

DOI <https://doi.org/10.32782/2220-8674-2025-15-1-9>

УДК 519.254

В. Т. Надикто, д-р техн. наук

ORCID: 0000-0002-1770-8297

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

e-mail: volodymyr.nadykto@tsatu.edu.ua

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ ПОСТІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ КОЛІЇ НА ВЕЛИЧИНУ НЕПРОДУКТИВНОЇ ПЛОЩІ ПОЛЯ

Анотація. Наслідком і невід'ємним елементом технологій вирощування сільськогосподарських культур із застосуванням постійної технологічної колії є непродуктивна площа поля. Її величина формується площею доріжок, попередньо прокладених із заданим кроком для здійснення переміщення по них ходових систем машинно-тракторних агрегатів на основі колісних енергетичних засобів. Об'єктом теоретичного дослідження виступає аналітична залежність величини непродуктивної площі поля від його довжини і ширини, а також від кроку постійної технологічної колії та ширини її слідів. Установлено, що за збільшення значення кроку постійної технологічної колії (параметр H) непродуктивна площа поля прогресивно зменшується. Найвища інтенсивність цього процесу має місце за зростання параметра H до 13...15 м. На підставі такої інформації аграрні виробники можуть визначатися із вибором робочої ширини захвату (а отже, і кроку постійної технологічної колії) використовуваних машинно-тракторних агрегатів. Зміна довжини й ширини поля має незначний вплив на величину його непродуктивної площі при вирощуванні сільськогосподарських культур із застосуванням постійної технологічної колії.

Ключові слова: довжина поля, ширина поля, ширина сліду колії, ширина шини колеса, відносна площа поля.

Постановка проблеми. Одним із шляхів збереження родючості ґрунтів нашої країни є розроблення таких систем землеробства, які базуються на принципово нових технологіях вирощування сільськогосподарських культур із використанням економічно ефективних і екологічно безпечних технічних та агрохімічних засобів. Нині практично у всьому світі найбільш актуальною є проблема падіння родючості ґрунтів через їх переуцільнення ходовими системами важких тракторів і с.-г. машин. За використання традиційних механізованих технологій у процесах підготовки ґрунту, сівби, догляду за рослинами і збирання врожаю машини виходять на поле більше десятка разів на рік [1]. Нерідко сумарна площа слідів рушіїв машин перевищує площу польової ділянки в 1,1...2 рази [2]. Близько 10...15 % площі поля піддається впливу від 6 до 20 разів, 65...80 % – 1...6 разів, і тільки на 10...15 % вона не потерпає від додаткового уцільнювального впливу [3].

Аналіз останніх досліджень. Спроби розв'язати розглядувану проблему шляхом застосування шин низького тиску, спарених і навіть потроєних коліс забезпечують лише частковий ефект. Не дає позитивного результату і застосування комбінованих машинно-тракторних агрегатів (МТА), оскільки переважна частка збитків від переуцільнення припадає на найперший контакт ходової системи машини з ґрунтом. З огляду на це скорочення числа проходів МТА по полю не вельми ефективно з позиції запобігання істотним змінам структурного складу ґрунту.

Застосування гусеничного рушія замість колісного хоча і знижує негативну дію на ґрунт, проте є далеко не радикальним засобом вирішення цієї проблеми. Свого часу науковці Південного філіалу ІМЕСГ НААН України провели трирічні досліді з виявлення впливу різного типу рушіїв енергетичних засобів на врожайність ярого ячменю [4]. Результати досліджень

показали, що гусеничний трактор як за ущільненням, так і за врожайністю по сліду гусениці поступається колісному трактору тягового класу 3 із подвоєними шинами.

Узагальнення відомих результатів випробувань надає підстави стверджувати, що зменшити ущільнення ґрунту за одночасного збільшення тягових показників тракторів і зменшення пов'язаних із цим витрат на самопересування МТА по полю можна лише за упорядкованого (тобто маршрутизованого) способу їх руху. Такими технічними рішеннями можуть бути: 1) рух агрегатів по заздалегідь прокладених (сформованих) коліях-доріжках; 2) переміщення машин по рейковому шляху (рух твердого колеса по твердій основі). За інших техніко-технологічних рішень загалом негативна дія ходових систем машинно-тракторних агрегатів на ґрунт принаймні не знижується.

Причина такого наслідку полягає у наявності принципового протиріччя в системі «рушій – ґрунт». Суть його полягає в тому, що *для досягнення енергетичним засобом високих тягово-зчіпних властивостей рушій останнього повинні контактувати із сухим і ущільненим ґрунтом, а для нормального росту культурних рослин потрібне оптимально вологе й пухке середовище.*

Практично такі вимоги можна задовольнити лише тоді, коли чітко розмежувати на полі зони руху енергетичних засобів і зони росту рослин. Процес формування зон руху енергетичних засобів може бути або окремою операцією, або об'єднуватися з найпершою із тих, які проводяться весною (боронуванням, наприклад). Кінцевим результатом вказаного процесу повинні бути прокладені із заданим кроком, а також поглиблені та вирівняні в поздовжньо-вертикальному напрямку постійні технологічні колії (ПТК) [4].

