

**ANALYSIS OF DEFORMATIONS OF RUBBER TRACKS
WITH DIFFERENT CORD MATERIALS****M. Holotiuk, A. Shymko****National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, Ukraine*

AGRICULTURAL MACHINES

**ABSTRACT**

In agriculture, rubber cord products are widely used, which is due to the technical properties of rubber. Among rubber cord products, the tracks of agricultural machines are common. Rubber tracks are structurally complex systems containing materials that are characterized by very different values of the elasticity modulus. Rubber and metal or fabric fibers have different structural and design features. The rubber layer provides resistance to triggering and resistance to the influence of the external environment. The cord perceives the main part of the loads, which leads to the emergence of a complex stress state, which affects the formation of strength indicators. The design of rubber cord products can be different, namely: the cord is formed in one layer or several; the value of inclination angle of cord fibers to the longitudinal axis of the product may change; fibers of different lengths and diameters are used. It leads to changes in mechanical characteristics depending on external loads. Therefore, these features should be taken into account during the development of a new product design, taking into account the magnitude and nature of loads. For two cases (cord material – metal; cord material – fabric fibers), an analysis of the deformation mechanism of the rubber cord belt was carried out under the condition that the reinforcement is made at an angle. The equations that characterize the relationship between cord parameters and deformation are obtained. Cases of deformation are also considered: tensile deformation with elongation of cord fibers and without elongation; compression strain. The results of the analysis will be used as a basis for further studies of the load modes of rubber tracks of agricultural machines, taking into account not only their design, but also mechanical features. The analysis of the deformation mechanism revealed the need to develop approaches to the design of rubber tracks that take into account deformations not only in the rubber, but also in the cord layers. Features of deformations must also be taken into account when assessing stresses in sections of cyclically loaded tracks.

Key words:

rubber track,
rubber cord product,
cord material,
track deformation,
calculation of tracks

Article history:

Received 19.08.2022

Accepted 15.09.2022

***Corresponding author:**

a.v.shymko@nuwm.edu.ua

DOI: 10.36910/acm.vi48.828

To cite this article:

Holotiuk, M., & Shymko, A. (2022). Analysis of deformations of rubber tracks with different cord materials. *Agricultural Machines*, 48, 46-52. <https://doi.org/10.36910/acm.vi48.828>

УДК 621.8:539.3

АНАЛІЗ ДЕФОРМАЦІЙ ГУМОВОЇ ГУСЕНИЦІ З РІЗНИМ МАТЕРІАЛОМ КОРДУ

М.В. Голотюк, А.В. Шимко*

Національний університет водного господарства та природокористування,
м. Рівне, Україна

AGRICULTURAL MACHINES



СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ

АНОТАЦІЯ

У сільському господарстві широко використовуються гумо-кордові вироби, що обумовлено технічними властивостями гуми. Серед гумо-кордових виробів поширеними є гусениці сільськогосподарських машин та окремі елементи ходових частин машин. Гумові гусениці є конструктивно складними системами, що містять матеріали, які характеризуються дуже різними значеннями модуля пружності. Гума і метал або тканинні волокна мають різні структурні та конструктивні особливості. Гумовий шар забезпечує стійкість до спрацьовування та стійкість до впливу зовнішнього середовища. Корд сприймає основну частину навантажень, що призводить до виникнення складного напруженого стану, який впливає на формування показників міцності. Конструкція гумо-кордових виробів може бути різною: корд вкладається в один шар або декілька; може змінюватися значення кута нахилу волокон корду до поздовжньої осі виробу; використовуються волокна різної довжини та різного діаметру. Конструкція виробу обумовлює зміни механічних характеристик залежно від зовнішніх навантажень. Для двох випадків (матеріал корду – метал; матеріал корду – тканинні волокна) проведено аналіз механізму деформації гумо-кордового пасу за умови, що армування виконане під кутом. Одержані залежності, які характеризують зв'язок між параметрами корду та деформацією. Розглянуто випадки деформації: деформація розтяг із видовженням волокон корду та без видовження; деформація стиснення. Результати проведеного аналізу буде покладено в основу подальших наукових досліджень режимів навантаження гумових гусениць машин із урахуванням не лише їхніх конструктивних, а й механічних особливостей. Аналіз механізму деформацій виявив потребу у розробленні підходів до проектування гумових гусениць із урахуванням деформацій не лише у гумі, а й у шарах корду.

