

ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 631.331

DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2023.53.3-15>

Д.Ю. Артеменко, доц., канд. техн. наук, В.А. Онопа, доц., канд. техн. наук,

О.А. Кислун, доц., канд. техн. наук, К.А. Муленко, магістр

*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна**e-mail: artemenkodyu@kntu.kr.ua*

Теоретичне обґрунтування конструктивних особливостей котка для передпосівного обробітку ґрунту

В статті наведені результати пошукових теоретичних досліджень конструктивних особливостей котка для передпосівного обробітку ґрунту. Аналіз існуючих конструкцій сучасних прикочуючих котків для передпосівного обробітку ґрунту і технологічного процесу, який вони виконують, показав, що на сьогоднішній день номенклатура конструкцій зростає, універсальність падає, під кожен тип робіт потрібен свій коток, суцільне формування ущільненого дна посівного ложа сучасними котками в повній мірі не виконується. Встановлено, що більш раціональним буде технологічний процес коли прикочування відбувається не лише у верхніх шарах ґрунту, а і у нижніх. З цією метою був запропонований комбінований прикочуючий коток з робочими елементами кулачкового типу. Розроблена математична модель взаємодії прикочуючого котка і його елементів з ґрунтом. Запропонована математична модель процесу роботи удосконаленого котка дозволяє встановити характер розподілення питомого тиску в залежності від конструктивних параметрів елементів котка і фізико-механічних властивостей ґрунту. Ефективність запропонованої конструкції прикочуючого котка забезпечується тим, що за рахунок конструкції робочої поверхні та кулачків можна забезпечити рівномірне ущільнення ґрунту по ширині захвату котка і на потрібну глибину та зменшення кількості проходів котка для забезпечення необхідної рівномірності ущільнення.

сприятливі умови проростання, конструкція прикочуючого котка, ущільнення ґрунту, комбінований прикочуючий коток

Постановка проблеми. Передпосівний обробіток ґрунту є ключовою технологічною операцією для забезпечення необхідних умов для проростання висіяного насіння, а якість його виконання напряму впливає на отримання високих та сталих врожаїв [1]. В Україні з цією метою використовуються дискові або лапові ґрунтообробні агрегати, до складу яких входять прикочуючі котки. Котки можуть використовуватись як окремий робочий орган та виконувати такі технологічні операції як: вирівнювання поверхні поля, руйнування брил і подрібнення грудок, розпушення і підповерхневе ущільнення ґрунту, руйнування поверхневої кірки [2]. По кількості операцій прикочуючий коток можна розглядати як один із головних засобів для забезпечення якісної підготовки поля під посів. Тому процес прикочування необхідно розглядати як комплекс операцій, а його конструкцію – як комбінацію останніх.

Технологічний процес прикочування сприяє оптимальному розміщенню насіння на задану глибину, покращує контакт між насінням і ґрунтом, сприяє швидкому набухання та проростання насіння. Головною метою прикочування є збереження вологості в ґрунті, особливо в посушливих умовах, шляхом зменшення фізичного випаровування. Створений прикочуванням ущільнений шар можна розглядати як фільтр, який знижує витік пароподібної вологи, особливо коли вода в ґрунті обмежена.

Вплив котка на ґрунт залежить від його щільності, вологості, механічного та структурного складу. Ефективність ущільнення котка залежить від його маси, діаметра та ширини захвату. Котки поділяють на легкі, середні та важкі залежно від питомого тиску на поверхню ґрунту. Питомий тиск варіюється від 0,2 до понад 1 кг/см² [3].

За формою поверхні котки розрізняють на гладкі, кільчасті, рубчасті, кільчасто-шпорові, голчасті та інші. Котки з кільчастими або кільчасто-шпоровими поверхнями добре підходять для одночасного ущільнення та розпушування поверхневого шару ґрунту. Прикочування застосовується під час посіву різних культур, а також після посіву, для зменшення пористості ґрунту та збереження вологості після робіт, таких як оранка, культивування та розпушування. Даний метод є особливо ефективним в умовах посухи [4].

Поряд з ефективністю використання прикочування при передпосівній обробці ґрунту постає проблема у низькій універсальності конструкцій вже існуючих котків. Так, широкого використання в Україні мають котки вітчизняного виробництва кільчасто-шпорові, кільчасто-зубчасті, борончасті котки ЗККШ-6, ККН-2,8, КБН-3, перелік видів конструкцій котків закордонного виробництва нараховує більше десяти найменувань [5-9]. Така велика кількість конструкцій і асортимент вимагає від фермерських господарств значних фінансових витрат і проведення додаткових робіт по визначенню раціональності використання їх для вирощування культур, якими займається господарство. Тому необхідні подальші дослідження над удосконаленням конструкції котка для передпосівного обробітку ґрунту, який зміг би покривати більшість технологічних операцій, які виконуються при прикочуванні.

Аналіз основних досліджень і публікацій. З метою визначення перспективного напрямку по удосконаленню конструкції прикочуючого котка для передпосівного обробітку ґрунту необхідно провести аналіз вже існуючих конструкцій котків, які використовуються в Україні.

Так, відомий виробник сільськогосподарської техніки фірма Kuhn [5], пропонує коток для передпосівного обробітку ґрунту в складі дискового ґрунтообробного агрегату для одночасного прикочування і формування насінневого ложа. Коток має циліндричну поверхню з розміщеними на ній плоскими радіальними робочими елементами (рис. 1), які призначені для формування ущільненого шару ґрунту на глибині посіву і може використовуватись як окремий робочий орган.



Рисунок 1 – Коток 4400 in Action

Джерело: розроблено авторами з використанням [5]

Але основним недоліком такої конструкції є плоский профіль робочого елемента, який формує ущільнений шар ґрунту у вигляді полоси, що зменшує ймовірність потрапляння насіння саме в зону підготовленого насінневого ложа.

