

МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ, РОБОЧІ ОРГАНИ ТА МАШИНИ ДЛЯ РОСЛИННИЦТВА

DOI: <https://doi.org/10.37204/0131-2189-2021-13-1>
УДК 631.316.022

Теоретичне дослідження рівномірного руху боронувальної секції для обробітку парів

Адамчук В. В.,

д.т.н., академік НААН, Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації»;
ORCID iD 0000-0003-0358-7946

Булгаков В. М.,

д.т.н., академік НААН, Національний університет біоресурсів і
природокористування України; ORCID iD 0000-0003-3445-3721

Надикто В. Т.,

д.т.н., член-кореспондент НААН, Таврійський державний агротехнологічний університет
ім. Дмитра Моторного; ORCID iD 0000-0002-1770-8297

Ігнат'єв Є. І.,

к.т.н., Таврійський державний агротехнологічний університет ім. Дмитра Моторного;
ORCID iD 0000-0003-0315-1595

Тиховод М. А.,

інженер, Таврійський державний агротехнологічний університет ім. Дмитра Моторного;
ORCID iD 0000-0001-8463-5481

Анотація

Мета. Забезпечення стабільного положення причіпної боронувальної секції для обробітку парів у повздовжньо-вертикальній площині унаслідок вибору її раціональних конструкційних параметрів.

Методи. Аналітичний із використанням основних положень теоретичної механіки і теорії сільськогосподарських машин.

Результати. Однією із задач обробітку парів у засушливих умовах півдня України є збереження ґрунтової вологи. Для розв'язання цієї задачі агротехнічний фон парового поля має оброблятися на досить малу глибину, яка не перевищує 5–6 см. Таку вимогу може забезпечити ґрунтообробне знаряддя з робочими органами, конструкція яких практично не має кута розпушення. Єдиною важливою проблемою при цьому залишається забезпечення стабільності положення ґрунтообробного знаряддя у повздовжньо-вертикальній площині. Теоретичними дослідженнями встановлено, що з огляду на це обладнати боронувальну секцію укороченими зубами другого, третього і четвертого рядів немає потреби, оскільки вплив цього конструктивного рішення на

положення рівноваги знаряддя в повздовжньо-вертикальній площині незначний, а ускладнення його конструкції відчутне. Зі збільшенням кута φ установки до горизонту плоскорізальних елементів, кута тертя ґрунту φ_r і висоти зуба h кут α нахилу повідків боронувальної ланки до горизонту має теж бути більшим.

Висновки. Найбільший вплив на кут α установки повідків боронувальної ланки здійснює значення відстані b між рядами її зубів. Раціональні значення цього параметра знаходяться в діапазоні 0,27–0,29 м, якому відповідає зміна кута α в межах 6–11°. За умови відсутності плоскорізальних елементів у робочих органах першого ряду боронувальної секції всім значенням конструкційних параметрів h , d і b відповідають менші значення кута α . З позиції зменшення габаритів цього ґрунтообробного знаряддя саме другий варіант є більш прийнятним. Тим більше що він дозволяє врахувати вплив кута φ установки сегментів на інші параметри борони.

Ключові слова: парове поле, борона, зуб борони, стійкість.

UDC 631.316.022

Theoretical study of uniform motion of the harrowing section for steam treatment

Adamchuk V. V.,

Ph.D., Academician of NAAS, National Scientific Center “Institute of Agricultural Engineering and Electrification”; ORCID iD 0000-0003-0358-7946

Bulgakov V. M.,

Ph.D., Academician of NAAS, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine; ORCID iD 0000-0003-3445-3721

Nadykto V. T.,

Ph.D., Corresponding member of NAAS, Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University; ORCID iD 0000-0002-1770-8297

Ihnatiev Ye. I.,

Ph.D., Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University; ORCID iD 0000-0003-0315-1595

Tikhovod M. A.,

Engineer, Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University; ORCID iD 0000-0001-8463-5481

Annotation

Purpose. It ensures a stable position of the trailed harrowing section for fallow treatment in the longitudinal-vertical plane by choosing its rational design parameters.

Methods. Analytical using the fundamental provisions of theoretical mechanics and theory of agricultural machinery.

Results. One of the tasks of fallow treatment in the arid conditions of the south of Ukraine is preserving soil moisture. The only significant problem is to ensure the stability of the position of the tillage implement in the longitudinal-vertical plane. To solve this problem, the agro-technical background of the fallow field should be processed to a sufficiently small depth, not exceeding 5–6 cm. Theoretical research has shown that there is no need to equip the harrowing section with shortened teeth of the second, third and fourth rows, as the impact of this design solution on the equilibrium position of the tool in the longitudinal-vertical plane is insignificant, and the complexity of its design is significant. When we

increase the angle of installation to the horizon of plane-cutting elements φ , the angle of friction of the soil φ_T and the height of the tooth h , the angle of inclination of the leashes of the harrowing link to the horizon α should also be greater.

Conclusions. The most significant influence on the harrowing link's angle installation of the leashes α has the value of the distance between the rows of its teeth b . The rational values of this parameter are in the range of 0.27–0.29 m, which corresponds to the change of the angle α within 6–11°. In the absence of flat-cutting elements in the working bodies of the first row of the harrowing section, all values of the design parameters h , d , and b correspond to smaller values of the angle α . From the standpoint of reducing the size of this tillage tool, the second option is more acceptable. Moreover, it allows considering the influence of the installation angle of the segments φ on other parameters of the harrow.

