

УДК 621.869.98

© М.В. Голотюк, к.т.н.

Національний університет водного господарства та природокористування

## **ОЦІНКА ВПЛИВУ ГУСЕНИЧНОГО РУШІЯ НА ГРУНТ**

*В роботі викладені дослідження особливостей машин з гусеничними рушіями поряд зі створенням нових моделей, яке полягає в створенні технічних систем, заснованих на використанні зменшення впливу на ґрунт. У статті проаналізовано напрямки удосконалення ходових систем гусеничних тракторів. Наведені відомі конструктивні рішення та узагальнено основні напрямки подальших досліджень. Основною областю застосування залишається промисловість і, насамперед, машинобудування. В роботі виконано аналіз шляхів підвищення ефективності гусеничного рушія.*

**ГУСЕНИЧНИЙ РУШІЙ, ГРУНТ, УДОСКОНАЛЕННЯ,  
КОНСТРУКЦІЯ, ПРОХІДНІСТЬ, ТЯГОВА  
ХАРАКТЕРИСТИКА.**

**Постановка проблеми.** На даний час гусеничними рушіями оснащено понад чверть усіх транспортно-технологічних машин [1]. Даний тип рушія добре зарекомендував себе за умови

роботи машин, зокрема тракторів сільськогосподарського призначення, на полях із складним рельєфом, перезвожених ґрунтах.

Гусеничний рушій почали застосовувати ще у 19-му столітті. Конструкція рушія остаточно була розроблена на початку 20-го століття, коли було встановлено переваги гусеничного рушія над колісним. Паралельно з цим формується концепція напівгусеничних рушіїв (комбінування коліс із гусеницями та лиж із гусеницями).

Гусеничні рушії мають різні конструктивні виконання. До складу рушіїв входять гусениці, ведуче колесо (зірочка), напрямне колесо, ролик підтримуючі, опорні котки, які встановлені на рамі на спеціальних каретках, що часто оснащують амортизаторами.

Вага трактора, оснащеного гусеничним рушієм, передається через підвіску на опорні котки та гусениці й далі на ґрунт. Ведучі колеса обертаються та приводять у рух гусеничні ланцюги, по внутрішній стороні яких перекочуються опорні котки з несучою системою машини. По мірі перекочування опорних котків задні ланки (траки) гусеничного ланцюга переходять на верхню вітку гусениці, а далі знову вступають у контакт з поверхнею опорної основи, що розташована під передньою частиною машини.

Недоліками гусеничних рушіїв є: швидке зношування деталей тертя (провушини, пальці); злам траків за умови нерівномірного навантаження; потрапляння камінців між гусеницями та котками.

Особливе місце у виконанні технологічних операцій гусеничними машинами відводиться забезпеченню прохідності, плавності ходу і поворотності. Аналіз напрямків вирішення цих завдань та усунення вищезначених недоліків дозволить обґрунтувати концепцію удосконалення конструкції гусеничних рушіїв.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В роботах А.С. Антонова, Е.Д. Львова, Д.К. Карельських, Н.А. Забавнікова, В.В. Гуськова, М.К. Кристі, В.Ф. Платонова, Аніловича В.Я., Водолажченко Ю.Т. [2-9] викладено основи теорії гусеничного рушія, висвітлено питання взаємодії рушія з ґрунтом. Теоретичні питання роботи гусеничного рушія, їхньої довговічності розглянуто в роботі В.Я. Аніловича [9]. Автором висвітлено динаміку взаємодії гусениць з напрямними і опорними котками, ведучим колесом.

У [9] автором доведено, що на сучасному етапі використання гусеничних машин у будівельних машинах, машинах для земляних робіт і сільськогосподарських машинах є переважним над використанням колісних.

**Мета роботи.** На основі аналізу відомих досліджень і новітніх конструктивних рішень встановити основні напрямки розвитку конструкцій гусеничних рушіїв.

**Результати дослідження.** Переміщення техніки під час виконання технологічних операцій призводить до зміни ґрунтового покриву. У більшості випадків ці зміни носять негативний характер: ущільнення, колієутворення, здирання верхнього родючого шару, зміна твердості ґрунту [1,2,3,4].