Фірма Amazone [6] комплектує свої ґрунтообробні агрегати наступними конструкціями котків (рис. 2): трапецієвидний кільчастий TRW, зубчастий коток PW, гумовий-клиновий коток KW, гумовий-клиновий коток KWM з шинами Matrix, трубчастий коток SW. На рис. 2 виробник наводить результат роботи перелічених конструкцій котків, аналізуючи його, можна визначити переваги і недоліки таких робочих органів.

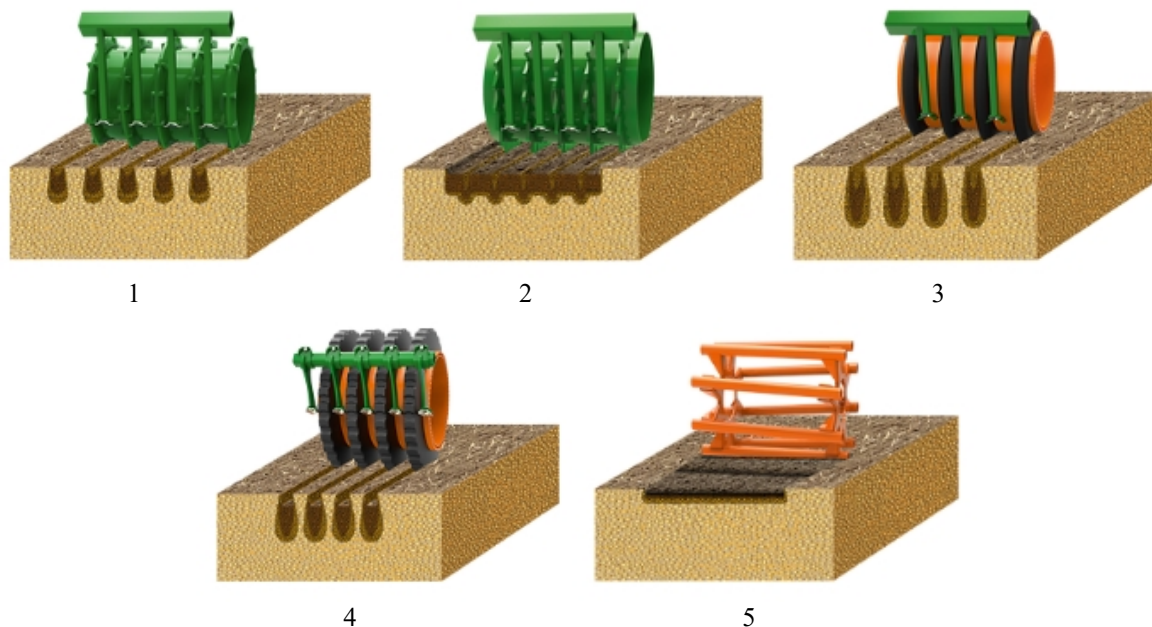


Рисунок 2 – Конструкції котків які виготовляє фірма Amazone:
1 – TRW; 2 – PW; 3 – KW; 4 – KWM; 5 - SW

Джерело: розроблено авторами з використанням [6]

До переваг можна віднести:

- коток TRW забезпечує смугове зворотне ущільнення за рахунок трапецієподібних кілець, висока несуча здатність дозволяє запобігти занадто глибокому зануренню на легких ґрунтах, зворотне ущільнення по всій контактуючій поверхні;

- коток PW з власним приводом проводить зворотне полосове ущільнення по всій поверхні ґрунту, за рахунок зубів відбувається подрібнення великих грудок;

- гумово-клиновий коток KW забезпечує смугове зворотне ущільнення майже на всіх типах ґрунтів за будь-яких умов, злипання, забивання, замулювання виключені, формує посівну борозну для полегшення ходу сошників;

- коток KWM з шинами Matrix відрізняється потужним власним приводом, а за рахунок профілю Matrix коток може формувати більше подрібненого ґрунту для насінневого ложа, полосове зворотне ущільнення та формування насінневого ложа, добре підходить для вологого і сухого ґрунту;

- трубчастий коток SW являє собою коток початкового рівня з особливо низькою масою, зворотне ущільнення проводиться паралельно до напрямку руху з оптимальним кришенням і відкритою структурою поверхні ґрунту.

Поряд із перевагами котків Amazone можна визначити головний недолік в роботі наведених конструкцій котків – посівне ложе готується по полосі, в якій іде робочий елемент котка, це доцільно при використанні систем точного землеробства, але такі системи в Україні доступні не всім, тому більш раціональним було б

формування суцільного насінневого ложа по всій ширині захвату робочої поверхні котка.

Фірма Horsch [7] комплектує свої ґрунтообробні агрегати Cruiser великим різноманіттям котків (рис. 3). Horsch пропонує для поверхневого і глибинного зворотного ущільнення відповідні рішення. Вибір котка обумовлений, перш за все, типом ґрунту, для цього в Horsch у кожному випадку є своє рішення. Зворотне ущільнення, необхідне усунення повітряних порожнин, подрібнення великих грудок і відтворення оптимального балансу водних і повітряних пор у ґрунті. Для більшої гнучкості у застосуванні для машини Cruiser XL був сконструйований новий коток SteelFlex (рис. 3, 5) та комбінація котків SteelDisc та RingFlex (рис. 3, 4,2). Таке системне рішення передбачає використання першого котка SteelDisc для глибинного ущільнення зі створенням умов для відновлення водних капілярів, а коток RingFlex служить для створення насінневого ложа з дрібногрудкуватою структурою ґрунту. Також для інших видів робіт пропонуються котки OptiRoll, OptiCover, RingFlex, подвійний RingFlex, SteelDisc, SteelFlex, для підготовки зябу, прутковий коток та подвійний RollPack (рис. 3).