Keywords: fallow field, harrow, harrow tooth, stability.

УДК 631.316.022

Теоретическое исследование равномерного движения бороновальной секции для обработки паров

Адамчук В. В.,

д.т.н., академик НААН, Национальный научный центр «Институт механизации и электрификации сельского хозяйства»; ORCID iD 0000-0003-0358-7946

Булгаков В. М.,

д.т.н., академик НААН, Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины; ORCID iD 0000-0003-3445-3721

Надыкто В. Т.,

д.т.н., член-корреспондент НААН, Таврический государственный агротехнологический университет им. Дмитрия Моторного;
ORCID iD 0000-0002-1770-8297

Игнатьев Е. И.,

к.т.н., Таврический государственный агротехнологический университет им. Дмитрия Моторного; ORCID iD 0000-0003-0315-1595

Тиховод М. А.,

инженер, Таврический государственный агротехнологический университет им. Дмитрия Моторного; ORCID iD 0000-0001-8463-5481

Аннотация

Цель. Обеспечение стабильного положения прицепной бороновальной секции для обработки паров в продольно-вертикальной плоскости путем выбора ее рациональных конструктивных параметров.

Методы. Аналитический с использованием основных положений теоретической механики и теории сельскохозяйственных машин.

Результаты. Одной из задач обработки паров в засушливых условиях юга Украины является сохранение почвенной влаги. Для решения этой задачи агротехнический фон парового поля должен обрабатываться на достаточно малую глубину, не превышающую 5–6 см. Такое требование может обеспечить почвообрабатывающее орудие с рабочими органами, конструкция которых практически не имеет угла разрыхления. Единственной важной проблемой при этом остается обеспечение стабильности положения почвообрабатывающего орудия в продольно-вертикальной плоскости. Теоретическими исследованиями установлено, что в связи с этим оборудовать бороновальную секцию укороченными зубьями второго, третьего и четвертого рядов нет необходимости, поскольку влияние этого конструктивного решения в продольно-вертикальной плоскости незначительно, а усложнение его конструкции ощутимо. При увеличении угла φ установки к горизонту плоскорезущих элементов, угла трения грунта φ_T и высоты зуба h угол наклона поводков бороновального звена к горизонту α должен тоже быть большим.

Выводы. Наибольшее влияние на угол α установки поводков бороновального звена осуществляет значение расстояния b между рядами ее зубьев. Рациональные значения этого параметра находятся в диапазоне 0,27–0,29 м, которому соответствует изменение угла α в пределах 6–11°. При отсутствии плоскорезущих элементов в рабочих органах первого ряда бороновальной секции всем значениям конструктивных параметров h , d и b соответствуют меньшие значения угла α . С позиции уменьшения габаритов данного почвообрабатывающего орудия именно второй вариант является более приемлемым. Тем

более что он позволяет учесть влияние угла φ установки сегментов на другие параметры борона.

Ключевые слова: паровое поле, борона, зуб борона, устойчивость.

Постановка проблеми. Головна задача обробітку парів у засушливих умовах півдня України полягає в збереженні (і навіть накопиченні) ґрунтової вологи. Для розв'язання цієї задачі агротехнічний фон парового поля має оброблятися на глибину не більше 5–6 см [1, 2]. У процесі виконання цієї технологічної операції винос вологи з ґрунту, навіть із такого малого шару, має бути якомога меншим.

Таку вимогу може забезпечити ґрунтообробне знаряддя з робочими органами практично без кута розпушення. Єдиною важливою проблемою при цьому залишається забезпечення стабільності положення ґрунтообробного знаряддя в повздовжньо-вертикальній площині. Лише в цьому разі матиме місце мінімальне відхилення глибини обробітку парового поля від заданих 5–6 см.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Найбільш придатними робочими органами для обробітку парів в умовах недостатнього зволоження є такі плоскорізальні, в яких кут розпушення практично відсутній. Сучасні науковці вважають, що в посушливий літній період пар краще обробляти боронами із сегментами, не виключаючи при цьому глибокі культивування [3–5]. Це, за їхнім переконанням, дасть можливість уникнути утворення ущільненої підшви в ґрунті та зменшити швидке пересихання агрофону.

Досить широка практика застосування вузькозахватних і майже плоскорізальних робочих органів для поверхневого обробітку (розпушення) ґрунту була впроваджена Всесоюзним науково-дослідним інститутом цукрових буряків. Проведені його науковцями лабораторно-польові дослідження засвідчили, що найбільш сприятливі умови для проростання насіння й розвитку сходів цієї культури можливі за мілкогрудкуватої структури

верхнього (1–10 мм) шару ґрунту [6]. Такий стан останнього, за їхнім переконанням, здатна забезпечувати борона-культиватор ВНИС-Р, розроблена кандидатом сільськогосподарських наук А. Г. Радченко [7]. Її робочі органи – лапки різної довжини – здійснюють пошарово-ярусний обробіток ґрунту. Глибина його розпушування змінюється при цьому від 2 до 12 см. Конструкційна ширина захвату кожної з лап (крім першого ряду борони-культиватора) становить 46 мм. В окремих конструкціях значення цього параметра сягає 50 і навіть 70 мм [8]. При цьому робочі органи першого ряду борони-культиватора ВНИС-Р виконані у вигляді звичайних зубів без лапок.

