

## ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВЗАЄМОДІЇ КОНУСНОГО КОТКА ПРОСАПНОЇ СІВАЛКИ З ҐРУНТОМ

**Д.Ю. Артеменко**, кандидат технічних наук, доцент  
Кіровоградський національний технічний університет

*Наведено результати теоретичних досліджень процесу взаємодії конусного котка з ґрунтом та показано вплив його геометричної форми на якість прикочування насіння.*

**Ключові слова:** прикочуючий коток, геометрична форма, щільність ґрунту, якість прикочування.

**Постановка проблеми.** У процесі вирощування цукрових буряків швидкість сходів і їх рівномірність залежать не тільки від схожості насіння, а і від умов, утворених для них робочими органами сільськогосподарських машин [1,2]. Згідно з агротехнічними вимогами до посіву цукрових буряків висіане насіння повинно бути прикочене котком секції сівалки, а щільність ґрунту навколо нього повинна складати  $1,1-1,2 \text{ г/см}^3$ . Для можливості стрімкого проростання рослин безпосередньо над насіниною повинен знаходитися неуцільнений шар дрібно-грудкуватого ґрунту [3,4]. Тому вплив конструкції котка може здійснити значні зміни в умовах проростання насіння. Експериментальними дослідженнями [5] підтверджено наявність полів напружень і деформацій внутрішнього ґрунтового масиву під дією ґрунтообробних машин, тому можна стверджувати, що характер їх розподілення є основною характеристикою процесу прикочування насіння.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідження [6,7] закономірностей поведінки ґрунту при прикочуванні різними типами котків показали, що основними факторами, які впливають на вказаний процес, є конструктивні особливості робочого органу та фізико-механічні властивості ґрунту. Але на сьогоднішній день не створено прикочуючого котка, який би повною мірою задовольняв вимоги агротехніки до прикочування насіння цукрових буряків.

**Метою роботи** є розробка удосконаленої конструкції прикочуючого котка і теоретичне дослідження його взаємодії з ґрунтом.

**Результати досліджень.** В результаті проведеного аналізу роботи існуючих конструкцій прикочуючих котків [8,9] було встановлено, що найбільш придатною конструкцією для подальшого вдосконалення є конструкція прямого конусного котка. Поряд з перевагами такого котка існує істотний недолік такої конструкції – завдяки поверхням ободів, які мають конічний профіль і діють по центру рядка, коток утворює значний вертикальний тиск саме в зоні проростання насіння, ущільнюючи шар ґрунту над ним, тим самим перешкоджаючи його вільному проростанню.

Для усунення вказаного недоліку нами був розроблений теоретичний профіль вдосконаленого котка. Запропонована конструкція (рис.1) виконана із гуми у вигляді конічної поверхні із плавним переходом в нижній частині, в поперечному перерізі коток має робочий профіль, товщина стінок якого рівномірно зменшується від основи до вершини і при вершині досягає половини його товщини. Завдяки такій конструкції профіль ободів котка є гнучким.

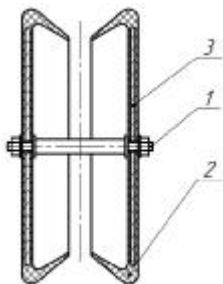


Рис.1. Конструкція вдосконаленого конусного котка: 1 – вісь; 2 – гнучкий гумовий обід; 3 – металевий диск.

Для математичного описання процесу взаємодії прикочуючого котка з ґрунтом та отримання картин розподілення полів напружень можна використати методи механіки суцільного середовища. Дослідження в механіці суцільних середовищ показують, що гіпотеза суцільності не приводить до великих відхилень від результатів експериментальних досліджень. Тому ґрунт можна вважати суцільним квазіоднорідним середовищем, поведінку якого під навантаженням визначає співвідношення напружень, деформацій та їх похідними за часом.

Взаємодію котка з ґрунтом можна уявити як процес контакту двох тіл, що мають різні модулі деформації. Подібна задача розглядається в теорії пружності [10]. В силу симетрії просторову задачу взаємодії котка з ґрунтом можна звести до розв'язання плоскої задачі, в якій форми контактуючих тіл

описуються функціями:  $y_1 = f_1(x)$  і  $y_2 = f_2(x)$ , причому

$$y = y_1 + y_2 = f_1(x) + f_2(x). \quad (1)$$

На ділянках дотику  $y = 0$ :

$$f_1(x) + f_2(x) = 0. \quad (2)$$

У результаті стиску тіла набувають деякого переміщення вздовж  $OY$ :  $\alpha_1$  і  $\alpha_2$ . Тоді  $\Delta = \alpha_1 + \alpha_2$  є зближенням між стиснутими тілами.