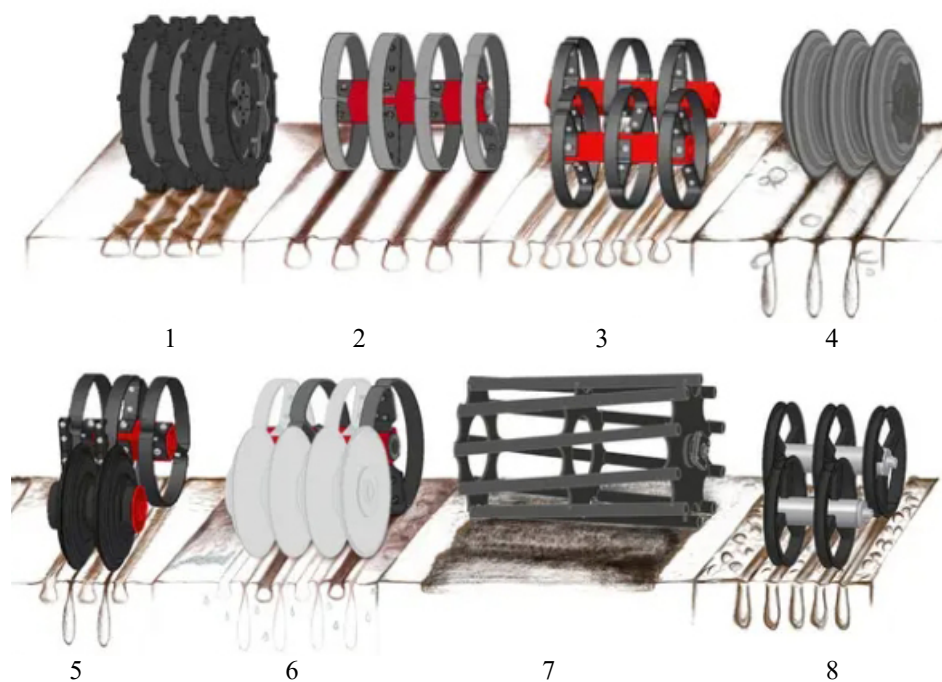


Рисунок 3 – Конструкції котків які виготовляє фірма Horsch:

1 – OptiRoll; 2 – RingFlex; 3 – Doppel RingFlex; 4 – SteelDisc; 5 - SteelFlex; 6 – SteelFlex als Winterpacker;
7 – Stabwalze; 8 – Doppel RollPack

Джерело: розроблено авторами з використанням [7]

Проводячи аналіз роботи котків Horsch [7], можна відмітити схожість конструкцій із конструкціями фірми Amazone [6], а також фірми Vednar [8], що говорить про те, що котки сучасних іноземних компаній направлені в основному на системи точного землеробства і не забезпечують формування суцільного по ширині захвату насінневого ложа та верхнього менш ущільненого шару ґрунту. Хоча котки фірми Farnet [9] і мають суцільний характер дії на ґрунт, вони не використовуються як окремий робочий орган, а лише у складі передпосівного агрегату і покликані в основному більше виконувати операцію подрібнення ніж ущільнення.

Не суцільний характер дії іноземних конструкцій котків в своїх дослідженнях підтверджує Шустік Л. [10], в роботі наголошується, що використання шпорового котка у передпосівному обробітку забезпечує порівняно із котком швелерного типу, кращу якість обробки і фінішну дію на ґрунт в комплексі з лаповими робочими органами, створюючи в посівному шарі оптимальні показники щільності ґрунту та збереження і підтягування вологи. Також робиться висновок, що швелерний коток раціонально застосовувати на операціях лущення, поверхневого і напівпарового обробітків ґрунту.

Іванюта М.В. [11], проводячи числове дослідження гладких котків, відмічає, що найбільше на характер ущільнення ґрунту на глибину до 10 см впливає діаметр котка, аналітично ним був встановлений оптимальний діаметр прикочуючого котка в межах 400–500 мм. В роботі робиться висновок, що збільшення діаметра котка не приносить якісних переваг процесу ущільнення ґрунту, а гладкий циліндричний коток при визначених діаметрах і навантаженні на ґрунт 550–750 Н може забезпечити якість ущільнення згідно агровимог. Нажаль, в дослідженні не показано, як розподіляються зони ущільнення при роботі циліндричного котка по ширині захвату.

В роботі [12], в результаті проведених експериментальних досліджень були визначені зони деформацій і ущільнення від дії прикочуючих котків просапних сівалок та зроблений висновок, що основною характеристикою котка поряд із діаметром і навантаженням на коток є геометрична форма його робочої поверхні.

Проведені динамічні дослідження по порівнянню роботи кольчато-шпорових і зубчато-шпорових котків [13], показали, що котки такого типу не можна вважати універсальними і застосовувати на всіх операціях ґрунтообробки, а обмежено при передпосівному обробітку ґрунту, в основному, на операціях подрібнення і покращання агрегатного складу поверхні поля. При підвищенні вологості, котки таких типів схильні до залипання, але в деяких конструктивних версіях можуть бути задіяні на певних операціях.

Степченко С. в [14], відмічає, що процес прикочування ґрунту як передпосівного, так і післяпосівного, є дуже відповідальною операцією в рослинництві. В роботі наводиться огляд конструкцій котків, як вітчизняного, так і закордонного виробництва та робиться висновок, що номенклатура котків росте, а виробники приділяють цьому робочому органу все більше уваги.

Рожков П.М. в своїх дослідженнях [15] особливу увагу приділяє якості прикочування. Автором вивчені закономірності деформації ґрунту котками, розроблена схема взаємодії котків з ґрунтом, отримані рівняння, що дозволяють визначити величину і характер розподілення полів напружень в зоні контакту котків з ґрунтом в залежності від їх конструктивних параметрів і деформаційних властивостей ґрунту, визначена раціональна форма котка для рівномірного його ущільнення. Також було встановлено, що для підвищення якості прикочування поперечний профіль котка повинен мати прямолінійну ділянку з криволінійними краями, а також використання котків з криволінійним профілем дозволяє підвищити врожайність сільськогосподарських культур.