Поряд з очевидними перевагами дослідниками було встановлено, що рух ґрунтообробних знарядь типу ВНИС-Р характеризується наявністю вібрації борін у повздовжньо-вертикальній площині. У кінцевому випадку це певним чином негативно відобразалося на якості обробітку ґрунту. Особливо відчутно це проявлялося на підвищених швидкостях роботи боронувального машинно-тракторного агрегату [8]. Слід підкреслити, що в науковому сенсі ні статика, ні динаміка вертикального руху боронувальних секцій із плоскорізальними робочими органами в більш-менш повному обсязі не досліджена. Є певні напрацювання, які стосуються досліджень агрегування борін зі звичайними зубами (типу БЗСС-1,0 і БЗТС-1,0).

Зокрема, в роботі [9] підкреслюється, що в серійних боронах повідки під час швидкісного руху МТА обмежують ступінь пристосовуваності ланок у повздовжньо-вертикальній площині. Для вирішення цієї проблеми науковці ВІМ (Росія) у кожній із серійних борін типу БЗСС-1,0 і БЗТС-1,0 зменшили кількість зубів із 20 до 15. Такий конструктивний захід дозволив збільшити питоме вертикальне навантаження на кожен зуб знаряддя.

Ще одним напрямом модернізації зубових борін типу БЗТС-1,0 є обладнання їх активними робочими органами [10, 11]. Протестійкість їхнього руху в повздовжньо-вертикальній площині не розглядалась.

Мета досліджень. Забезпечення стабільного положення причіпної боронувальної секції для обробітку парів у повздовжньо-вертикальній площині внаслідок вибору її раціональних конструкційних параметрів.

Методи досліджень. Аналітичний із використанням основних положень теоретичної механіки і теорії сільськогосподарських машин.

Результати досліджень. Зазначимо, що кожна боронувальна секція для обробітку парів з'єднується з рамою ґрунтообробного знаряддя за допомогою двох повідків 1 (рис. 1). Кожен із них шарнірно приєднується до борони в точці А з кутом нахилу до горизонту α .

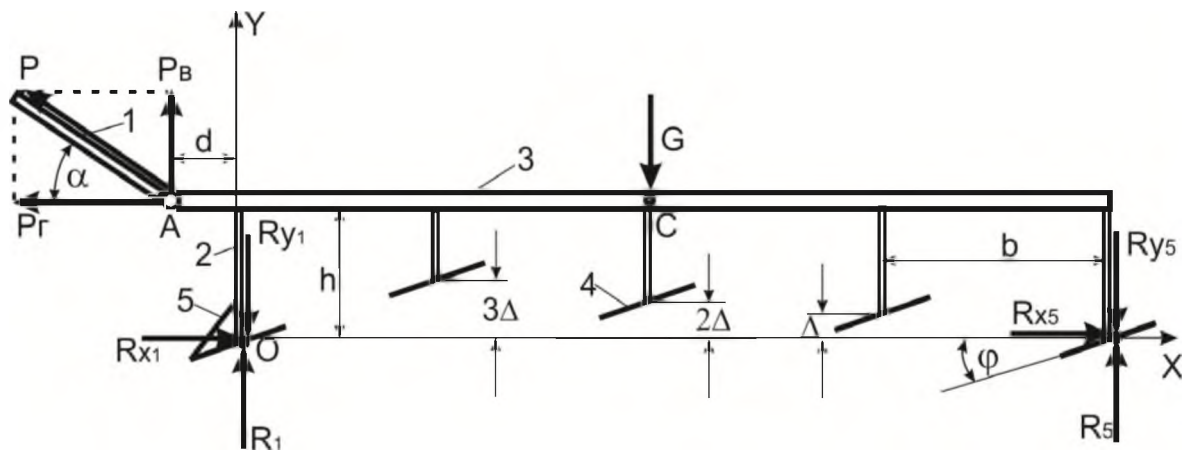


Рис. 1. Схема сил, які діють на борону в повздовжньо-вертикальній площині:
1 – повідок; 2 – зуб переднього ряду; 3 – рама борони; 4 – горизонтальний сегмент лапи;
5 – вертикальний сегмент

Fig. 1. Diagram of forces that act on harrow in longitudinal-vertical plane:
1 – leash; 2 – front tooth; 3 – harrow frame; 4 – horizontal knife; 5 – vertical knife

Різальні елементи (сегменти) всіх п'яти рядів боронувальної секції встановлені в площинах, розташованих під кутом φ до горизонту. Перший ряд робочих органів секції – плоских зубів – додатково обладнаний вертикально встановленими сегментами 5. Висота зубів першого і п'ятого рядів боронувальної секції зняряддя одна й та ж (h , див. рис. 1), а другого, третього та четвертого рядів – різні: порівнюючи з першим і п'ятим рядами, відповідно на 3Δ , 2Δ і Δ менша.

Відстань між рядами зубів боронувальної секції в повздовжньому напрямку прийнята однаковою (величина b , див. рис. 1).

Завдання дослідження полягає у визначенні такого значення кута α нахилу повідків, за якого положення боронувальної секції в повздовжньо-вертикальній площині залишатиметься горизонтальним. При цьому важливим моментом є виявлення впливу інших параметрів боронувальної секції на величину кута α .