За кордоном таке технологічне рішення відоме під назвою CTF – controlled traffic farming [5, 6]. Одним із стримувальних факторів широкого застосування ПТК (CTF) є той факт, що їх упровадження пов'язане з появою непродуктивної площі поля. До такої належить та її частина, яка припадає на сліди технологічної колії. Останні не засіваються с.-г. культурою, оскільки вони призначенні суто для переміщення ходових систем енергетичних засобів.

Методика розрахунку непродуктивної площі поля не складна, а тому не створює будь-яких труднощів як для науковців, так і для виробників [6]. Нез'ясованими залишаються залежності значень цього показника від параметрів поля (ширина, довжина) і ПТК (крок, ширина сліду).

Мета дослідження полягає в установленні закономірностей зміни величини непродуктивної площі поля від його ширини й довжини із застосуванням ПТК з установленими значеннями її кроку та ширини слідів.

Основна частина. В Україні технологічні основи вирощування сільськогосподарських культур з використанням постійної технологічної колії розроблено ННЦ «ІМЕСГ» у співпраці з Таврійським ДАТУ. Згідно зі здійсненими їх співробітниками напрацюваннями прокладання слідів ПТК може бути окремою технологічною операцією. Енергетичною базою агрегату для її здійснення є вітчизняний орно-просапний трактор сімейства ХТЗ-160, який налаштований на реверсивний режим руху й агрегується із спеціальним знаряддям для прокладання слідів ПТК (рис. 1).

Після проходження такого МТА оброблюване поле ділиться на продуктивну і непродуктивну зони. Останню репрезентують доріжки шириною b (тобто сліди ПТК, рис. 2), по яких у подальшому переміщуються всі агрегати, використовувані в технології вирощування тієї чи іншої сільськогосподарської культури. Сліди ПТК при цьому прокладаються із заданим кроком H , який формують маркери фронтального ґрунтообробного знаряддя.

У поздовжньо-вертикальному й горизонтальному напрямках ущільнені доріжки постійної колії мають досить вирівняний профіль [7, 8]. А це дуже важливо для організації руху як звичайних машинно-тракторних агрегатів, так і для тих, що використовують автоматичний режим керування їх переміщенням [9, 10].



Рис. 1. Агрегат для прокладання слідів ПТК



Рис. 2. Сліди ПТК на полі

Натомість, протягом часу вегетації останньої включно до її збирання ґрунт продуктивної площі поля не піддається ущільненню ходовою системою використовуваних МТА. У підсумку саме поділ ґрунтового середовища на дві зони (продуктивну і непродуктивну) дає змогу розв'язати згадане вище протиріччя системи «рушій – ґрунт».

Площа поля під слідами ПТК (у тому числі на поворотних смугах) є непродуктивною. Це обумовлено тим, що сформовані один раз доріжки не засіваються вирощуваною сільськогосподарською культурою, оскільки вони призначені суто для переміщення МТА. За даними [4] величину непродуктивної площі (S) можна визначити із такого виразу:

$$S = \frac{2b}{H} \cdot [A \cdot (L - H) + l_n \cdot (A - H)], \quad (1)$$

де b – ширина сліду ПТК, м;

H – крок ПТК, м;

A, L – ширина і довжина поля відповідно, м;

l_n – довжина повороту МТА за його руху на поворотній смузі, м.

У роботі [4] підкреслюється, що мінімальне значення кроку ПТК має бути більшим за позначку 5,6 м. З урахуванням цього і прийняттям того факту, що в переважній більшості випадків значення параметра H дорівнює робочій ширині захвату МТА, останні на поворотній смузі здійснюватимуть поворот по півколу. За таких обставин справедливою є така залежність:

$$l_n = \pi \cdot H. \quad (2)$$

Для подальшого аналізу розглядатимемо не абсолютне значення непродуктивної площі поля (S), а відносне (S_o):

$$S_o = \frac{S}{L \cdot A}. \quad (3)$$

З урахуванням (2) і (3) із рівняння (1) остаточно знаходимо, що

$$S_o = \frac{2b}{L \cdot A \cdot H} \cdot [A \cdot (L - H) + A \cdot H \cdot (A - H)]. \quad (4)$$

Отримане рівняння (4) дає можливість оцінити вплив залежності величини непродуктивної площі поля як від його параметрів (довжина L і ширина A), так і параметрів ПТК (крок H і ширина слідів b). Аналіз отриманих результатів розрахунків засвідчує, що збільшення кроку ПТК з 6 до 24 м обумовлює прогресивне зменшення непродуктивної площі поля (рис. 3).