Ключові слова:

гумова гусениця,
гумо-кордовий виріб,
матеріал корду,
деформація гусениці,
розрахунок гусениць

Історія публікації:

Отримано 19.08.2022

Затверджено 15.09.2022

*Автор для листування:

a.v.shymko@nuwm.edu.ua

DOI: 10.36910/acm.vi48.828

Цитувати цю статтю:

Голотюк, М. В., & Шимко, А. В. (2022). Аналіз деформацій гумової гусениці з різним матеріалом корду. *Сільськогосподарські машини*, 48, 46-52.
<https://doi.org/10.36910/acm.vi48.828>

СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Гусеничні трактори характеризуються підвищеними швидкісними режимами, що зумовлює зростання динамічних навантажень, зокрема у рушіях. Зі збільшенням швидкості виникають додаткові навантаження ударного характеру. У результаті відбувається зростання сумарного навантаження на елементи рушія (гусеницю). Через зростання навантаження збільшуються напруження в елементах гусеничного рушія, що, відповідно, зумовлює зменшення їхньої довговічності. Як показує аналіз наукових досліджень з цього питання (*Каширський & Коростелев, 2006; Киричевський та ін., 2000; Липик & Адылин, 2015*), вченими пропонується використовувати гумо-металеві елементи для зменшення динамічних навантажень, втрат енергії та зростання коефіцієнту корисної дії рушія. Гумо-металеві гусениці використовуються у конструкціях рушіяних систем провідних виробників сільськогосподарської техніки, зокрема Claas, John Deere та інших (**рис. 1**). Запровадження гумо-металевих гусениць дозволяє зменшити шкідливий вплив ходової системи на ґрунт і підвищити тягову здатність.

Науковцями *Бейнсоном та ін. (2015)* доведено, що гумо-армовані гусениці мають високу зносостійкість, зокрема на вологих ґрунтах та в умовах абразивних середовищ. *Емельянов та ін. (2021)* також встановили перевагу гумо-армованих гусениць перед металевими. Дослідженнями доведено їхню підвищену надійність та збільшення надійності машини в цілому. Встановлено, що ресурс до граничного стану гумо-армованої гусениці порівняно з металевою є більшим у 4,5 рази. Зменшується й коефіцієнт нерівномірності розподілення тиску в ходовій системі у 1,72–2,02 рази. Науковці також зазначають, що гумо-армовані гусениці здатні забезпечити:

- підвищення прохідності на ґрунтах із низькою несучою здатністю;
- відсутність шкідливого впливу на дорожнє покриття, тобто збереження доріг;
- зменшення ущільнення ґрунтів;
- зменшення вібронанавтаження та шуму для операторів і робочого середовища;
- зниження трудомісткості обслуговування ходової системи.

Рябченко та ін. (2007), окрім підвищеної фізичної прохідності, виокремлює підвищену

екологічну прохідність цих гусениць, яка проявляється у зменшенні максимального тиску та ущільнюючої дії на ґрунт удвічі порівняно з металевою гусеницею.

Крім того, науковці зазначають, що гумо-армований рушій зменшує багаторазово шум і вібронанавтаження та зумовлює зростання строку служби агрегатів.

У випадку застосування гумо-армованих гусениць покращується ергономіка та умови роботи механізаторів, зокрема зменшується трудомісткість технічного обслуговування і ремонту ходової системи, а її ресурс зростає до 12 років. Таким чином, аналіз досліджень виявив перспективність застосування гумо-армованих гусениць для машин, зокрема сільськогосподарського призначення.



а



б

Рис. 1 – Гумо-металеві гусениці виробників:
а – Claas; б – John Deere

У результаті аналізу наукових джерел інформації встановлено, що навантаження гумо-армованих гусениць розраховуються без урахування особливостей їх конструкції. Жорсткість і міцність цих гусениць оцінюється

з урахуванням особливостей умов експлуатації або конфігурації виробу, але специфічні властивості матеріалу не враховуються (Липик та ін., 2017; Рябченко та ін., 2007).

