

Петров Л.М., к.т.н, Борисенко Т.М.

Одеський державний аграрний університет, м. Одеса

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ТРАКТОРНОГО ГУСЕНИЧНОГО РУШІЯ З ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯМ

Наведено аналіз переміщення гусеничного рушія з енергозбереженням удосконаленої конструкції, що забезпечує зниження загальних витрат енергії та високий рівень коефіцієнта корисної дії ходових систем енергетичних засобів згідно з запропонованою теорією Л.М. Петрова.

Вступ

Огляд літератури за темою досліджень [1] показав, що опір пересуванню тягового енергетичного засобу характеризується силою R_k . В роботі [2] для гусеничного енергозасобу сила опору коченню при встановленому русі складається з сил тертя у підшипниках опорних катків та при коченні — опорних катків по біговим доріжкам ланок гусеничного ланцюга.

У роботі [3] до сили опору коченню додають сили тертя, які виникають в елементах ланок гусениці від її попереднього натягу, а також силу, яка витрачається на нормальну, до поверхні шляху, деформацію ґрунту.

Як видно з огляду літератури, можна виділити невирішену раніше частину загальної проблеми: невраховані моменти від сил тертя, які виникають при ковзанні гусеничних ланцюгів по ведучому колесу.

Теоретичні положення

Метою дослідження є розробка математичної моделі ведучої зірочки гусеничного рушія з енергозбереженням, що передбачає усунення моментів сил тертя ковзання, які виникають при переміщенні гусеничних ланцюгів по ведучому колесу, та одержання загальної оцінки удосконаленого переміщення трактора з гусеничним рушієм.

Об'єктом досліджень є ведуча зірочка енергетичного засобу з гусеничним рушієм. Предметом дослідження є удосконалена кінематика гусеничного ланцюга по зубцю ведучої зірочки.

Наукова задача досліджень полягає у встановленні закономірності між координатами лінійного переміщення трактора по гусениці та кутом повороту ведучої зірочки.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішено такі окремі задачі:

- змінено нахил зубця ведучої зірочки;
- розроблено математичну модель ефективного переміщення пальця гусениці по зубцю.

Результати дослідження

Наукова задача вирішувалась за допомогою основних понять теоретичної механіки.

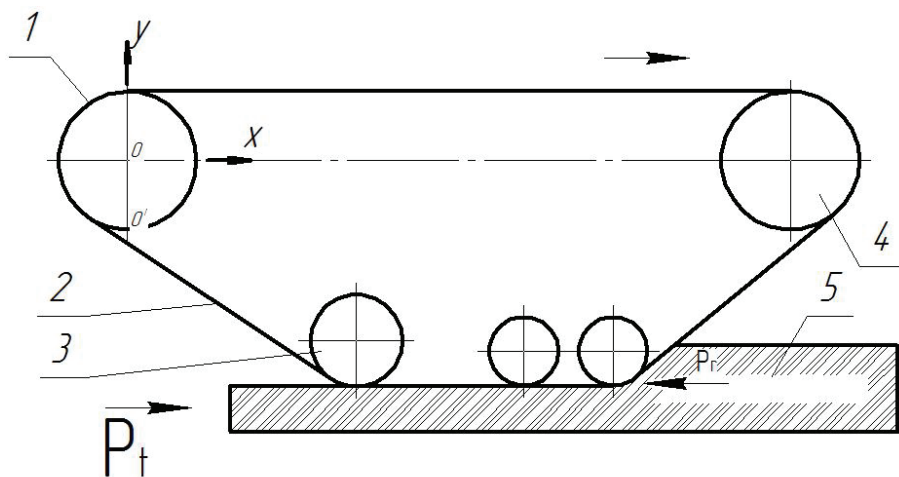


Рис. 1. Схема руху гусеничного тягового енергетичного засобу:
1 — ведуча зірочка; 2 — гусеничний ланцюг; 3 — опорний каток;
4 — направляюче колесо; 5 — опорний фон

Сила опору при встановленому русі складається із сил тертя, які виникають у підшипниках опорних катків при коченні по бігових доріжках ланок гусениці у третьових елементах гусениці від попереднього натягу, а також сили, яка витрачається на нормальну до поверхні шляху деформацію ґрунту. При нерівномірному русі засобу має враховуватися момент від дотичних сил інерції (P_t) та горизонтальна складова рівнодіючої реакції ґрунту на лобову ділянку гусениць під час їх руху по деформованій поверхні шляху — лобовий опір P_r .