Водночас інтенсивність цього процесу не рівномірна. У принципі кожен із трьох отриманих функціональних залежностей $S_o = f(H)$ можна розділити на дві зони: зона АВ і зона ВС (рис. 3). У зоні АВ інтенсивність зменшення показника S_o зі збільшенням значення параметра H дещо вища, ніж у зоні ВС.

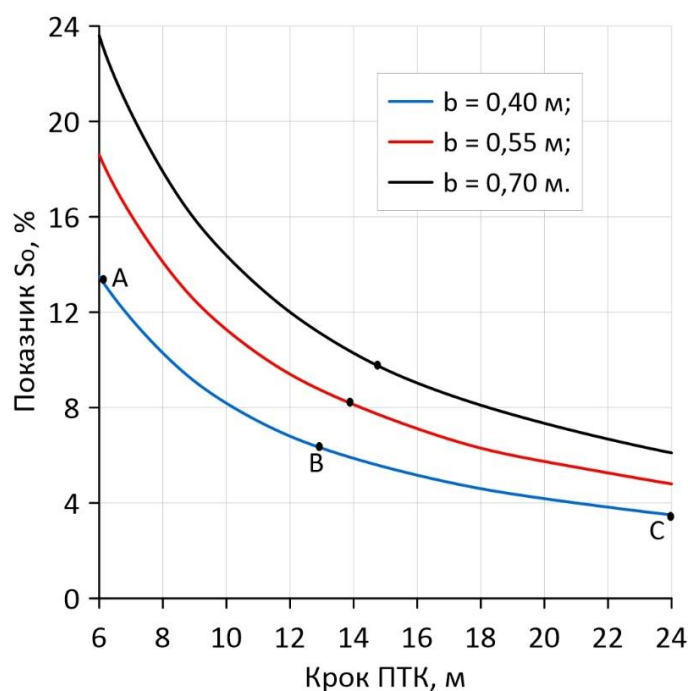


Рис. 3. Залежність непродуктивної площі поля від кроку ПТК за різних значень ширини її слідів (b)

Координати точки розмежування цих зон (т. В) для кожної із залежностей $S_o = f(H)$ можна визначити як аналітично, так і графічно за методикою, викладеною у [11]. У цьому випадку маємо (див. рис. 3), що залежно від ширини слідів ПТК (параметр b) зменшення непродуктивної площі поля найбільш ефективно за збільшення значень кроку ПТК до 13...15 м. Наявність такої інформації може бути корисною для аграрних виробників під час визначення ними ширини захвату використовуваних МТА.

З аналізу даних на рис. 3 легко побачити, що в діапазоні всіх значень параметра H значення показника S_o тим менше, чим менша ширина слідів ПТК (параметр b). Цей цілком логічний результат вказує на те, що в разі реалізації технології вирощування с.-г. культур із застосуванням ПТК перевагу слід віддавати МТА на основі колісних енергетичних засобів із відносно вузькими шинами. Збільшення їх питомого тиску на ґрунт при цьому не виступає обмежувальним фактором, оскільки ущільнення ґрунтового середовища здійснюється в зоні непродуктивної площі поля – слідах постійної технологічної колії.

За розрахунковими даними (табл. 1) збільшення довжини поля (параметр L) у принципі обумовлює зменшення непродуктивної площі поля. Водночас у кількісному вираженні це зменшення настільки незначне, що можна говорити про індиферентність значень показника S_o до варіювання значень параметра L .

Таблиця 1
Залежність непродуктивної площі поля від його довжини за різних значень кроку ПТК

Крок ПТК (H), м	Довжина поля (L), м		
	700	1000	1300
	Непродуктивна площа (S_o), %		
6	13,60	13,50	13,46
9	9,10	9,06	9,02
12	6,90	6,83	6,80
15	5,60	5,50	5,46
18	4,70	4,61	4,57
21	4,00	3,97	3,94
24	3,60	3,50	3,46

Ще меншою мірою величина непродуктивної площі поля залежить від його ширини (табл. 2). Майже для всіх значень кроку ПТК від 6 до 24 м збільшення значення параметра A від 700 до 1000 м величина показника S_o залишається практично незмінною.

Таблиця 2
Залежність непродуктивної площі поля від його ширини за різних значень кроку ПТК

Крок ПТК (H), м	Ширина поля (A), м		
	500	700	1000
	Непродуктивна площа (S_o), %		
6	13,50	13,50	13,50
9	9,06	9,06	9,06
12	6,83	6,83	6,84
15	5,50	5,50	5,50
18	4,61	4,61	4,61
21	3,97	3,97	3,98
24	3,49	3,50	3,50

Звідси випливає, що функціональні залежності $S_0 = f(L)$ і $S_0 = f(A)$ не виступають тими факторами, які повинні враховувати аграрні виробники в разі реалізації ними технологій вирощування сільськогосподарських культур із застосуванням постійної технологічної колії.

