frac{a_+}{\omega} \cdot [\cos \sigma_+' - \cos \sigma] - K_{1+} \cdot (\sigma - \sigma_+') \quad (68)$$

У межах від $\sigma_+' = \sigma_+'$ до $\sigma_+' = 2\pi + \sigma_+'$.

Отримані формули для визначення переміщень транспортного засобу будуть мати вигляд:

$$S_+ = \frac{a_+}{\omega^2} \left[(\cos \sigma_+' + K_{1+} \sigma_+') \cdot (\sigma_+'' - \sigma_+') - (\sin \sigma_+' - \sin \sigma_+'') - K_{1+} \frac{(\sigma_+'' - \sigma_+')^2}{2} \right]; \quad (69)$$

$$S_- = \frac{a_-}{\omega^2} \left[(\cos \sigma_+' + K_{1-} \sigma_+') \cdot (2\pi + \sigma_+' - \sigma_+'') - (\sin \sigma_+' - \sin \sigma_+'') - K_{1-} \frac{(2\pi + \sigma_+' - \sigma_+'')^2}{2} \right] \quad (70)$$

З урахуванням формул (33), (34), (56), (59), (63), (64), (65), (66), а також співвідношення

$$K_- = \frac{\varepsilon \cdot K_+}{\varepsilon - \pi} \quad (71)$$

Формули для визначення переміщень S_+ та S_- набувають вигляду:

$$S_+ = 2 \cdot S_0 \cdot \frac{\cos(\beta - \varphi)}{\cos \varphi} \cdot \left(1 - \frac{\varepsilon}{\operatorname{tg} \varepsilon} \right) \cdot \sqrt{\sin^2 \varepsilon - (\varepsilon \cdot K_+)^2} \quad (72)$$

$$S_- = 2 \cdot S_0 \cdot \frac{\cos(\beta + \varphi)}{\cos \varphi} \cdot \left(1 + \frac{\pi - \varepsilon}{\operatorname{tg} \varepsilon} \right) \cdot \sqrt{\sin^2 \varepsilon - (\varepsilon \cdot K_+)^2} \quad (73)$$

Середня швидкість переміщення транспортного засобу буде визначатися, як часне від ділення сумарного переміщення транспортного засобу за один період обертання колісного рушія до періоду обертання колісного рушія:

$$\dot{X}_{\text{сер}} = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \left(\int_{\sigma_+'}^{\sigma_+''} \dot{x} \cdot d\sigma + \int_{\sigma_+'}^{\sigma_+''} \dot{x} \cdot d\sigma \right) \quad (74)$$

$$V_{\text{сер}} = \frac{S_+ + S_-}{T}, \text{ де } T = \frac{2\pi}{\omega} \quad (75)$$

Підставимо рівняння (72) та (73) у формулу (75) та отримаємо формулу для визначення середньої швидкості переміщення транспортного засобу у такому вигляді:

$$V_{\text{сер}} = \frac{S_0}{\pi \cdot \cos \omega} \cdot \sqrt{\sin^2 \varepsilon - (\varepsilon \cdot K_+)^2} \cdot \left[\left(1 - \frac{\varepsilon}{\operatorname{tg} \varepsilon} \right) \cdot \cos(\beta - \varphi) - \left(1 + \frac{\pi - \varepsilon}{\operatorname{tg} \varepsilon} \right) \cdot \cos(\beta + \varphi) \right] \quad (76)$$

Після перебудови отримуємо остаточно рівняння для визначення швидкості:

$$V_{\text{сер}} = S_0 \cdot \omega \cdot \cos \beta \cdot \cos \varepsilon \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{\varepsilon \cdot K_+}{\sin \varepsilon} \right)^2} \quad (77)$$

Результати проведених теоретичних досліджень. Проведені розрахунки по формулі (77), вказують на різноманітність залежності середньої швидкості руху тягово-транспортного засобу від зміни режиму кочення колісних рушіїв та зміни геометричних параметрів опорної поверхні.

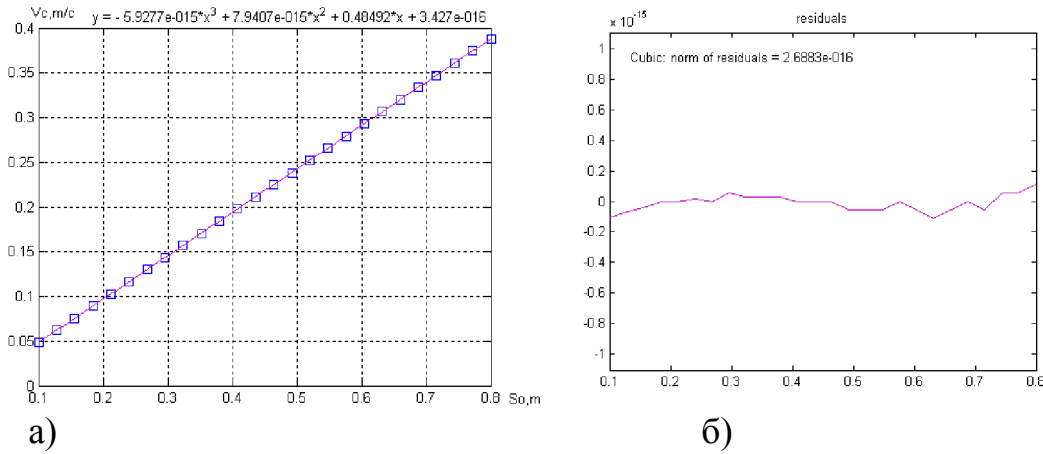


Рис. 2. а) – залежність середньої швидкості руху ТТЗ від величини підйому технологічного модуля відносно попереднього значення; б) – похибка проведеного дослідження.

Висновки. Отримана математична залежність середньої швидкості руху ТТЗ з «миттєвими зупинками», які виникають при зміні геометрії опорної поверхні та відносного руху колісних рушіїв пов'язаних з подоланням негативного явища «миттєва зупинка».

ЛІТЕРАТУРА

1. Водяник І. І. «Експлуатаційні властивості тракторів і автомобілів», - Київ, «Урожай».1994.
2. Гуськов В. В. Оптимальные параметры сельскохозяйственных тракторов. – М.: Машиностроение, 1966.
3. Погорілий Л. В., Євтенко В. Г. «Мобільна сільськогосподарська енергетика», - Київ, «Фенікс».2005.
4. Ходовые системы тракторов. Справочник. В. М. Забродский. – М.: Агропромиздат, 1986.- 271.

ОБЩАЯ ТЕОРИЯ ПРОЦЕССА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ТЯГОВО-ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА С МГНОВЕННЫМИ ОСТАНОВКАМИ ИЗ-ЗА БУКСОВАНИЯ КОЛЕС ДВИЖИТЕЛЯ

Л. Н. Петров, С. Н. Сикорский

Ключевые слова: движитель, момент, угловая скорость, сила трения.

Резюме

Приведена общая теория процесса перемещения тягово-транспортного средства с мгновенными остановками в случае возникновения относительного движения колесного движителя, которая была предложена доцентом Петровым Л. Н. Результаты исследования обработанные в среде MATLAB.

**GENERAL THEORY OF PROCESS MOVING HAULING-TRANSPORT
VEHICLE WITH THE INSTANTANEOUS STOPS FROM SKIDDING OF
WHEELS**

L. N. Petrov, S. N. Sikorskiy

Summary

Resulted general theory of process moving hauling-transport vehicle with the transport stops in time origin of relative motion of wheeled, which is offered by an associate professor Petrov L.N. Results of research the treated in an environment MATLAB.