Для виробів із гуми певні характеристики можна визначити за допомогою методик, що подаються у науково-технічній літературі. Для виготовлення гусениць використовується комбінований матеріал, складові якого (гума, метал) мають показники, що значним чином відрізняються за значенням, і, відповідно, у різний спосіб впливають на процеси взаємодії гусениці та середовища.

Навантаження, що діють на гусеницю, є складними й спричинені силами натягу, відцентровими силами і тяговим зусиллям. У перерізах гусениць виникають напруження розтягу та стиску, а у випадку наїзду на перепону – скручування. Для оцінювання навантажень необхідно знати закономірності поведінки матеріалу за умови прикладання навантажень. Зміна характеристик матеріалу та вплив на них схем армування – це питання, які недостатньо досліджені для гумо-армованих гусениць.

Властивості гумо-кордних конструкцій найчастіше аналізуються із урахуванням закономірностей, які відповідають закону Гука. Гумо-кордові гусениці у цьому випадку розглядаються як ізотропний матеріал. Інший підхід прослідковується в наукових працях, що присвячені вивченню композитних матеріалів (Левін та ін., 2005; Побердя, 1984; Шешенин та ін., 2007). Аналіз досліджень доводить, що для коректного розрахунку характеристик міцності гумо-армованої гусениці, як однієї конструкції, важливо враховувати особливості напружено-деформованого стану гусениці та закономірності прояву деформацій для її різних конструкцій.

Мета дослідження – дослідити деформації гумової гусениці сільськогосподарської машини та вплив на характер їх прояву матеріалу корду.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Проведені дослідження базувалися на результатах аналізу методів опису напружено-деформованого стану гуми та технічного корду, а також на основних положеннях опору матеріалів і теорії пружності композитних матеріалів.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Гумо-армована гусениця машини має шари металевих кордів, які покриті гумою та накладені один на другий під деяким кутом (рис. 2). Положення окремих елементів корду можна описати кутом їхнього нахилу до осі гусениці та питомою щільністю елементів:

$$\gamma = L/t, \quad (1)$$

де L – одиниця довжини пасу; t – крок розташування металевих дротів.



Рис. 2 – Елемент гумо-армованого пасу

Гума та метал – це матеріали, що входять до складу гусениці і мають модуль Юнга, який значним чином відрізняється та, відповідно, становить: для гуми – 10–45 кг/см²; для корду металевого – 10⁶ кг/см².

За умови долаття перешкод та взаємодії із роликками і валками ходової системи гусениця буде деформуватися та при цьому дещо зміниться конфігурація корду. Розглянемо перший можливий випадок (рис. 3).

Деформування відбувається вздовж сторін ромбів, що утворені металевим кордом. Припускаємо, що суттєвого видовження корду не буде через те, що він щільно залитий гумою, що не дає можливості вільно рухатися волокнам і видовжуватися. Крім того, це припущення обумовлене значно вищим модулем Юнга металевих кордів. Разом із тим, буде змінюватися конфігурація фігур (припускаємо, що це ромб), які формують окремі елементи корду. Також припускаємо, що в перерізі пасу проявляються лише деформації, які пов'язані зі зміною кутів нахилу сторін ромбів.

Внаслідок деформації змінилися довжина діагоналей ромбу (рис. 3), при цьому одна із

них відхилилася від початкового положення на кут γ . Із урахуванням зазначеного матимемо:

$$Oa_1 = 2l_p \cdot \sin(\alpha + \gamma), \quad (2)$$

$$vv_1 = 2l_p \cdot \cos(\alpha + \gamma), \quad (3)$$

$$Oa = 2l_p \cdot \sin\alpha, \quad (4)$$

$$cc_1 = 2l_p \cdot \cos\alpha, \quad (5)$$

де l_p – початкова довжина сторін ромба.