Зовнішніми чинниками, які діють на боронувальну секцію в повздовжньо-вертикальній площині, є (див. рис. 1):

- повздовжня P_T та вертикальна P_B складові сили тяги P (Н), яка прикладена вздовж тягової ланки (повідка) борони в точці А;

- сила ваги зняряддя G (Н), прикладена в точці С;

- горизонтальні (R_{x1}, \dots, R_{x5}) та вертикальні (R_{y1}, \dots, R_{y5}) складові тягового опору відповідного ряду зубів борони, Н;

- R_1, \dots, R_5 – вертикальні опорні реакції кожного ряду зубів, Н.

Для кращого сприйняття графічної інформації сили $R_{x2}, \dots, R_{x4}, R_{y2}, \dots, R_{y4}$ і R_2, \dots, R_4 на рисунку 1 не показані.

Щоб розв'язати поставлену задачу, розглянемо умови рівноваги зубової борони в повздовжньо-вертикальній площині. Центр прямокутної системи координат XOY розташуємо в точці O (див. рис. 1).

Приймаємо, що з усіх сил, які діють на зазначене ґрунтообробне зняряддя, невідомими є лише реакції R_1, \dots, R_5 . З достатньою для практики точністю розглядатимемо їх у вигляді одного невідомого – сили R .

Другим невідомим параметром є α – кут нахилу повідків боронувальної секції до горизонту.

З вищевикладеного однозначно випливає, що для визначення двох невідомих величин (сили R і кута α) досить скласти і

розв'язати систему з двох рівнянь [12]. Перше – у вигляді алгебраїчної суми всіх активних сил, які діють на боронувальну секцію у вертикальній площині (тобто вздовж осі OY). Сума цих сил повинна дорівнювати нулю. Друге – у вигляді алгебраїчної суми моментів від усіх сил, які діють відносно центра системи координат, тобто точки O .

З урахуванням викладених вище припущень система рівнянь статичної рівноваги боронувальної секції є такою:

$$\left. \begin{aligned} P_B - G + 5R - 5R_x \cdot ctg(\varphi + \varphi_T) &= 0, \\ P_B \cdot d - P_T \cdot h + 2G \cdot b + 10R_x \cdot ctg(\varphi + \varphi_T) \cdot b + \\ + 1,2P_T \cdot \Delta - 10R \cdot b &= 0, \end{aligned} \right\} (1)$$

де (див. рис. 1) h – висота зуба, м;

b – відстань між рядами зубів, м;

Δ – величина укорочення зуба, м;

d – відстань від точки приєднання тягової ланки (повідка) борони до першого ряду її зубів, м.

Горизонтальна складова тягового опору боронувальної секції P_T може бути визначена експериментально в спосіб її реєстрування, наприклад через вимірювальну тензометричну ланку. На етапі теоретичних розрахунків приблизне значення цієї сили доцільно прийняти з довідникових матеріалів. Прототипом може слугувати важка борона типу БЗТС-1,0.

Знаючи горизонтальну складову тягового опору боронувальної секції R_x , вертикальну можна задавати, використовуючи таку залежність (див. рис. 1):

$$P_B = P_T \cdot tga. \quad (2)$$

Підставивши вираз (2) у систему рівнянь (1), після перетворень отримаємо остаточне рівняння для визначення кута α нахилу до горизонту повідків боронувальної секції:

$$\alpha = arctg \left(\frac{h - 1,2 \cdot \Delta}{d + 2 \cdot b} \right). \quad (3)$$

Аналіз виразу (3) показує, що кут α не залежить ні від силових чинників, ні від кута φ установки різальних елементів (сегментів) до горизонту. Його значення повністю визначається лише конструкційними параметрами борони.

Згідно з другим варіантом налаштування боронувальної секції плоскі зуби її першого ряду для забезпечення кращого розрізання (подрібнення) рослинних решток у ґрунті можуть бути без горизонтальних сегментів.

У цьому разі зв'язок кута α з іншими конструкційними параметрами боронувальної секції є таким:

$$\alpha = \arctg \frac{h - 0,4 \cdot b \cdot \frac{1 - \varphi_t \cdot \varphi_T}{\varphi + \varphi_T} - 1,2 \cdot \Delta}{d + 2 \cdot b} \quad (4)$$

Як бачимо, з усіх параметрів, що входять до цього виразу, лише величина b – відстань між рядами зубів – здійснює неоднозначний вплив, оскільки входить як у чисельник, так і знаменник отриманої залежності (4).

Для здійснення подальших розрахунків та аналізу отриманих результатів значення конструкційних параметрів борони, що входять до виразів (3) і (4), змінювали в таких діапазонах: $h = 0,08\text{--}0,14$ м; $b = 0,15\text{--}0,45$ м; $d = 0\text{--}0,1$ м; $\Delta = 0\text{--}0,01$ м; $\varphi = 0\text{--}5^\circ$; $\varphi_T = 40$ і 60° .

На першому кроці теоретичних досліджень з'ясували вплив параметра Δ на характер зміни кута α . Розрахунки за виразом (3) показали, що для забезпечення стійкого положення боронувальної секції в повздовжньо-вертикальній площині при значеннях $h = 0,12$ м; $b = 0,30$ м; $d = 0,05$ м і $\Delta = 0,01$ м кут α нахилу повідків до горизонту має становити $9,4^\circ$. За умови $\Delta = 0$ значення кута α повинно бути збільшено до $10,5^\circ$, тобто лише на $1,1^\circ$.