Критерієм, за яким оцінюються основні параметри гусеничного рушія, є обертальний момент на ведучому колесі. Для спрощення розрахунків сили тертя не враховуємо.

Обмеженням щодо застосування критерію є кількість площадок зсуву.

На рисунку 2 показано схему натягу гусеничного ланцюга на ведучому колесі та гусениці при застосуванні звичайного гусеничного рушія, а на рисунку 3 (а, б) наведено схему запропонованого гусеничного рушія, яка виконана за енергозберігаючою технологією.

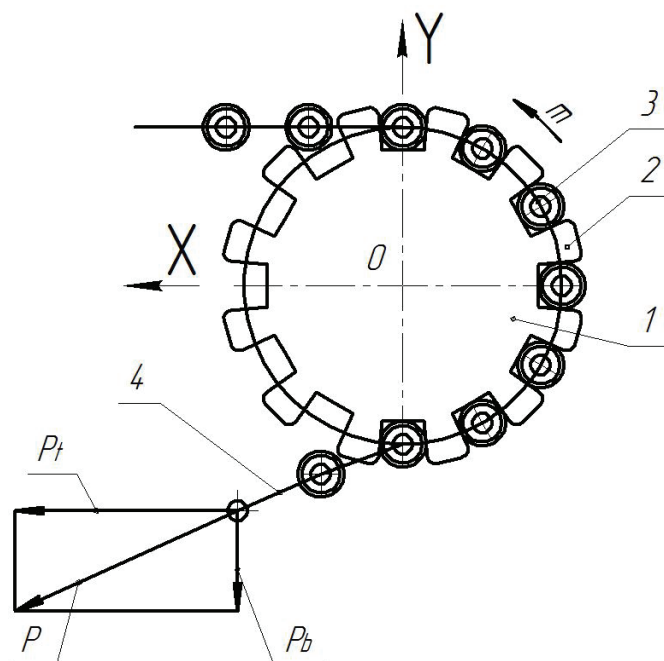


Рис. 2. Схема натягу гусеничного ланцюга за методом аналога:
1 — ведуче колесо; 2 — цівка; 3 — палець; 4 — гусеничний ланцюг