Висновки. Запропоновано аналітичну залежність, яка дає змогу визначити закономірність зміни непродуктивної площі поля від його довжини й ширини, а також кроку постійної технологічної колії та ширини її слідів. У перспективі наявність такої залежності дасть можливість здійснити техніко-економічну оцінку ефективності впровадження технології вирощування с.-г. культур із застосуванням постійної технологічної колії.

Установлено, що за збільшення значення кроку постійної технологічної колії (параметр Н) непродуктивна площа поля прогресивно зменшується. Найвища інтенсивність цього процесу має місце за зростання параметра Н до 13...15 м. На підставі такої інформації аграрні виробники можуть визначатися з вибором робочої ширини захвату використовуваних МТА.

Зміна довжини й ширини поля має незначний вплив на величину його непродуктивної площі для вирощування сільськогосподарських культур із застосуванням постійної технологічної колії.

Список використаних джерел

1. Antille D.L., Peets S., Galambosova J. et al. Review: Soil compaction and controlled traffic farming in arable and grass cropping systems. *Agronomy Research*. 2019. Vol. 17. P. 653–682.
2. Li Y.X., Tullberg J.N., Freebairn D.M. Wheel traffic and tillage effects on runoff and crop yield. *Soil and Tillage Research*. 2007. Vol. 97. P. 282–292.
3. Hefner M., Labouriau R., Nørremark M., et al. Controlled traffic farming increased crop yield, root growth, and nitrogen supply at two organic vegetable farms. *Soil and Tillage Research*. 2019. Vol. 191. P. 117–130.
4. Надикто В. Т., Улексін В. О. Колійна та мостова системи землеробства. *ТОВ «Видавничий будинок «ММД»*. 2008. 270 с.
5. Tullberg J.N. Wheel traffic effects on tillage draught. *Journal of Agricultural and Engineering Research*. 2000. Vol. 75. P. 375–382.
6. Tullberg J. Tillage, traffic and sustainability-A challenge for ISTRO. *Soil and Tillage Research*. 2010. Vol. 111. P. 26–32.
7. Bulgakov V., Pscuzzi S., Nadykto V., Ivanovs S. & Adamchuk V. Experimental study of the implement-and-tractor aggregate used for laying tracks of permanent traffic lanes inside controlled traffic farming systems. *Soil and Tillage Research*. 2021. Vol. 208. P. 104895.
8. Bulgakov V., Pascuzzi S., Nadykto V. et al. Effects of Tractor and Soil Parameters on the Depth of the Permanent Traffic Lanes in Controlled Traffic Farming Systems. *Applied Science*. 2022. Vol. 12. P. 6620.
9. Борис А. М., Савченко І. Ф., Рихлівський П. А. та ін. Розроблення системи автоматичного підрулювання навіски машинно-тракторного агрегату. *Крамаровські читання : збірник тез доповідей X Міжнародної науково-практичної конференції*, м. Київ, 23–24 лютого 2023 р. Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ : Видавничий центр НУБіП України, 2023. С. 337–339.
10. Адамчук В. В., Борис А. М., Савченко І. Ф. та ін. Досвід застосування системи точного водіння агрегатів на вирощуванні столових коренеплодів. *Механізація та електрифікація сільського господарства : загальнодерж. зб. наук. пр. ННЦ «ІМЕСГ»*. Глеваха, 2022. Вип. 15 (114). С. 131–137. doi.org/10.37204/0131-2189-2022-15-16.
11. Надикто В. Т. Основи наукових досліджень. Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС. 2017. 268 с.

Стаття надійшла до редакції 26.03.2025 р.



V. Nadykto
Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University

RESEARCH ON THE INFLUENCE OF CONSTANT TECHNOLOGICAL TRACK PARAMETERS ON THE SIZE OF UNPRODUCTIVE FIELD AREA

Summary

The unproductive area of the field is a consequence and an integral element of the technologies for growing crops using a permanent technological track. Its value is formed by the area of tracks previously laid with a given step for the movement of running systems of machine-tractor units based on wheeled power tools along them. The object of theoretical research is the analytical dependence of the size of the unproductive area of the field from its length and width, as well as from the step of the permanent technological track and the width of its tracks. It has been established that with an increase in the value of the step of the constant technological track (parameter H), the unproductive area of the field progressively decreases. The highest intensity of this process occurs with an increase in the parameter H to 13...15 m. Based on such information, agricultural producers can determine the choice of the working width of the grip (and therefore the step of the constant technological track) of the used machine-tractor units. Changing the length and width of the field slightly affects the size of its unproductive area when growing agricultural crops using a constant technological track.

Keywords: field length, field width, track width, wheel tyre width, relative field area.+