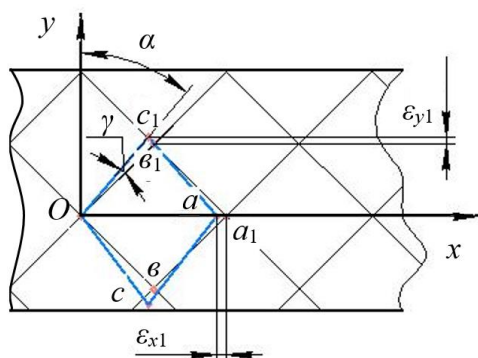


Рис. 3 – Схема деформації гусениці за умови, що дроти, що утворюють корд, не видовжуються

Визначимо величину відносної деформації із урахуванням виразів (2)–(5):

$$\Delta x = (Oa_1 - Oa) / Oa = \gamma \cdot \operatorname{ctg}\alpha, \quad (6)$$

$$\Delta y = (vv_1 - cc_1) / cc_1 = -\gamma \cdot \operatorname{tg}\alpha. \quad (7)$$

Встановимо зв'язок між Δx та Δy , для цього розділимо Δx на Δy , тоді матимемо:

$$\Delta x / \Delta y = -\operatorname{ctg}^2\alpha. \quad (8)$$

Із отриманих виразів випливає, що деформації пов'язані із величиною кута α корду. Оскільки модуль пружності металевого корду вищий за модуль пружності гуми, тоді припускаємо, що під час навантаження пасу шари корду, де елементи розташовані під деяким кутом, будуть сприймати менші навантаження, ніж гума. Це підтверджує й аналіз дефектів гумо-армованих гусениць у господарстві. Оскільки при огляді гусениць встановлено, що дефекти, які пов'язані із порушенням цілісності корду, спостерігаються у 23% зразків.

За умови використання текстильної нитки для виготовлення корду буде спостерігатися як зміна кута α , так й розтяг вздовж сторін ромбів, величина якого буде залежати, зокрема, й від способу його закріплення.

Розглянемо гумо-кордовий елемент, на якому позначимо (рис. 4): A – початкова конфігурація елемента (ромба), що утворений нитками корду; B – конфігурація елемента після навантаження. Величина відносної деформації сторін ромбу становить ε_L та ε_P . Відповідно, деформації вздовж осей x та y становитимуть:

$$\varepsilon_x = \varepsilon_{x1} + \Delta_{gx} = -\Delta \operatorname{arctg}\alpha + 0,5(\varepsilon_L + \varepsilon_P), \quad (9)$$

$$\varepsilon_y = \varepsilon_{y1} + \Delta_{gy} = \Delta \operatorname{arctg}\alpha + 0,5(\varepsilon_L + \varepsilon_P), \quad (10)$$

де Δ_{gx} , Δ_{gy} – деформації, які проявляються на діагоналях ромбів; ε_{x1} , ε_{y1} – компоненти деформацій, відповідно, по осях x та y ; ε_L , ε_P – деформації сторін ромба.

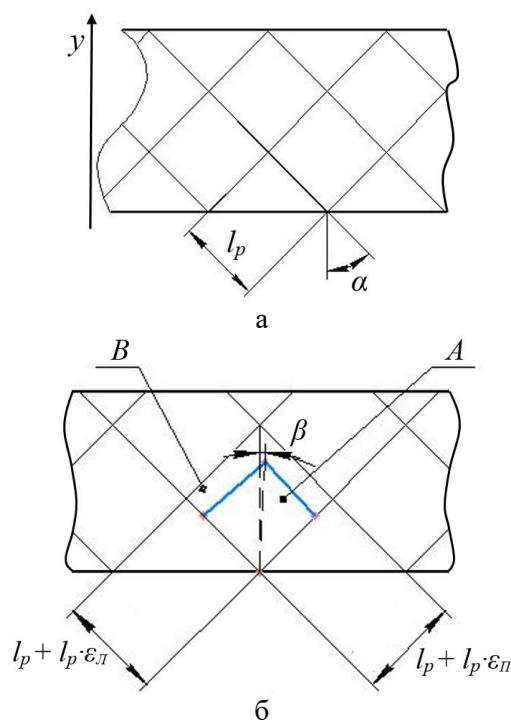


Рис. 4 – Схема гумо-кордового елемента до (а) та після (б) прикладання навантажень