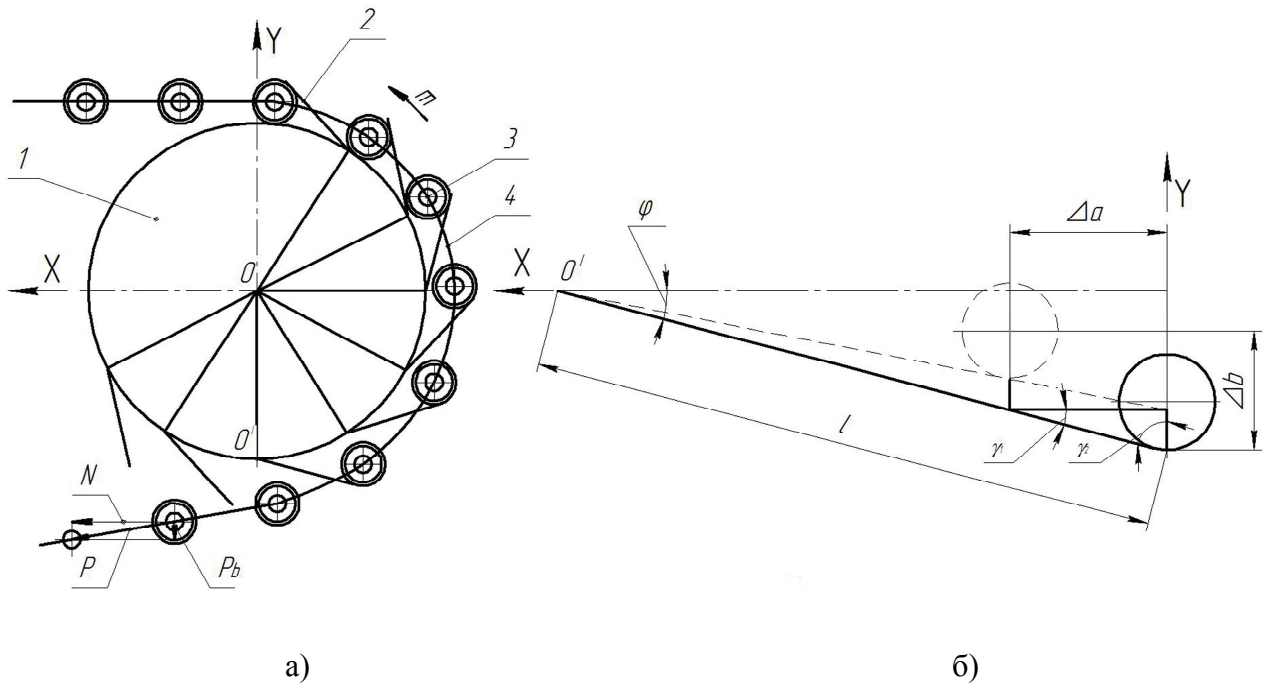


Рис. 3. Схема натягу гусеничного рушія з енергозбереженням за запропонованою методикою (а) та моделювання нахилу зубця ведучої зірочки (б):
1 — ведуче колесо; 2 — площадка зсуву; 3 — палець; 4 — гусеничний ланцюг

Розглянемо змінення координат x та y при пересуванні трактора по гусениці:

$$\begin{cases} \frac{x}{l} = \sin \phi \\ \frac{y}{l} = \cos \phi, \end{cases} \quad (1)$$

де ϕ — кут профілю зуба;

l — довжина зуба, м.

Обидві частини рівняння (1) зведемо до квадрату та складемо:

$$\left(\frac{x}{l}\right)^2 + \left(\frac{y}{l}\right)^2 = \sin^2 \phi + \cos^2 \phi = 1; \quad (2)$$

$$\frac{x^2 + y^2}{l^2} = 1 \rightarrow \ln(x^2 + y^2) - \ln l^2 = 0. \quad (3)$$

Прологарифмуємо вираз (3), отримаємо рівняння:

$$x^2 + y^2 = e^{\ln l^2}. \quad (4)$$

Розглянемо відрізок гусениці, який знаходиться на зірочці і обмежений центральним кутом $d\phi$ (рис. 4).

На цей відрізок гусениці діють такі сили: dN — нормальна реакція пальця; F — значення зусилля на пальці в даний час, положення якого визначається кутом ϕ ; $F+dF$ — зусилля на пальці в положенні, яке визначається координатою $\phi+d\phi$; fdN — сила тертя пальця по зубцю; f — коефіцієнт тертя між зубцем ведучої зірочки та пальцем гусениці.

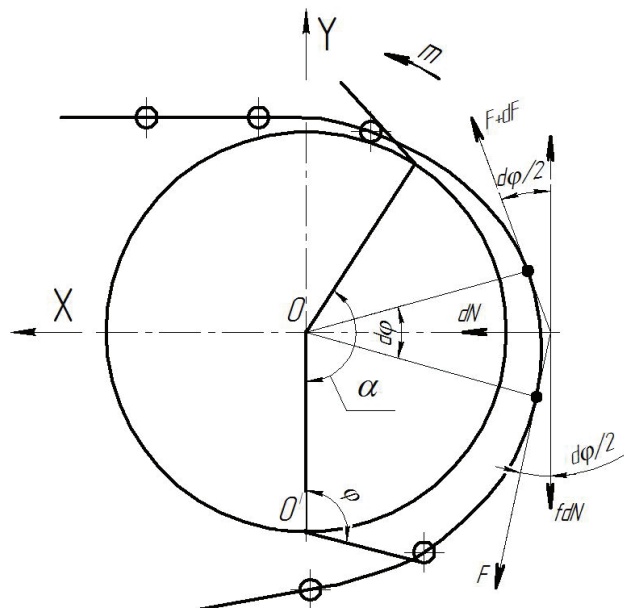


Рис. 4. Схема до методики визначення сил навантаження модернізованої зірочки гусеничного рушія

$$[F + fdN - (F + dF)] \cdot dx = 0; \quad (5)$$

$$dN - F \sin\left(\frac{d\phi}{2}\right) - (F + dF) \sin\left(\frac{d\phi}{2}\right) = 0. \quad (6)$$