Конструкції експлуатованих тракторів розроблялися кілька десятиліть тому, коли визначальним фактором була прохідність.

На сьогоднішній день одним з найбільш значущих чинників при створенні техніки стає її екологічна сумісність з ґрунтами. Тому при проектуванні машин з гусеничним рушієм необхідно приймати науково-обґрунтовані технічні рішення, що забезпечують їх сумісність з лісовою середовищем. Розробка таких рішень має базуватися на математичному моделюванні, яке вже на стадії проектування дозволить розрахувати і оцінити наслідки застосування розроблюваної техніки. При цьому при розробці математичної моделі необхідно враховувати не тільки вплив технічних параметрів самого рушія, але фізико-механічні властивості ґрунту. Математичні моделі взаємодії гусениць з ґрунтом можуть бути розроблені лише на основі спрощених схем руху, що відображають принцип роботи гусеничних ходових систем, і подальшого їх уточнення з урахуванням особливостей протікання реальних процесів. Це в свою чергу залежить від конструкції рушіїв і умов роботи машин [5].

Однією з основних фаз процесу руйнування, що відбувається під час руху гусеничної системи, є ущільнення ґрунту. Розгляд взаємодії тракторів з переміщенням і процесів, що протікають в граничному діапазоні «рушій-ґрунт», дозволяє прийняти в якості базової формулу, яка застосовується для сільськогосподарських машин.

Щільність ґрунту  $\rho_1$  в сліді рушія визначається за формулою:

$$\rho_1 = \rho_0 + \alpha \times U \quad (1)$$

де,  $\alpha$  – коефіцієнт пропорційності, кг / м<sup>2</sup>×Н;  $U$  – коефіцієнт, що характеризує ущільнюючий вплив ходової системи, м×Па;

$$\alpha = \rho_0 \times (1 - \mu_0^2) / (E_0 \times H) \quad (2)$$

$$U = \omega \times b \times q_{maxv} \times (1 + \lambda lgN) \quad (3)$$

де  $\rho_0$  – щільність ґрунту в центрі колії на контрольній ділянці, кг/м<sup>3</sup>;  $\mu_0$  – коефіцієнт Пуассона;  $E_0$  – модуль загальної деформації ґрунту, МПа;  $\omega$  – коефіцієнт, що залежить від розміру і форми опорної поверхні;

для гусеничного рушія:

$$\text{при } L/b < 7 \quad \omega = \left(0,92 + 0,3 \times \frac{L}{b}\right)$$

$$\text{при } L/b > 7 \quad \omega = 2,15$$

( $L$  – довжина опорної поверхні гусениці)

$b$  – ширина рушія, м;  $q_{maxv}$  – максимальний тиск рушія при швидкості  $v$ , Н/м<sup>2</sup>;  $\lambda$  – коефіцієнт інтенсивності накопичення необоротної деформації ґрунту при повторних навантаженнях;  $lgN$  – десятковий логарифм числа проходів рушія по одному сліду.

Оскільки сільськогосподарські ґрунти за своїми властивостями на великих площах можуть різко відрізнятися один від одного. Тому запропонована залежність (1) вимагає перетворення з урахуванням цих особливостей.

Експериментально коефіцієнт  $\lambda$  для лісових ґрунтів визначити важко, тому в дослідженні можемо прийняти  $\lambda = 1,0$  [5].

Встановлено, що більше половини машинного часу гусеничний трактор працює на 3 передачі. При цьому середня швидкість змінюється у вузькому діапазоні.

Тому в математичній моделі прийемо, що максимальний тиск рушія при швидкості  $v$   $q_{maxv}$ , дорівнює максимальному тиску при швидкості рівній нулю  $q_{max0}$ .

$$q_{maxv} = q_{max0} \quad (4)$$

Максимальний тиск при швидкості рівній нулю визначається по формулою:

$$q_{max0} = \xi \times q_{ax0cp} \quad (5)$$

де,  $\xi$  – коефіцієнт нерівномірності розподілу тиску по довжині опорної поверхні;  $q_{cp}$  – середній питомий тиск, Н/м<sup>2</sup>.