Компоненти деформацій по осях x та y :

$$\varepsilon_{x1} = 0,5(\varepsilon_P - \varepsilon_L), \quad (11)$$

$$\varepsilon_{y1} = 0,5(\varepsilon_L - \varepsilon_P). \quad (12)$$

Оскільки має місце зміщення осі ромба відносно початкового положення (рис. 4), тоді кутова деформація:

$$\beta_{yx} = (\varepsilon_L - \varepsilon_P) / \sin 2\alpha. \quad (13)$$

За умови прикладання зовнішнього навантаження (наїзд ролика або ведучого чи веденого валків на пас) ділянки пасу деформуються, в результаті чого відбувається трансформація фігури (ромба). У цьому випадку довжина сторін збільшується та становить:

$$l_p' = l_p + l_p \varepsilon_L, \quad (14)$$

$$l_p'' = l_p + l_p \varepsilon_P. \quad (15)$$

Для виразів (14) і (15) значення деформацій ε_L та ε_P можна визначити із рівнянь (9) і (10) залежно від кута α .

За умови прикладання значних зусиль до текстильного корду, укладеного за аналогією до металевого, у волокнах може проявитися деформація поздовжнього стискання. Для аналізу цієї деформації припустимо, що модулі стискання корду і гуми є однаковими, а ступінь видовження є порівняно незначним. Ураховуючи припущення щодо рівності модулів стискання, скористаємося відомими результатами експериментальних досліджень структури гум (Бартенев & Никифоров, 1972), тоді отримуємо (рис. 5):

$$L = L_0 / (\lambda_{\text{гуми}})^{0,5}, \quad (16)$$

де L_0 , L – ширина елемента гусениці; $\lambda_{\text{гуми}}$ – кратність видовження гуми (встановлюється експериментально).

Із рис. 5 отримуємо:

$$L_0 = l_{0p} \cdot \sin \alpha_0, \quad (17)$$

$$a_0 = l_{0p} \cdot \cos \alpha_0, \quad (18)$$

де l_{0p} – довжина нитки корду до деформації.

Після деформації значення a визначається із урахуванням досліджень (Бартенев & Никифоров, 1972):

$$a = a_0 \cdot \lambda_{\text{гуми}}. \quad (19)$$

Із рис. 5 отримуємо довжину нитки корду після деформації:

$$l_p^2 = L^2 + a^2. \quad (20)$$

Із урахуванням одержаних рівнянь визначимо відносну деформацію нитки:

$$\frac{l_p - l_{0p}}{l_p} = \frac{\lambda_{\text{гуми}} \sqrt{\lambda_{\text{гуми}} \text{ctg} \alpha_0}}{1 + \lambda_{\text{гуми}} \sqrt{\lambda_{\text{гуми}} \text{ctg} \alpha_0}}. \quad (21)$$

Рівняння (21) пов'язує величину відносної деформації нитки з параметрами елемента гумової гусениці.

ВИСНОВКИ

У статті проведено аналіз деформації корду гумового пасу для випадків корду з металу та волокна. Ураховуючи одержані залежності встановлено, що деформація залежить від виду матеріалу корду та кута вкладання ниток корду. Результати аналізу механізму деформації корду можуть бути використані під час проєктування ходових систем із гумовими гусеницями.