Відкидаємо в (6) умови рівноваги членів другого порядку малості $\left(dF \cdot \sin\left(\frac{d\phi}{2}\right)\right) \approx 0$

та, беручи до уваги $\sin\left(\frac{d\phi}{2}\right) \approx \frac{d\phi}{2}$, отримуємо:

$$dN = Fd\phi;$$

$$\frac{dF}{F} = f, \text{ так як } dN = \frac{dF}{f},$$

$$dN = \frac{dF}{f} = Fd\phi \Rightarrow \frac{dF}{F} = fd\phi.$$

Інтегруючи ліву частину рівності від F_2 до F_1 , а праву від 0 до α , отримуємо:

$$\int_{F_2}^{F_1} \frac{dF}{F} = \int_0^{\alpha} fd\phi; \text{ звідки } \ln\left(\frac{F_1}{F_2}\right) = f\alpha;$$

$$\frac{F_1}{F_2} = e^{f\alpha}. \quad (7)$$

Отже, співвідношення між зусиллями у приводі ведучої зірочки з урахуванням сили тертя між пальцем та відігнутих зубцем:

$$F_1 = F_2 e^{f\alpha}, \quad (8)$$

де e — основа натурального логарифма;

α — кут обхвату робочої зони ведучої зірочки гусеничним ланцюгом;

F — рівнодіюча сила опору, H ;

F_1 — початкова рівнодіюча сила опору на відігнутому зубці, H ;

F_2 — кінцева рівнодіюча сила опору на відігнутому зубці при відпрацюванні кута α , H ;

f — коефіцієнт тертя металу (пальця траку по зубцю ведучої зірочки)

З метою встановлення закономірності впливу переміщення пальця по нахиленому зубцю на співвідношення сил навантаження пальця на вході та виході з одночасним переміщенням пальця по зубцю в горизонтальному та вертикальному напрямках складемо рівняння рівноваги моментів:

$$\sum M = 0 \Rightarrow Fr - (F - dF) \cdot (r + dr) = 0, \quad (9)$$

де r — кривизна дуги, яка утворюється при переміщенні пальця ведучої зірочки $r = e^{\ln l^2}$.

Нехтуючи величинами другого порядку, з (8) отримаємо:

$$rdF = Fdr. \quad (10)$$

Розділивши змінні та зінтегрувавши отримані вирази

$$\int_{F_2}^{F_1} \frac{dF}{F} = \int_l^r \frac{dr}{r}, \quad (11)$$

остаточно отримаємо

$$\frac{F_1}{F_2} = e^{\frac{l}{r}}. \quad (12)$$

В рівняннях (8) і (12) наповнимо буквений зміст скалярними величинами та відобразимо отримані результати на рис. 5.