Проведений аналіз конструкцій котків, а також досліджень їх роботи показав, що виробники сільськогосподарської техніки розширюють їх номенклатуру під окремі процеси сільськогосподарських задач. Перевага надається конструкціям котків, які працюють по окремому сліду, і на використання при технологіях точного землеробства під конкретні типи ґрунтів. Роботи над виробництвом технологічно досконалих універсальних робочих органів практично не ведуться, тому необхідно приділяти увагу для задоволення попиту не тільки великих агрохолдингів, які в змозі забезпечити в себе

повну номенклатуру котків під різноманітні потреби, а і невеликих господарствах, націлених на виробництво невеликої кількості культур. Тому існує потреба в розробці удосконаленої конструкції прикочуючого котка, який би мав невелику вартість і міг використовувати переваги вже існуючих конструкцій.

Для можливості подальшого удосконалення конструкції прикочуючого котка, необхідно мати уяву, що формує його робочі характеристики. Теоретичними і експериментальними дослідженнями [15-18] підтверджено наявність полів напружень і деформацій внутрішнього ґрунтового масиву під дією ґрунтообробних машин, на основі чого можна стверджувати, що характер їх розподілення є основною характеристикою процесу прикочування. Тому, формуючи необхідну конструкцію робочої поверхні котка, можна значно впливати на якість виконання технологічного процесу, а саме – забезпечити рівномірне ущільнення ґрунту по ширині і глибині захвату котка.

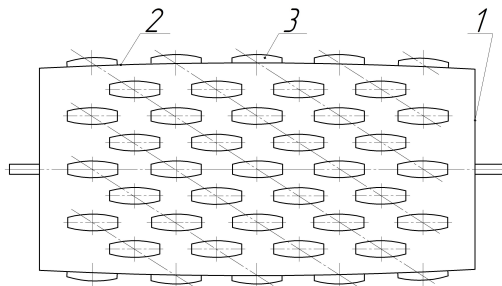
Постановка завдання. Мета роботи: покращення рівномірності ущільнення ґрунту по ширині захвату котка на задану глибину шляхом обґрунтування конструкції його робочої поверхні.

Для досягнення мети нами вирішувались наступні задачі:

1. провести аналіз сучасних конструкцій котків з метою визначення їх переваг і недоліків при виконанні технологічного процесу;
2. на основі визначених недоліків в роботі розробити удосконалену конструкцію прикочуючого котка;
3. розробити математичну модель процесу роботи удосконаленого прикочуючого котка та встановити в загальному вигляді характер розподілення питомого тиску під його робочою поверхнею.

Викладення основного матеріалу. Проведений аналіз роботи сучасних конструкцій прикочуючих котків показав, що на якість виконання технологічного процесу в значній мірі впливає, як конструкція самого котка, так і геометрична форма його робочої поверхні. Основними недоліками існуючих робочих органів є нерівномірне розподілення щільності по ширині захвату котка та дія їх робочих елементів лише на верхній шар ґрунту.

Для усунення вказаних недоліків нами запропонований коток з робочими елементами у вигляді кулачків [19], який виконаний дворівневим (рис. 4), перший рівень (обід котка) призначений для рівномірного ущільнення верхнього шару ґрунту, другий рівень утворений кулачками для рівномірного ущільнення нижнього шару ґрунту. Запропонований прикочуючий коток включає боковини 1 на яких розміщена робоча опукло-криволінійна поверхня 2, а на ній по гвинтовій кривій з перекриттям розміщені кулачки, які мають криволінійну поверхню 3 (надалі вважаємо, що поверхня як котка так і кулачка в перерізі має еліптичний профіль).



1 – боковини, 2 – робоча поверхня, 3 – кулачки

Рисунок 4 – Конструкція котка з робочими елементами у вигляді кулачків

Джерело: розроблено авторами

Робочий процес із запропонованим прикочуючим котком з робочими елементами кулачкового типу відбувається таким чином: в процесі роботи робоча поверхня 2 рівномірно ущільнює верхній шар ґрунту, а розміщені на ній по гвинтовій кривій кулачки 3 рівномірно ущільнюють нижній шар ґрунту, тим самим забезпечуючи рівномірну щільність по всій ширині захвату котка на максимальну глибину.

Основним критерієм, згідно якого можна визначити чи відповідає запропонована конструкція вимогам до формування рівномірної щільності в процесі роботи котка, є характер розподілення питомого навантаження по ширині і глибині його захвату.

Для створення математичної моделі процесу взаємодії прикочуючого котка з робочими елементами кулачкового типу і ґрунту та отримання картини розподілу питомого тиску під ним, можна використовувати методи механіки суцільного середовища [15, 16, 20]. Дослідження в напрямку механіки суцільних середовищ показують, що гіпотеза про суцільність має невелике відхилення від результатів експериментальних досліджень. Тому можна розглядати ґрунт як суцільне квазіоднорідне середовище, поведінку якого під навантаженням визначає співвідношення між напруженнями, деформаціями та їх похідними по часу [15, 16].

Взаємодію розробленого прикочуючого котка з робочими елементами кулачкового типу і ґрунту можна уявити як процес контакту двох тіл з різними модулями деформації. Подібну задачу загалом розглядають у теорії пружності [20]. З урахуванням симетрії, просторову задачу взаємодії котка з ґрунтом можна звести до розв'язання плоскої задачі, де форми взаємодіючих тіл описуються функціями: $y_1 = f_1(x)$ і $y_2 = f_2(x)$, де

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

На ділянках дотику $y = 0$:

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

Під дією стиску тіла набувають переміщення вздовж OY : α_1 і α_2 . Тоді $\Delta = \alpha_1 + \alpha_2$ є зближенням між взаємодіючими тілами.

Поряд із зазначеними переміщеннями спостерігаються і пружні переміщення U_1 і U_2 вздовж осі OX . Тоді повне пружне переміщення вздовж осі OY :

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

Коли відбуваються малі переміщення вздовж осі OX то:

$$f_1(x - U_1) \approx f_1(x) \text{ і } f_2(x + U_1) \approx f_2(x),$$

тоді:

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

Без врахування сил тертя, розглянемо ґрунт як лінійно-деформоване середовище, на границю якого прикладений нормальний тиск $p(t)$. З цією метою можна використати відому в теорії пружності задачу Фламена (рис. 5).