Для другого варіанта налаштування боронувальної секції установка зубів однакової довжини ($\Delta = 0$) замість укорочених ($\Delta = 0,01$ м) при $h = 0,12$ м; $b = 0,30$ м; $d = 0,05$ м; $\varphi = 5^\circ$ і $\varphi_T = 50^\circ$ обумовлює, як впливає з розрахунків за виразом (4), зміну кута α лише на 1° . Тобто тенденція незначного впливу величини Δ на характер залежності $\alpha = f(\Delta)$ що в якісному плані, що в кількісному вираженні є справедливою як для виразу (3), так і для виразу (4).

З урахуванням вищевикладеного приходимо до попереднього висновку, що обладнувати боронувальну секцію вкороченими зубами немає потреби. Вплив умови $\Delta \neq 0$ на положення рівноваги боронувальної секції в повздовжньо-вертикальній площині незначний, а ускладнення її конструкції відчутне. У

зв'язку із цим для подальшого аналізу приймаємо $\Delta = 0$.

З графічної інтерпретації виразу (4) випливає, що зі збільшенням кута φ нахилу сегментів кут α нахилу повідків боронувальної секції має теж зростати. І хоча в діапазоні варіювання величини $\varphi = 0\text{--}5^\circ$ значення кута α для кута тертя ґрунту $\varphi_T = 60^\circ$ змінюється лише в межах $1,2^\circ$ (крива 1, рис. 2), а для кута $\varphi_T = 40^\circ$ – у межах 2° (крива 2, рис. 2), в якісному плані така тенденція є закономірною. Слід підкреслити, що в теоретичному плані залежність $\alpha = f(\varphi)$, як випливає із виразу (4), є нелінійною. Однак, у прийнятому діапазоні зміни кута φ ($0\text{--}5^\circ$) ця кривизна настільки незначна (див. рис. 2), що графічна інтерпретація залежності кута α від кута φ має практично прямолінійний характер. При цьому вона суттєво залежить від значення кута φ_T тертя ґрунту: за його збільшення кут α нахилу повідків борони має бути більшим. Причому, при $\varphi_T = 40^\circ$ повідки боронувальної секції, усупереч звичній практиці, повинні бути нахилені під від'ємним кутом до горизонту.

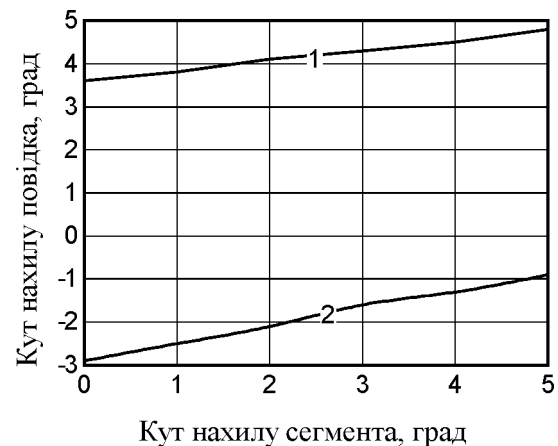


Рис. 2. Залежність кута нахилу повідків борони α від кута нахилу її горизонтальних сегментів φ за різних кутів тертя ґрунту:

1 – $\varphi_T = 60^\circ$; 2 – $\varphi_T = 40^\circ$

Fig. 2. Dependence of inclination angle of the harrow leashes α on inclination angle of its horizontal knives φ at different angles of soil friction:

1 – $\varphi_T = 60^\circ$; 2 – $\varphi_T = 40^\circ$

Аналогічний і досить інтенсивний вплив на кут α нахилу повідків борони здійснює висота h її зубів. Зі збільшенням цього параметра в 1,75 раза (з 0,08 до 0,14 м) значення кута α для першого варіанта налаштування боронувальної секції зростає майже вдвічі (крива 1, рис. 3).

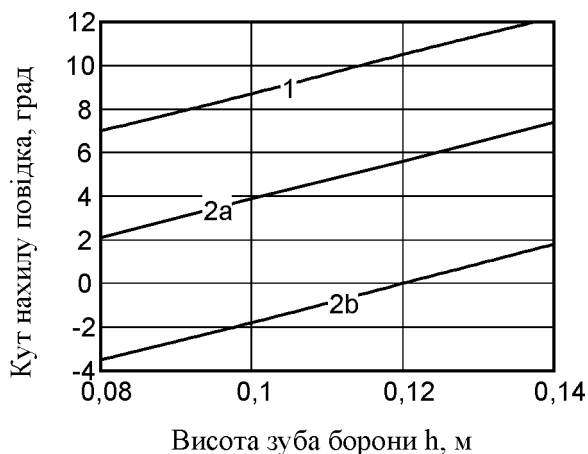


Рис. 3. Залежність кута α від висоти зубів борони для першого (1) та другого (2) варіантів її налаштування

за різних кутів тертя ґрунту по сталі:
 $2a - \varphi_r = 60^\circ$; $2b - \varphi_r = 40^\circ$

Fig. 3. Dependence of angle α on height of harrow teeth for first (1) and second (2) variants of its adjustment at different angles of friction of soil against steel:

$2a - \varphi_r = 60^\circ$; $2b - \varphi_r = 40^\circ$

Стійкість положення боронувальної ланки в повздовжньо-вертикальній площині від виносу (параметр d) точки кріплення на ґрунтообробному знарядді (точка А, див. рис. 1) залежить мало. І ця тенденція справедлива для обох варіантів реального налаштування боронувальної секції (рис. 4).