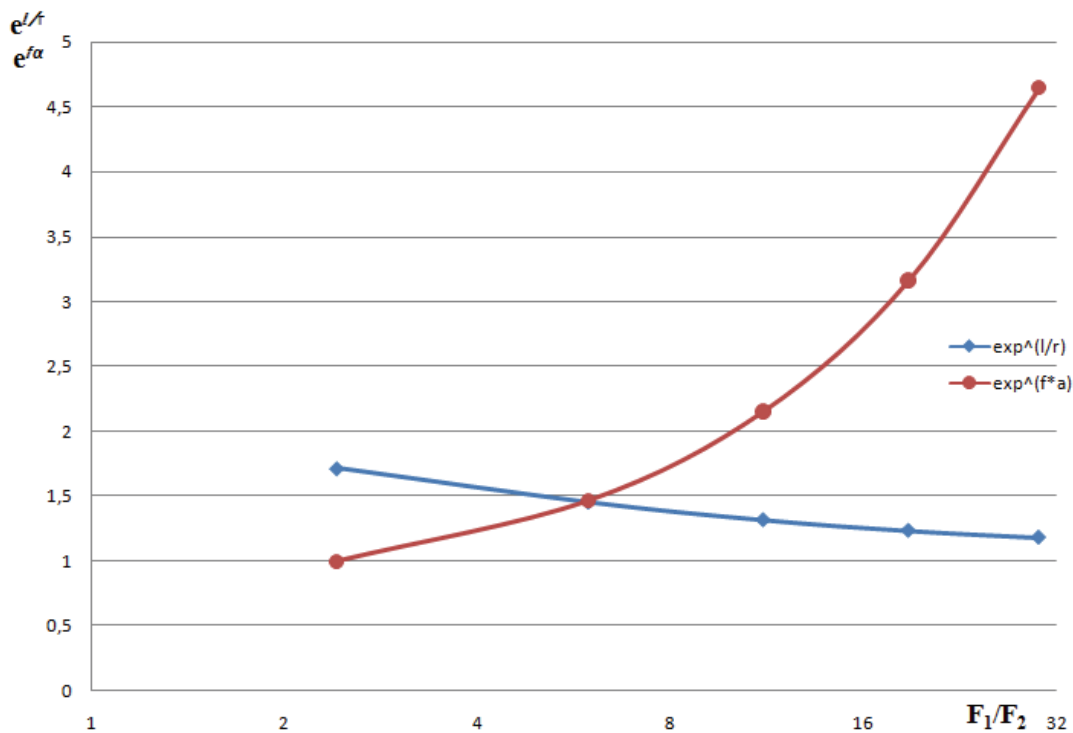


Рис. 5. Графік залежності впливу геометричних параметрів модернізованої ведучої зірочки від співвідношення сил навантаження на вході та виході ведучої зірочки

Точку робочої частини зубця, яка відповідає горизонтальному переміщенню пальця за час знаходження ланцюга на активній частині зірочки і утворює миттєвий процес надання відносного руху трактора по гусеничному ланцюгу, назовемо особливою.

Звернемося до рівняння (1), в якому замінимо змінні x та y на кінцеві значення переміщення точки дотику пальця з зубцем ведучої зірочки за час знаходження його на цьому зубці:

$$\begin{cases} \frac{\Delta a}{\Delta b} = \operatorname{tg} \gamma_1 \\ \frac{\Delta b}{\Delta a} = \operatorname{tg} \gamma_2, \end{cases} \quad (6)$$

де Δa — горизонтальне переміщення пальця гусеничного ланцюга по робочій частині зубця;

Δb — повздовжнє переміщення пальця гусеничного ланцюга по робочій частині зубця;

γ_1 — кут повороту, який відповідає горизонтальному переміщенню;

γ_2 — кут повороту, який відповідає вертикальному переміщенню.

Висновки

1. Шляхом моделювання процесу входу та виходу пальця по зубцю модернізованої зірочки встановили, що відношення сили дії на зубець пальця та сходження з зубця цього пальця змінюється по експоненті, степеню якої є добуток коефіцієнта тертя та кута обхвату робочої зони ведучої зірочки.

2. Шляхом моделювання зміни моментів на пальці модернізованої зірочки зі зміною координати розташування пальця на зубці встановлено залежність, яка пропорційна експоненті, степеню якої є відношення довжини зубця до кривизни дуги повороту та зміщення зірочки.

3. Експоненціальна залежність кута обхвату та довжини зубця від відношення сили входу та виходу пальця визначається кривими, у перетині яких утворюється особлива точка.

Список літератури

1. Маркеев А.П. Теоретическая механика: учебник для университетов / А.П. Маркеев. — М.: ЧеРо, 1999. — 572 с.
2. Зозуля В.В. Теоретическая механика: учебное пособие / В.В. Зозуля, А.В. Мартыненко, А.Н. Лукин. — Харьков: Нац. ун-т внутренних дел, 2004. — 244с.
3. Вильке В.Г. Теоретическая механика: учебник. 3-е изд., испр. и доп / В.Г. Вильке. — СПб. — М.: Лань, 2003. — 304с.

Рецензент: к.т.н., доц., А.В. Хімченко, АДІ ДВНЗ «ДонНТУ»;
д.т.н., проф., В.Ф. Оробей, Одеський національний політехнічний університет

Стаття надійшла до редакції 27.05.10
© Петров Л.М., Борисенко Т.М., 2010