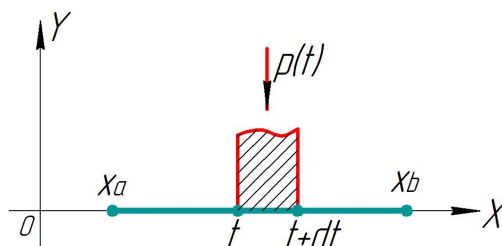


Рисунок 5 – Схема дії нормальної сили на ґрунт через ділянку деформатора
Джерело: розроблено авторами з використанням [20]

Оберемо на ділянці контакту відрізок від точки $x = t$ до $x = t + dt$, на який діє сила $p(t)dt$. Переміщення на границі ділянки контакту від зосередженої сили P дорівнює:

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

де θ – показник пружності, що характеризує деформаційні властивості взаємодіючих матеріалів:

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

$C = const$ – стала;

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

де E_0 – модуль деформації (H/m^2);

μ – коефіцієнт Пуассона.

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

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

На ділянці контакту котка з ґрунтом можна визначити переміщення \mathcal{G}_1 і \mathcal{G}_2 :

$$\mathcal{G}_1 = \theta_1 \int_L p(t) \ln \frac{1}{|t-x|} dt + C, \quad (8)$$

$$\mathcal{G}_2 = -\theta_2 \int_L p(t) \ln \frac{1}{|t-x|} dt + C. \quad (9)$$

Порівнюючи праві частини виразів (8), (9) і (4) та враховуючи загальне зміщення, отримуємо інтегральне рівняння для тиску $p(x)$, яке є основним при розв'язанні плоскої контактної задачі теорії пружності [20]:

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

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

L – зона контакту котка з ґрунтом.

З рівняння (10), маємо:

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

Функція $f(x)$ в рівнянні (10) визначається із умови задачі і вважається заданою всередині інтервалу границі контакту котка з ґрунтом.

Оскільки прийнята для дослідження поверхня прикочуючого котка та його робочих елементів у вигляді кулачків має опукло-криволінійну форму то в поперечному перерізі отримаємо профіль у вигляді частини еліпса. Тоді задачу можна звести до визначення дії деформатора еліптичної форми на ґрунтове середовище (рис. 6).

В нашому випадку профіль прикочуючого котка та його робочих елементів кулачків (рис. 6) описується рівнянням:

$$f(x) = a_e - \frac{a_e}{b_e} \sqrt{b_e^2 - x^2}, \quad (12)$$

де b_e – велика піввісь еліпса;

a_e – мала піввісь еліпса;

x – поточна координата.

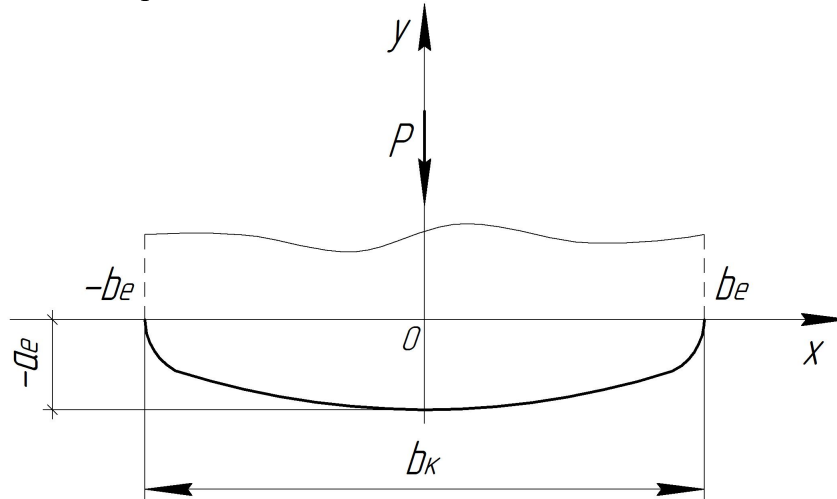


Рисунок 6 – Схема дії деформатора еліптичної форми на ґрунтове середовище
Джерело: розроблено авторами

Для даного випадку рішення основного рівняння контактної задачі теорії пружності дає можливість отримати закон розподілення тиску під робочою поверхнею котка:

$$p(x) = \frac{C}{\pi b_k^2 (\theta_1 + \theta_2)} \sqrt{b_e^2 - x^2}, \quad (13)$$

де $b_k = 2b_e$ – довжина зони контакту котка з ґрунтом;

θ_1 – деформаційна стала матеріалу котка;

θ_2 – деформаційна стала ґрунту.

Оскільки дійсні розміри деформатора невідомі то подальший аналіз проводимо у відносних одиницях, які залежать від матеріалу поверхні котка та фізико-механічних властивостей ґрунту.

Приводимо (13) до вигляду:

$$p(z) = K \sqrt{1 - z^2}, \quad (14)$$

де $K = \frac{C}{\pi b_k^2 (\theta_1 + \theta_2)}$ – постійний коефіцієнт;

$$z = \frac{x}{b_e}.$$

На основі (14) можна отримати графічну залежність функції у відносних одиницях (рис. 7).

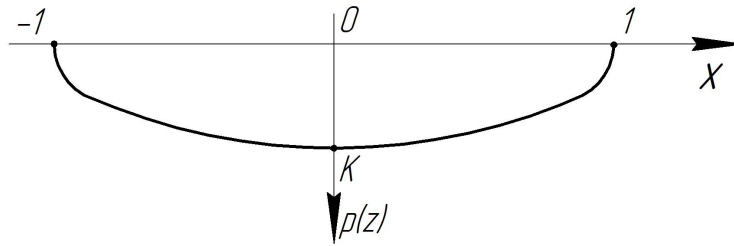


Рисунок 7 – Загальний вигляд розподілення питомого тиску в зоні контакту

Джерело: розроблено авторами

З рис. 7 видно, що характер розподілення питомого тиску в значній мірі відповідає конструктивним особливостям деформатора. В результаті чого можна стверджувати, що геометричні параметри деформатора є основною передумовою яка впливає на кінцевий результат – формування необхідної щільності ґрунту на всій ділянці контакту.