Коефіцієнт нерівномірності розподілу тиску по довжині опорної поверхні визначається за формулою:

$$\varepsilon = \frac{a}{2} \times \sqrt{\frac{2 \times k \times b}{T}}$$

де,  $a$  – відстань між катками, м;  $k$  – коефіцієнт об'ємного зминання, Н/м<sup>3</sup>;  $b$  – ширина рушія, м;  $T$  – зусилля натяжна пружини, Н;

Формулу (1) для визначення щільності ґрунту в сліді рушія можна записати в розгорнутому вигляді:

$$\rho cl = \rho_0 + \frac{\rho_0 \times (1 - \mu^2)}{E_0 \times H} \times \omega \times p \times b \times (1 + \lambda \times lgN) \quad (7)$$

З механіки ґрунтів [6], відомо

$$s = \frac{\omega \times p \times b \times (1 - \mu^2)}{E_0} \quad (8)$$

Підставляючи (8) в (7) отримуємо наступну залежність:

$$\rho cl = \rho_0 + \frac{\rho_0 \times (1 + \lambda \times lgN)}{H} \times s \quad (9)$$

Для подальших розрахунків, необхідно розглянути які зміни відбуваються з ґрунтом при збільшенні зовнішнього тиску. Для цього скористаємося схемою (рис. 1) [7].

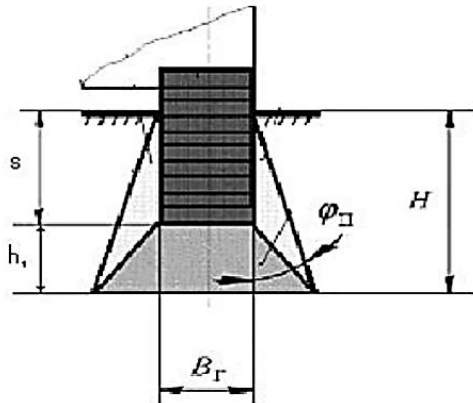


Рис. 1 – Розрахункова схема до визначення глибини поширення ґрунту напруг, створюваних гусеницею трактора

Виділимо і розглянемо в шарі ґрунту призму, площа верхнього підстави якої, дорівнює площі опорної поверхні гусениці  $F_1$ . Площа нижньої основи дорівнює  $F_2$ , висота призми дорівнює  $H$  і дорівнює висоті поширення деформації в ґрунті під час руху гусеничного трактора.

Приймемо, що площі підстав  $F_1$  і  $F_2$  розглянутої призми залишаються незмінними до і після взаємодії.

Розглядаючи, обсяг твердих частинок виділеної призми до прикладання навантаження до об'єму і після ущільнення під навантаженням, отримуємо формулу для визначення різниці висот

грунту до, і після ущільнення під навантаженням:

(10)

де,  $e_1$  - початкова пористість ґрунту;  $e_2$  - кінцева пористість ґрунту.

Остаточна формула для визначення щільності ґрунту в слід рушія має вигляд:

$$\rho cl = \rho_0 + \frac{\rho_0 \times (1 + \lambda \times \lg N) \times \beta \times q_{max}}{E_0} \quad (11)$$

При цьому середній питомий тиск, який необхідно визначити при розрахунку максимального тиску при швидкості  $v$ , визначаємо за формулою (12), що дозволяє оцінювати вплив зміни розмірів рушія на середній питомий тиск, що створюється гусеничною машиною.

$$q^1 = q_0 \frac{1,5 + k_1 \times (n^2 - 1) + (m - 1) \times L_{on} \times \left( k_1 \times \frac{2 \times n^2}{z \times t} + k_2 \times \frac{R - 1}{R \times L_p} + k_3 \times \frac{1}{l_p} \right)}{m \times n} \quad (12)$$

де,  $q^1$  – тиск, який чиниться на ґрунт трактором зі зміненими розмірами рушія, Н/м<sup>2</sup>;  $q_0$  – середній питомий тиск на ґрунт, Н/м<sup>2</sup>;  $k_1$  – відносна вага гусеничного ланцюга;  $n$  – відносна зміна ширини гусениць;

$z$  – число зубів в одній гусениці до збільшення довжини опорної поверхні;  $t$  – крок ланки гусениці до збільшення довжини опорної поверхні, м;  $L_{on}$  – довжина опорної поверхні до подовження, м;  $k_2$  – відносна вага підвіски;  $R$  – кількість опорних ковзанок рушія до і після збільшення опорної довжини гусениць;  $L_b$  – база трактора, м;  $k_3$  – відносна вага рами трактора;  $l_p$  – довжина рами після подовження, м;  $m$  – відносна зміна опорної довжини гусениць;

Перевірка адекватності запропонованої моделі взаємодії гусеничного рушія з ґрунтом здійснювалася на основі даних.