Крім зазначених переміщень спостерігаються і пружні переміщення  $U_1$  і  $U_2$  вздовж осі  $OX$ . Остаточне повне пружне переміщення вздовж осі  $OY$  дорівнює:

$$\vartheta_1 + \vartheta_2 = \Delta - f_1(x - U_1) - f_2(x - U_2). \quad (3)$$

У випадку малих переміщень вздовж осі  $OX$  маємо:

$$f_1(x - U_1) \approx f_1(x) \quad ; \quad f_2(x + U_1) \approx f_2(x),$$

звідки:

$$\vartheta_1 + \vartheta_2 = \Delta - f_1(x) - f_2(x). \quad (4)$$

Не враховуючи сили тертя, розглядаємо ґрунт як лінійно-деформоване середовище, до границі якого прикладено нормальний тиск  $p(t)$ . Для цього використовуємо відому в теорії пружності задачу Фламена (рис. 2).

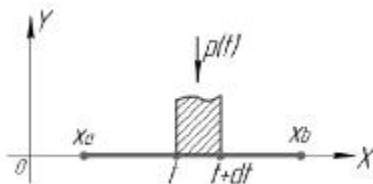


Рис.2. Схема задачі про дію нормальної сили на границю пружної напівплощини.

Виділимо на ділянці контакту елементарний відрізок від точки  $x = t$  до  $x = t + dt$ , на якому діє сила  $p(t)dt$ . Під впливом

зосередженої сили  $P$  переміщення на границі ділянки контакту дорівнює:

$$\vartheta = -\theta p(t) \ln \frac{1}{|t-x|} + C, \quad (5)$$

де  $C = const$  - стала;

$|t-x|$  - відстань між точками осі  $OX$  з абсцисами  $x$  і  $t$ ;

$\theta$  - узагальнений показник пружності, який характеризує деформаційні властивості взаємодіючих матеріалів:

$$\theta = \frac{2}{\pi E_0} (1 - \mu^2), \quad (6)$$

де  $E_0$  - модуль деформації (має розмірність Н/м<sup>2</sup>);

$\mu$  - коефіцієнт Пуассона.

Сила  $p(t)dt$ , що прикладена до границі напівплощини в точці  $x=t$ , викликає в ній елементарне переміщення в напрямку дії сили:

$$d\vartheta = -\theta p(t) \ln \frac{1}{|t-x|} dt + C. \quad (7)$$

Переміщення  $\vartheta_1$  і  $\vartheta_2$  на ділянці контакту котка і ґрунту можна визначити за виразами:

$$\vartheta_1 = \theta_1 \int_L p(t) \ln \frac{1}{|t-x|} dt + C, \quad (8)$$

$$\vartheta_2 = -\theta_2 \int_L p(t) \ln \frac{1}{|t-x|} dt + C. \quad (9)$$

Враховуючи загальне зміщення та порівнюючи праві частини виразів (8), (9) і (4), отримуємо інтегральне рівняння для тиску  $p(x)$ , яке є основним при розв'язанні плоскої контактної задачі теорії пружності [10, стор. 96, ф. 12]:

$$(\theta_1 + \theta_2) \int_L p(t) \ln \frac{1}{|t-x|} dt = C - f_1(x) - f_2(x), \quad (10)$$

де  $\int_L p(t) \ln \frac{1}{|t-x|} dt = f(x)$  – функція, що залежить від форми

стискуючих тіл та їх деформаційних властивостей;

$L$  – зона контакту поверхні котка з ґрунтом.

З рівняння (10), маємо:

$$f(x) = \frac{C - f_1(x) - f_2(x)}{\theta_1 + \theta_2}. \quad (11)$$

У рівнянні (10) функція  $f(x)$  вважається заданою всередині інтервалу границі контакту взаємодії котка і ґрунту, і визначається із умови задачі. У нашому випадку профіль удосконаленого котка (рис. 3) описується рівнянням:

$$f(x) = \frac{y_b - y_a}{x_b - x_a} (x - x_a) = A(x - x_a), \quad (12)$$

де  $L \subset \{x \in [x_a - x_b]\}$  – область контакту (деякий відрізок осі  $OX$ );

$$A = \frac{y_b - y_a}{x_b - x_a}; \quad A < 0, \text{ бо за умовою } y_b < 0;$$

$x_a, x_b, y_a = 0, y_b$  – координати початкової та кінцевої точок прямолінійного профілю котка  $AB$ ;

$A(x_a, y_a); B(x_b, y_b)$  – точки, які визначають контур котка; вісь  $OX$  співпадає з поверхнею ґрунту;

$y_b$  – величина занурення профілю котка в точці  $B$ .

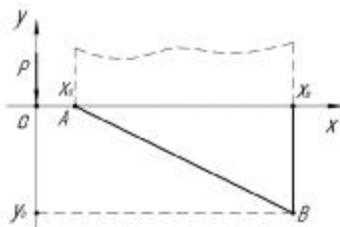


Рис.3. Схема досліджуваного профілю котка.