Розглянута математична модель дає можливість при проектуванні удосконаленої конструкції прикочуючого котка кулачкового типу врахувати не тільки властивості матеріалу його робочої поверхні, а і лінійні розміри. Також можна стверджувати, що коефіцієнт K , в склад якого входять деформаційні властивості взаємодіючих матеріалів θ_1 і θ_2 та лінійні розміри деформатора (елементи еліптичної поверхні b_e і a_e), напряду впливає на величину питомого тиску $p(x)$.

В загальному випадку, за умови розміщення удосконалених кулачків на поверхні котка з перекриттям, можна стверджувати, що характер розподілення питомого тиску по ширині захвату ґрунтового котка буде мати вигляд рис. 8.

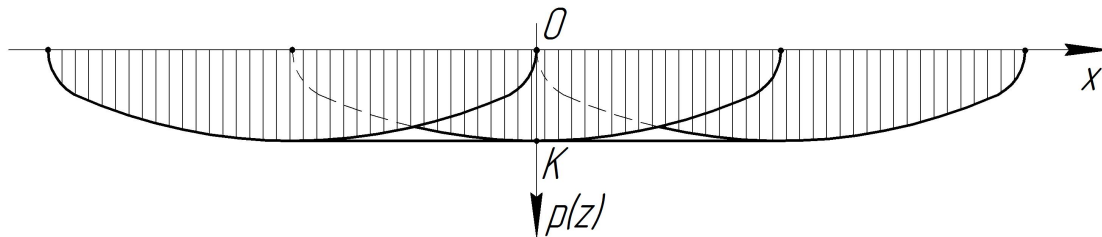


Рисунок 8 – Схема розподілу питомого тиску після проходу кулачкової частини котка

Джерело: розроблено авторами

Якщо брати до уваги, що поверхня самого котка утворена також еліптичною кривою, яка має значно більші розміри, ніж для кулачка, то можна стверджувати, що характер розподілення питомого тиску в зоні контакту буде аналогічним результатам, отриманим вище.

В результаті проведених досліджень було з'ясовано, що характер розподілення напружень під запропонованим прикочуючим котком з робочими елементами кулачкового типу відповідає агровимогам щодо ущільнення ґрунту під більшість зернових культур та має суцільний по ширині захвату характер. Але для визначення раціональних значень конструктивних параметрів удосконаленого котка потрібні додаткові експериментальні дослідження за допомогою імітаційного моделювання та методів планування експерименту.

Висновки:

1. Проведений аналіз роботи сучасних прикочуючих котків, які використовуються для передпосівного обробітку ґрунту, встановлено, що їх конструкції не в повній мірі відповідають вимогам до формування необхідної щільності

грунту по ширині і глибині захвату, тому нами була запропонована нова конструкція прикочуючого котка з кулачковими робочими елементами та розроблена математична модель його роботи.

2. Запропонована математична модель процесу роботи удосконаленого котка дозволяє встановити характер розподілення питомого тиску в залежності від конструктивних параметрів елементів котка і фізико-механічних властивостей ґрунту.

3. Ефективність запропонованої конструкції прикочуючого котка забезпечується тим, що за рахунок конструкції робочої поверхні та кулачків можна отримати рівномірне ущільнення ґрунту по ширині захвату котка і на потрібну глибину та зменшення кількості проходів котка для забезпечення необхідної рівномірності ущільнення.

Список літератури

1. Маслійов С.В., Шевченко А.М., Маслійов Є.С. Вплив обробітку ґрунту на ріст, розвиток та урожайність розлусної кукурудзи. *Таврійський науковий вісник*. № 116, ч. 2, Землеробство, рослинництво, овочівництво та баштанництво, 2020. С. 14–21. URL: http://www.tnv-agro.ksauniv.ks.ua/archives/116_2020/part_2/5.pdf (дата звернення: 17.10.2023)
2. Гевко Р.Б., Ткаченко І.Г., Павх І.І. *Машини сільськогосподарського виробництва*. Тернопіль, 2005. 228 с.
3. *Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку* : підручник / Д.Г. Войтюк та ін.; за ред. Д.Г. Войтюка. К. : Вища освіта, 2005. С.120-123.
4. *Землеробство* : підручник / В.П. Гудзь, І.Д. Примак, Ю.В. Будьонний, С.П. Танчик. К. : Центр учб. л-ри, 2010. 464 с.
5. Kuhn 4400 packer. URL: <https://www.kuhn.com/en/crop/tillage-implements/packers/4400-packer>
6. Amazone - Rollers & Harrows. URL: <https://www.amazone.net/en/products-digital-solutions/agricultural-technology/cultivation/compact-disc-harrows/52222-52222/52256> (дата звернення: 18.10.2023)
7. Horsch Maschinen - Cruiser XL. URL: <https://www.horsch.com/en/products/soil-cultivation/cultivators/cruiser-xl> (дата звернення: 18.10.2023)
8. Bednar – Котки. URL: <https://www.bednar.com/uk/%D0%BE%D0%B1%D1%80%D0%BE%D0%B1%D1%96%D1%82%D0%BE%D0%BA-%D2%91%D1%80%D1%83%D0%BD%D1%82%D1%83/> (дата звернення: 18.10.2023)
9. Farmet, Kompaktomat NS – Котки. URL: <https://www.farmet.cz/uk/seedbed-combinator-kompaktomatns> (дата звернення: 18.10.2023)
10. Шустік Л., Степченко С., Нілова Н., Сидоренко С. Порівняльний аналіз прикочувальних котків різних конструкцій виробництва ТОВ «Ропа-Україна» та експертне оцінювання їхньої дії на ґрунт. *Сільськогосподарська техніка та обладнання: прогнозування, конструювання, випробування*. 2019. Вип. 25(39). С. 89-95. URL: [http://dx.doi.org/10.31473/2305-5987-2019-2-25\(39\)-9](http://dx.doi.org/10.31473/2305-5987-2019-2-25(39)-9) (дата звернення: 19.10.2023)
11. Іванюта М.В. Числове дослідження процесу взаємодії поверхні гладкого котка з ґрунтом. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2015. № 5. С. 128-133. URL: <https://visnyk.vntu.edu.ua/index.php/visnyk/article/download/780/779/779> (дата звернення: 21.10.2023)
12. Артеменко Д.Ю., Настоящий В.А. Обґрунтування робочої поверхні конусного прикочуючого котка просапної сівалки. *Scientific Journal «ScienceRise»*. 2017. №5/2(34). С. 18-22. URL: <http://journals.urau.ua/sciencerrise/article/view/101960> (дата звернення: 21.10.2023)
13. Шустік Л., Погорілий В., Нілова Н. та ін. Кільчасто-шпорові і зубчато-шпорові котки. Функційні та динамічні випробування. *Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України*. 2021. Вип. 28 (42). С. 86–101. URL: <http://tta.org.ua/article/view/236557> (дата звернення: 22.10.2023)
14. Степченко С. Коткування як один із способів основного обробітку ґрунту. *Техніка і технології АПК*. 2010. № 5(8). С. 15–19. URL: http://base.dnsgb.com.ua/files/journal/TiTAPK/2010_5/5_10_s15.pdf (дата звернення: 22.10.2023)
15. Рожков П.М. Дослідження процесу взаємодії гладких котків з ґрунтом і обґрунтування їх форми : дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01. Мелітополь, 1975. 161 с.
16. Кушнар'єв А.С., Кочев В.І. *Механіко-технологічні основи обробітку ґрунту*. К.: Урожай, 1989. 144 с.