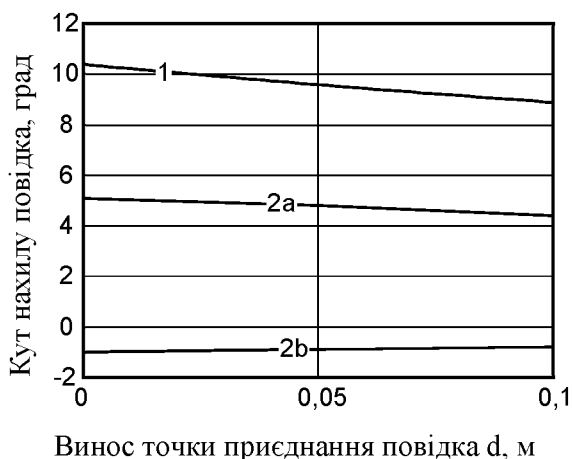


Рис. 4. Залежність кута нахилу повідка від виносу точки його кріплення на бороні для першого (1) та другого (2) варіантів її налаштування:

$2a - \varphi_r = 60^\circ$; $2b - \varphi_r = 40^\circ$

Fig. 4. Dependence of leash inclination angle on displacement of its point harrow mount for first (1) and second (2) options its adjustments:

$2a - \varphi_r = 60^\circ$; $2b - \varphi_r = 40^\circ$

Як показує теоретичний аналіз залежностей (3) і (4), найбільший вплив на кут α установки повідків боронувальної ланки здійснює значення відстані між рядами її зубів (параметр b , див. рис. 1). Зокрема, зі збільшенням цього параметра з 0,15 до 0,45 м значення кута α зменшується більше ніж на 10° (крива 1, рис. 5).

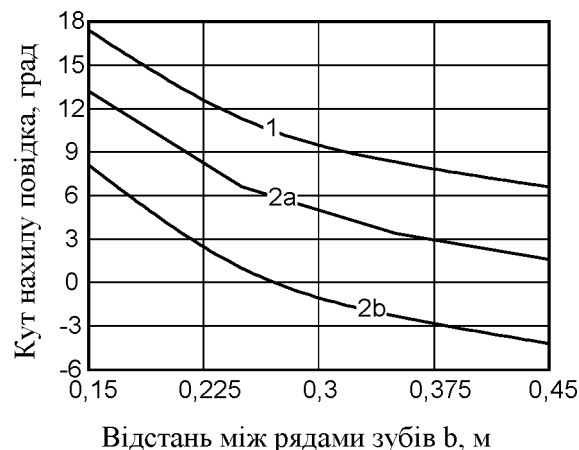


Рис. 5. Залежність кута α від відстані b для першого (1) та другого (2) варіантів борони:

$2a - \varphi_r = 60^\circ$; $2b - \varphi_r = 40^\circ$

Fig. 5. Dependence of angle α on distance b for first (1) and second (2) harrow adjustments options:

$2a - \varphi_m = 60^\circ$; $2b - \varphi_m = 40^\circ$

Для другого варіанта налагодження боронувальної секції це зменшення становить щонайменше 11° (криві 2a і 2b, див. рис. 5).

Криві 1 і 2 на рисунку 5 показують, що залежності $\alpha = f(b)$ не мають екстремумів. Водночас вони цілком підпадають під визначення «двозонних» кривих [13, 14]. Для них авторами вказаних наукових робіт розроблено методику розрахунку координат тих точок, які розділяють такі криві на зони різної інтенсивності впливу аргументу на функцію.

Застосуємо цю методику до отриманого нами результату, представленому на рисунку 5. Для цього спочатку з'єднуємо прямою лінією кінцеві точки кривої 1 (рис. 6).

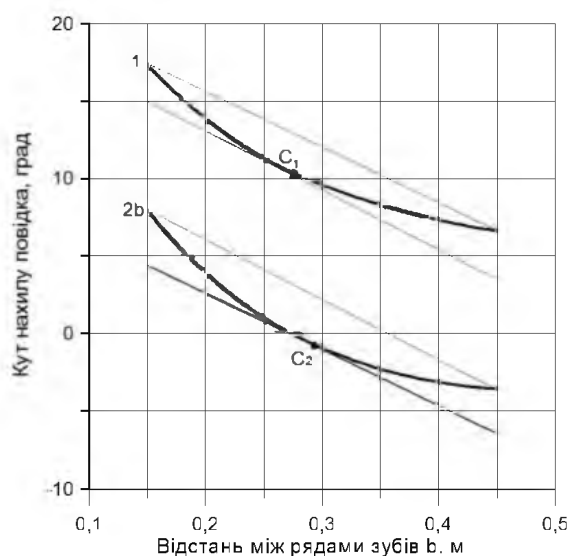


Рис. 6. Визначення характерних точок (C_1 і C_2) залежності $\alpha = f(b)$ для першого (1) та другого (2b) варіантів налаштування борони

Fig. 6. Determination of characteristic points (C_1 and C_2) of dependence $\alpha = f(b)$ for first (1) and second (2b) harrow adjustment options

Потім переміщуємо цю пряму паралельно самій собі до тих пір, поки вона не стане дотичною до кривої 1. У цьому разі це має місце в точці C_1 .