В області  $L$  функція  $f(x)$  диференційовна та неперервна, вона може мати скінчену кількість точок розриву на  $L$ :

$$f'(x) = \frac{y_b - y_a}{x_b - x_a} = A = \text{const}. \quad (13)$$

Основне рівняння плоскої контактної задачі теорії пружності має вигляд:

$$\int_L p(t) \ln \frac{1}{|t-x|} dt = f(x), \quad (14)$$

де  $f(x)$  – функція в області  $L$ ;

$p(t)$  – невідома функція, яку необхідно визначити в області  $L$ , так щоб задовольнялося рівняння (14).

Розв'язок рівняння (14) має вид [10, стор. 113, ф. 107]:

$$p(x) = -\frac{2A}{\pi^2} \ln \frac{x_b - \sqrt{x_b^2 - x^2}}{|x|}. \quad (15)$$

Після заміни  $A$  на  $A / (\theta_1 + \theta_2)$  отримаємо розв'язок при

$$f(x) = \frac{C - A|x|}{\theta_1 + \theta_2} \quad \text{та} \quad P = \frac{2Ax_b}{\pi(\theta_1 + \theta_2)} \quad \text{у вигляді:}$$

$$\text{для } x \in L \quad p(x) = -\frac{P}{\pi x_b} \ln \frac{x_b - \sqrt{x_b^2 - x^2}}{|x|}; \quad (16)$$

для  $x \in [0; x_a]$   $p(x) = 0$ .

По (16) за допомогою програми **Maple 13** будемо теоретичний графік розподілу напружень під котком експериментальної форми (рис. 4).

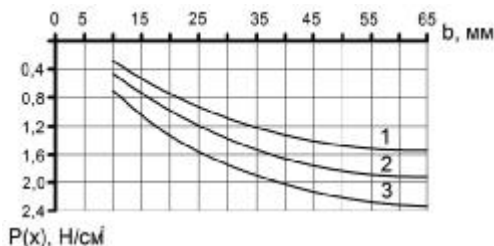


Рис.4. Загальний вигляд поля напружень під конусним котком експериментального профілю при  $\mu = 0,12$  та  $E_o = 1,2 \cdot 10^6$  Н/см<sup>2</sup>:

1, 2, 3 – відповідно навантаження на коток 150, 200, 250 Н.

З рис. 4 видно, що характер розподілення полів напружень під вдосконаленим конусним котком відповідає вимогам

агротехніки і може забезпечити прикочування насіння з обох боків від борозни, залишаючи над насінням неуцільнений шар дрібногрудкуватого ґрунту. Але для визначення раціональних значень конструктивних параметрів удосконаленого котка потрібні додаткові експериментальні дослідження за методикою планування експериментів.

**Висновки.** На основі проведених досліджень встановлено: модуль деформації і коефіцієнт бокового розширення ґрунту є його основними характеристиками, які служать для вибору технологічних і конструктивних параметрів прикочуючого котка; отримано теоретичний характер розподілення полів напружень ґрунту в залежності від конструктивних особливостей котка і його фізико-механічних властивостей; обґрунтовано геометричну форму конусного котка просапної сівалки для ущільнення ґрунту згідно з агротехнічними вимогами.

Література:

1. Гончарук Г. С. Якісна сімба цукрових буряків – запорука високого врожаю / Г. С. Гончарук // Цукрові буряки. — 2001. — № 2. — С. 8—9.
2. Ковтун Ю. И. Почвенные условия всхожести семян / Ю. И. Ковтун // Сахарная свекла. — 1972. — № 3. — С. 19—22.
3. Глуховский В. С. Разработка научных основ технологии выращивания сахарной свеклы без затрат ручного труда на формировании густоты насаждения : автореф. дис...д-ра сельхоз. наук : 06.01.14, 05.20.01 / ВНИС / В. С. Глуховский. — К., 1982. — 42 с.
4. Валовиков А. П. Исследование технологии заделки обычных и шлифованных семян сахарной свеклы при посеве : автореф. дис...канд. сельхоз. наук : 05.538 / ВНИС / А. П. Валовиков. — К., 1971. — 19 с.
5. Деграф Г. А. Некоторые результаты исследований напряжений в почве / Г. А. Деграф // Вестник сельскохозяйственной науки. — Алма-Ата, 1966. — № 10. — С. 87—89.
6. Кушнарв А. С. Механико-технологические основы обработки почвы / А. С. Кушнарв, В. И. Кочев. — К. : Урожай, 1989. — 144 с.
7. Рожков П. Н. Обоснование поперечной формы гладких сельскохозяйственных катков / П. Н. Рожков, А. В. Бауков, А. С. Кушнарв // Конструирование и технология производства сельскохозяйственных машин. — К., 1973. — Вып. 3. — С. 18—22.
8. Чубарин М. И. Рассадопосадочные машины / Чубарин М. И. — М. : Машиностроение, 1972. — 208 с.
9. Артеменко Д. Ю. Аналіз процесу роботи прикочуючих котків посівної секції просапної сівалки / Д. Ю. Артеменко // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. — 2006. — Випуск 36. — С. 115—120.
10. Штаерман И. Я. Контактная задача теории упругости / Штаерман И. Я. Гостехиздат. — М. : 1949. — 162 с.