17. Сисолін П.В., Сало В.М., Кропивний В.М. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування. Кн. 1 : Машини для рільництва. К. : Урожай, 2001. 384 с.
18. Заїка П.М. Теорія сільськогосподарських машин. Т. 1, Ч. 2. Машини для сівби та садіння. Харків: Око, 2002. 452 с.
19. Ущільнюючий коток : пат. № 108147 У Україна, Е01С19/28 / Артеменко Д.Ю., Настоящий В.А., Антонюк О.М. (Україна); заявник і патентовласник КНТУ. № 201511733; Заявл. 27.11.2015; Опубл. 11.07.2016, Бюл. № 13. 3 с.

Referencis

1. Masliiov, S.V., Shevchenko, A.M. & Masliiov, Ye.S. (2020). Vplyv obrobitku gruntu na rist, rozvytok ta urozhainist rozlusnoi kukurudzy [The influence of tillage on the growth, development and productivity of open corn.]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk – Taurian Scientific Bulletin. № 116, Part 2*, 14 – 21, Zemlerobstvo, roslynnnytstvo, ovochivnytstvo ta bashtannytstvo. Retrieved from http://www.tnv-agro.ksauniv.ks.ua/archives/116_2020/part_2/5.pdf [in Ukrainian].
2. Hevko, R.B., Tkachenko I.H. & Pavkh, I.I. (2005). *Mashyny silskohospodarskoho vyrobnytstva [Agricultural machines]*. Ternopil [in Ukrainian].
3. Voitiuk, D.H. Baranovskyi, V.M. Bulhakov V.M. et al. (2005). *Silskohospodarski mashyny. Osnovy teorii ta rozrakhunku [Agricultural machines. Basics of theory and calculation]* D. H. Voitiuka (Eds.). Kyiv: Vyscha osvita [in Ukrainian].
4. Hudz, V.P., Prymak, I.D., Budonnyi, Yu.V. & Tanchyk, S.P. (2010). *Zemlerobstvo [Agriculture]*. Kyiv : Tsentri uchb. l-ry [in Ukrainian].
5. Kuhn 4400 packer. *kuhn.com*. Retrieved from <https://www.kuhn.com/en/crop/tillage-implements/packers/4400-packer> [in English].
6. Amazone - Rollers & Harrows. *amazone.net*. Retrieved from <https://www.amazone.net/en/products-digital-solutions/agricultural-technology/cultivation/compact-disc-harrows/52222-52222/52256> [in English].
7. Horsch Maschinen - Cruiser XL. *horsch.com*. Retrieved from <https://www.horsch.com/en/products/soil-cultivation/cultivators/cruiser-xl> [in English].
8. Bednar – Rollers. *bednar.com*. Retrieved from <https://www.bednar.com/uk/%D0%BE%D0%B1%D1%80%D0%BE%D0%B1%D1%96%D1%82%D0%BE%D0%BA-%D2%91%D1%80%D1%83%D0%BD%D1%82%D1%83/> [in English].
9. Farmet, Kompaktomat NS – Rollers. *farmet.cz*. Retrieved from <https://www.farmet.cz/uk/seedbed-combinator-kompaktomat-ns>
10. Shustik, L., Stepchenko, S., Nilova, N. & Sydorenko, S. (2019). Porivnialnyi analiz prykochuvalnykh kotkiv riznykh konstruktzii vyrobnytstva tov «Ropa-Ukraina» ta ekspertne otsiniuvannya yikhnoi dii na grunt [Comparative analysis of rolling rollers of various designs manufactured by Ropa-Ukraine Co., Ltd. and expert assessment of their effect on the soil.]. *Silskohospodarska tekhnika ta obladnannia: prohnozuvannia, konstruiuvannia, vyprobuvannia – Agricultural machinery and equipment: forecasting, design, testing, Vol. 25(39)*, 89-95. Retrieved from [http://dx.doi.org/10.31473/2305-5987-2019-2-25\(39\)-9](http://dx.doi.org/10.31473/2305-5987-2019-2-25(39)-9) [in Ukrainian].
11. Ivaniuta M.V. (2015). Chyslove doslidzhennia protsesu vzaiemodii poverkhni hladkoho kotka z gruntom [Numerical study of the process of interaction between the surface of a smooth roller and the soil]. *Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu – Bulletin of the Vinnytsia Polytechnic Institute, № 5*, 128-133. URL: <https://visnyk.vntu.edu.ua/index.php/visnyk/article/download/780/779/779> [in Ukrainian].
12. Artemenko, D.Yu. & Nastoiashchyi, V.A. (2017). Obruntuvannia robochoi poverkhni konusnoho prykochuiuchoho kotka prosapnoi sivalky [Justification of the working surface of the conical rolling roller of the row drill]. *Scientific Journal «ScienceRise», №5/2(34)*, 18-22. Retrieved from <http://journals.urau.ua/sciencerrise/article/view/101960> [in Ukrainian].
13. Shustik, L., Pohorilyi, V., Nilova, N. et al. (2021). Kilchasto-shporovi i zubchato-shporovi kotky. Funktsiini ta dynamichni vyprobuvannia [Ring-spur and toothed-spur rollers. Functional and dynamic tests]. *Tekhniko-tekhnolohichni aspekty rozvytku ta vyprobuvannia novoi tekhniki i tekhnolohii dlia silskoho hospodarstva Ukrainy – Technical and technological aspects of development and testing of new equipment and technologies for agriculture in Ukraine, Vol. 28 (42)*, 86 – 101. Retrieved from <http://tta.org.ua/article/view/236557> [in Ukrainian].
14. Stepchenko, S. (2010). Kotkuvannia yak odyin iz sposobiv osnovnoho obrobitku gruntu [Rolling as one of the main methods of tillage]. *Tekhnika i tekhnolohii APK – Agricultural machinery and technologies, № 5(8)*, 15 – 19 Retrieved from http://base.dnsgb.com.ua/files/journal/TiTAPK/2010_5/5_10_s15.pdf [in Ukrainian].