Якщо здійснити те ж саме стосовно кривої 2b, то аналогічно отримуємо характерну точку C_2 .

Ординати цих точок указують на те, що в разі зміни параметра b у діапазоні 0,15–0,27 м (для першого варіанта налагодження боронувальної секції) інтенсивність зменшення значення кута α більша, ніж інтенсивність його зменшення в разі зміни параметра b в діапазоні 0,27–0,45 м.

Стосовно другого варіанта налаштування боронувальної ланки розділення процесів інтенсивності зміни функції (кут α) від аргументу (параметр b) відбувається в точці C_2 , ордината якої сягає позначки приблизно 0,29 м. Характерним точкам C_1 і C_2 відповідають значення кута нахилу повідків боронувальної ланки $\alpha = 10,6^\circ$ і $\alpha = -0,5^\circ$, відповідно.

Для другого варіанта боронувальної ланки за її роботи в ґрунтовому середовищі, кут тертя якого становить 60° , координати характерної точки, яка ділить криву $\alpha = f(b)$ на дві ділянки, є такими: $b = 0,28$ м; $\alpha = 6^\circ$. У цьому разі, як бачимо, кут нахилу повідків боронувальної секції до горизонту є позитивним.

Слід підкреслити, що, порівнюючи з першим, за другого варіанта налаштування боронувальної секції всім значенням конструкційних параметрів h , d і b відповідають менші значення кута α . З позиції зменшення габаритів цього ґрунтообробного знаряддя саме другий варіант є більш прийнятним. Тим більше, що він дозволяє врахувати вплив кута установки горизонтальних сегментів φ на інші конструкційні параметри борони.

Взагалі ж під час вибору цього кута φ слід враховувати, що збільшення його значення, з одного боку, сприяє заглибленню борони, а з іншого – обумовлює винос вологого ґрунту на поверхню, що небажано. Тому кінцевим етапом визначення оптимальних значень кута φ мають бути лабораторно-польові дослідження боронувальної секції за її використання в конкретних ґрунтових умовах.

Висновки. Найбільший вплив на кут α установки повідків боронувальної ланки здійснює значення відстані b між рядами її зубів. Рациональні значення цього параметра знаходяться в діапазоні 0,27–0,29 м, якому відповідає зміна кута α в межах 6 – 11° . За умови відсутності плоскорізальних елементів у робочих органах першого ряду боронувальної секції всім значенням конструкційних параметрів h , d і b відповідають менші значення кута α . З позиції зменшення габаритів цього ґрунтообробного знаряддя саме другий варіант є більш прийнятним. Тим більше що він дозволяє врахувати вплив кута φ установки сегментів на інші параметри борони.

Бібліографія

1. Bulgakov, V., Adamchuk, V., Nadykto, V., & Kyurchev, V. (2019). Influence of machine-tractor set constructoral parameters on kinematic discrepancy in tractor wheels. *Trends in Agricultural Engineering*, 81–86.
2. Adamchuk, V., Bulgakov, V., Nadykto, V., & Ivanovs, S. (2020). Investigation of tillage depth of black fallow impact upon moisture evaporation intensity. *Engineering for Rural Development*, 377–383. doi: 10.22616/ERDev2020.19.TF090.
3. Коваленко А., Малярчук М. Чорний пар – його функція та утримання. *Пропозиція*. 2013. № 6. С. 5–6.
4. Кривенко А. І. Продуктивність пшениці озимої у короткоротаційних сівозмінах з сидеральним паром залежно від систем основного

обробітку ґрунту та попередників. *Зрошуване землеробство*. 2016. Вип. 66. С. 161–164.

5. Кривенко А. І., Пчолкіна С. В. Продуктивність пшениці озимої за різних систем основного обробітку ґрунту в короткоротаційних сівозмінах із сидеральним паром. *Аграрні інновації*. 2021. № 5. С. 60–67. doi: 10.32848/agrar.innov.2021.5.10.

6. Юнусов Г. С. Особенности динамики блочно-модульных агрегатов для поверхностной обработки почвы. *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 2005. № 3. С. 28–31.

7. Коломиец А. П. Борона-культиватор ВНИС-Р на свекловичных плантациях. *Сахарная свекла*. 1974. № 3. С. 13–15.

8. Радченко А. Г. Теоретические основы послойно-ярусной обработки почвы. К. : ВНИС. 1972. 56 с.

9. Труфанов В. В. Результаты исследования зубовых борон новой конструкции. *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 1986. № 4. С. 17–19.

10. Халанский В. М., Ходаев Д. Результаты испытаний экспериментальной зубовой бороны с активными рабочими органами. *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 2005. № 11. С. 9–10.

11. Колинко П. В., Синещев В. Е. Способы борьбы с сорняками при минимизации обработки почвы. *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2014. № 1. С. 11–17.

12. Булгаков В., Черниш О., Яременко В. Теоретична і прикладна механіка. К. : ТОВ «Видавництво «Центр Навчальної літератури». 2018. 752 с.

13. Надикто В. Т., Величко О. В. Означення точки оптимуму кривої та спосіб її визначення. *Техніка і технології АПК*. 2014. № 2. С. 16–18.