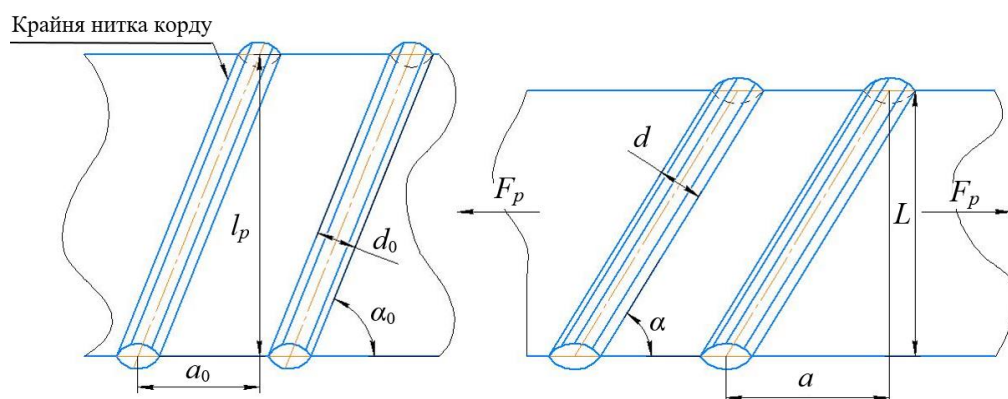


Рис. 5 – Схеми деформації ниток корду

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

- Бартенев, Г. М., & Никифоров, В. П. (1972). *Механика полимеров (Polymer mechanics)*, № 2.
- Бейнсенсон, В. Д., Федоткин, Р. С., Крючков, В. А., Аландеев, Е. М., & Купрюнин, Д. Г. (2015). Пути повышения срока службы резиноармированных гусениц (*Ways to increase the service life of rubber-reinforced tracks*). *Каучук и резина*, 6, 28-31.
- Емельянов, А. М., Канделя, И. В., Липкань, А. В., & Рябченко, В. Н. (2001). Разработка движителя с резиноармированными гусеницами (*Development of propulsion unit with rubber-reinforced caterpillars*). *Техника в сельском хозяйстве*, 2, 14-16.
- Каширский, Д. Ю., & Коростелев, С. А. (2006). Определение механических характеристик резиновых элементов резинометаллических шарниров гусеничного движителя (*Determination of mechanical characteristics of rubber elements of rubber-metal joints of a caterpillar mover*). *Деп. в ВИНТИ 16.05.2006, № 663-В2006*. Барнаул.
- Киричевский, В. В., Киричевский, Р. В., & Мулик, В. А. (2000). Прогнозирование долговечности эластомерных конструкций на основе термодинамических критериев разрушения (*Life prediction of elastomeric designs based on thermodynamic failure criteria*). *Вестник Запорожского национального университета. Физико-математические науки*, 2, 82-89.
- Лапик, В. П., & Адылин, И. П. (2015). Исследование жесткости резиноармированной гусеничной ленты гусеничного движителя (*Study of the rigidity of the rubber-reinforced caterpillar track of the caterpillar mover*). *Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения*, 1(14), 87-93.
- Лапик, В. П., Кузнецов, А. Е., & Лапик, П. В. (2017). Исследование влияния конструктивных параметров гусеничного движителя с эластичными опорными устройствами на неравномерность распределения давления на почву (*Study of the influence of design parameters of a caterpillar mover with elastic support devices on the uneven distribution of pressure on the soil*). *Вестник МГАУ имени В. П. Горячкина*, 3(79), 7-12.
- Левин, В. А., Ильин, И. А., Кукушкин, А. В., Агапов, Н. А., & Яковлев, М. Я. (2005). Моделирование развития зоны предразрушения в телах из упругого или вязко-упругого материала с помощью пакета ABAQUS (*Modeling the development of pre-fracture zone in bodies made of elastic or viscous-elastic material using the ABAQUS*). В *Тезисы докладов VI Международной конф. «Современные проблемы математики, механики, информатики»*. Тула, Россия (С. 226-227).
- Победря, Б. Е. (1984). *Механика композиционных материалов (Composite mechanics)*. Москва: Издательство Московского университета.
- Рябченко, В. Н., Канделя, М. В., & Емельянов, А. М. (2007). Проблемы и перспективы совершенствования гусеничной ходовой системы уборочно-транспортных машин (*Problems and prospects for improving the caterpillar undercarriage system of harvesting and transport machines*). *Вестник ДальГАУ*, 4, 48-54.
- Шешенин, С. В., Демидович, П. Н., Чистяков, П. В., & Муравлев, А. В. (2007). Определение модулей резинокорда при плосконапряженном состоянии (*Determination of rubber cord modules in a plane stressed state*). *Вестник Московского университета. Математика, Механика*, 5, 49-53.