15. Rozhkov, P.M. (1975). Doslidzhennia protsesu vzaiemodii hladkykh kotkiv z gruntom i obgruntuvannia yikh formy [Study of the process of interaction of smooth rollers with the soil and justification of their shape]. *Candidate's thesis*. Melitopol [in Russian].
16. Kushnarov, A.S. & Kochev, V.I. (1989). *Mekhaniko – tekhnologichni osnovy obrobittu gruntu* [Mechanics - technological basics of tillage]. Kyiv: Urozhai [in Russian].
17. Sysolin, P.V. Salo, V.M. & Nettle, V.M. (2001). *Silskogospodarski mashini: teoretichni osnovi, konstruktsiya, proektuvannya, Kn. 1: Mashini dlya rilnistva* [Agricultural machines: theoretical foundations, construction, design, Book. 1: Machines for agriculture]. Kyiv: Harvest [in Ukrainian].
18. Zaika P.M. (2002). Teoriya silskogospodarskih mashin [Theory of agricultural machines]. *Mashini dlya sivbi ta sadinnya – Machines for sowing and planting, Vol. 1, part 2*, 452. Kharkiv: Oke [in Ukrainian].
19. Pat. № 108147 U Ukraina, E01S19/28 . Ushchilniuiuchy kotok [Sealing roller]: / Artemenko D.Yu., Nastoishchyi V.A., Antoniuk O.M. (Ukraina); zaiavnyk i patentovlasnyk KNTU. № 201511733; Zaiavl. 27.11.2015; Opubl. 11.07.2016, Biul. № 13. 3 [in Ukrainian].

Dmytro Artemenko, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Volodymyr Onopa**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Oleh Kyslun**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Kostiantyn Mulenko**, magistr
Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Theoretical Substantiation of the Design Features of the Roller for Pre-sowing Tillage

The article presents the results of exploratory theoretical studies of the design features of a roller for pre-sowing tillage. According to the number of operations, the rolling roller can be considered as one of the main means for ensuring high-quality preparation of the field for sowing. Therefore, the rolling process must be considered as a complex of operations, and its construction as a combination of the latter. The technological process of rolling helps to optimally place the seeds at a given depth, improves the contact between the seeds and the soil, and contributes to the rapid swelling and germination of the seeds. The main purpose of rolling is to conserve soil moisture, especially in arid conditions, by reducing physical evaporation.

The analysis of the existing designs of domestic and foreign manufacturers of rolling rollers for pre-sowing soil cultivation and the technological process they perform showed that today the range of designs is growing, versatility is decreasing, each type of work requires its own roller, continuous formation of the compacted bottom of the seedbed with modern rollers is not fully implemented. The main direction on which foreign roller manufacturers are working is strip rolling and preparation of the seed bed directly along the track of the coulters if the roller is part of the seeding unit. In addition to the classic ones, there are practically no cats for continuous rolling in the company's assortment.

It has been established that the technological process will be more rational when rolling occurs not only in the upper layers of the soil, but also in the lower ones. For this purpose, a combined rolling roller with working elements of the cam type was proposed. A mathematical model of the interaction of the rolling roller and its elements with the soil has been developed. The proposed mathematical model of the working process of the improved roller allows to establish the nature of the specific pressure distribution depending on the constructive parameters of the roller elements and the physical and mechanical properties of the soil. The effectiveness of the proposed design of the rolling roller is ensured by the fact that due to the design of the working surface and cams, it is possible to ensure uniform compaction of the soil along the width of the grip of the roller and to the required depth and reduce the number of passes of the roller to ensure the necessary uniformity of compaction.

favorable conditions for germination, design of rolling roller, soil compaction, combined rolling roller

Одержано (Received) 02.12.2023

Прорецензовано (Reviewed) 15.12.2023

Прийнято до друку (Approved) 27.12.2023