Як показники впливу гусеничного рушія на ґрунти застосовуються щільність ґрунту в сліді рушія і глибина залишеної колії. Це обумовлено тим, що ці показники найбільш точно і адекватно описують наслідки даного взаємодії, а також можуть бути досить просто визначені за допомогою представленої математичної моделі і експериментально.

**Висновки та перспективи подальших досліджень.** За результатами проведеного дослідження можна зробити висновок, що розроблена математична модель може бути застосована для оцінки впливу гусеничного рушія машин на ґрунти.

### Література

1. Макаров. В.С. Обзор существующих конструкций сочлененных гусеничных машин/рекомендации по выбору их параметров / В.С. Макаров [и др.] // Труды НГТУ им Р.Е. Алексеева.2015. №2(109). С. 170–176.
2. Bekker, M.O. Relation ship bet wen sons and Vchicke S.A.E. Quarterly Frans actions, Vol.4. 1950. №3.
3. Забродский В.М., Ходовые системы тракторов [Текст]. /В.М. Забродский – М.: Агропромиздат, 1986.
4. Ксеневиц, Н.П. Ходовая система – почва – урожай [Текст] / Н.П. Ксеневиц, В.А. Скотников, М.И. Ляско,– М.: Агропромиздат, 1985. – 304с.
5. Танклевский, М.М. Проходимость машин [Текст]. /М.М. Танклевский - Киев, 1990, - 155с.
6. Скотников, В. А. Проходимость машин [Текст]. /В.А. Скотников – Минск: «Наука и техника», 1982. – 328с.
7. Танклевский, М.М. Энергоэффективные ходовые системы машин торфяного производства: дис. д-ра техн. наук. / М.М. Танклевский –Киев–Калинин, 1983. – 187 с.
8. Воронин, В.А. Основы теории тракторов, автомобилей и самоходных сельскохозяйственных машин [Текст]. /В.А. Воронин – Благовещенск, 1981. – 69с.
9. Анилович В.Я. Конструирование и расчет сельскохозяйственных тракторов/ В.Я Анилович, Ю.Т. Водолажченко : Справочное пособие. – 2-е изд., переработ. и доп. – М.: Машиностроение, 1976. – 456 с.
10. Емельянов, А. М. Пути снижения техногенного воздействия гусеничных движителей уборочных машин на переувлажненные почвы: дис. д-ра техн. наук: 05.20.01 /А.М. Емельянов,– Благовещенск, 1997. – 250 с.
11. Злобин, Е. В. Исследование тягово-сцепных свойств движителя с резино-армированными гусеницами в условиях Дальнего Востока: дисс. анд. техн. наук: 05.20.01. /Е.В. Злобин – Благовещенск, 2006. – 134 с.
12. Лапик В.П. Исследование жесткости резиноармированной гусеничной ленты гусеничного движителя/ В.П. Лапик, И.П. Адылин//Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения. - Брянский государственный аграрный ун-т № 1(14). – 2015. – С. 87-93.
13. Ходовые системы сельскохозяйственных тракторов. М.: Тр. НПО НАТИ, 1991. 139с.

14. Канделя М. В. Система ходовая с резиноармированной гусеницей фрикционного зацепления/ М. В. Канделя, В. Л. Земляк, П.А. Шилько, В.А. Сенников//Вестник Приамурского государственного ун-та им. Шолом- Алейхма, №2 (19). – С. 1- 7.

15. Рябченко В.Н. Проблемы и перспективы совершенствования гусеничной ходовой системы бч мобильных уборочно-транспортных машин/ В.Н.Рябченко, М.В. Канделя, А.М. Емельянов. Электронный ресурс: <https://cyberleninka.ru>