14. Величко Е. В., Надикто В. Т. Определение точек оптимума двух классов двузонных функций. *Инженерный журнал: наука и инновации*. 2014. Вып. 5 (29). URL: <http://engjournal.ru/catalog/fundamentals/math/1928.html>. doi: 10.18698/2308-6033-2014-5-1298.

z syderalnym parom zalezno vid system osnovnoho obrobittku ґрунту та попередників. *Зрошуване землеробство*. 66, 161–164.

5. Kryvenko, A. I., Pcholkina, S. V. (2021). Produktivnist pshenytsi ozymoi za riznykh system osnovnoho obrobittku ґрунту v korotkorotatsiinykh sivozminakh iz syderalnym parom. *Ahrarni innovatsii*, 5, 60–67. doi: 10.32848/agrar.innov.2021.5.10.

6. YUnusov, G. S. (2005). Osobennosti dinamiki blochno-modul'nykh agregatov dlya poverlnostnoj obrabotki pochvy. *Traktory i sel'skohozyajstvennyye mashiny*, 3, 28–31.

7. Kolomiec, A. P. (1974). Borona-kul'tivator VNIS-R na sveklovichnykh plantaciyah. *Saharnaya svekla*, 3, 13–15.

8. Radchenko, A. G. (1972). Teoreticheskie osnovy poslojno-yarusnoj obrabotki pochvy. Kiev : VNIS, 56 s.

9. Trufanov, V. V. (1986). Rezultaty issledovaniya zubovyih boron novoy konstruksii. *Traktory i sel'skohozyaystvennyye mashiny*, 4, 17–19.

10. Halanskiy, V. M., Hodaey, D. (2005). Rezultaty ispyitaniy eksperimentalnoy zubovoy borony s aktivnyimi rabochimi organami. *Traktory i sel'skohozyaystvennyye mashiny*, 11, 9–10.

11. Kolinko, P. V., Sineshekov, V. E. (2014). Sposoby borby s sornyakami pri minimizatsii obrabotki pochvy. *Sibirskiy vestnik sel'skohozyaystvennoy nauki*, 1, 11–17.

12. Bulhakov, V., Chernysh, O., Yaremenko, V. (2018). Teoretychna i prykladna mekhanika. Kyiv : TOV «Vydavnytstvo «Tsentr Navchalnoi literatury». 752 s.

13. Nadykto, V. T., Velychko, O. V. (2014). Oznachennia tochky optymumu kryvoi ta sposib yii vyznachennia. *Tekhnika i tekhnolohii APK*, 2, 16–18. Velychko, E. V., Nadykto, V. T. (2014). Opredelenie tochek optimuma dvuh klasov dvuzonnykh funktsiy. *Inzhenernyy zhurnal: nauka i innovatsii*, 5 (29). Access mode: URL: <http://engjournal.ru/catalog/fundamentals/math/1928.html>. doi: [10.18698/2308-6033-2014-5-1298](https://doi.org/10.18698/2308-6033-2014-5-1298).

Bibliografiia

1. Bulgakov, V., Adamchuk, V., Nadykto, V., & Kyurchev, V. (2019). Influence of machine-tractor set constructoral parameters on kinematic discrepancy in tractor wheels. *Trends in Agricultural Engineering*, 81–86.

2. Adamchuk, V., Bulgakov, V., Nadykto, V., & Ivanovs, S. (2020). Investigation of tillage depth of black fallow impact upon moisture evaporation intensity. *Engineering for Rural Development*, 377–383. doi: 10.22616/ERDev2020.19.TF090.

3. Kovalenko, A., Maliarchuk, M. (2013). Chornyi par – yoho funktsiia ta utrymannia. *Propozytsiia*, 6, 5–6.

4. Kryvenko, A. I. (2016). Produktivnist pshenytsi ozymoi u korotkorotatsiinykh sivozminakh

References

1. Bulgakov, V., Adamchuk, V., Nadykto, V., & Kyurchev, V. (2019). Influence of machine-tractor set constructoral parameters on kinematic discrepancy in tractor wheels. *Trends in Agricultural Engineering*, 81–86 [in English].

2. Adamchuk, V., Bulgakov, V., Nadykto, V., & Ivanovs, S. (2020). Investigation of tillage depth of black fallow impact upon moisture evaporation intensity. *Engineering for Rural Development*, 377–383. doi: 10.22616/ERDev2020.19.TF090 [in English].

3. Kovalenko, A., & Malyarchuk, M. (2013). Black fallow – its function and content. *Propozytsiia*, 6, 5–6 [in Ukrainian].

4. Krivenko, A. I. (2016). Productivity of winter wheat in short-rotation crop rotations with

green manure depending on the systems of main tillage and predecessors. *Zroshuvane zemlerobstvo*, 66, 161–164 [in Ukrainian].

5. Krivenko, A. I., & Pcholkina, S. V. (2021). Productivity of winter wheat under different systems of basic tillage in short-rotation crop rotations with green manure. *Ahrarni innovatsii*, 5, 60–67. doi: 10.32848/agrar.innov.2021.5.10 [in Ukrainian].

6. Yunusov, G. S. (2005). Features of dynamics of block-modular units for surface tillage. *Traktory i selskohozyaystvennyie mashinyi*, 3, 28–31 [in Russian].

7. Kolomiets, A. P. (1974). VNIS-R harrow cultivator on beet plantations. *Saharnaya svekla*, 3, 13–15 [in Russian].

8. Radchenko, A. G. (1972). Theoretical bases of layer-by-layer tillage. Kyiv : VNIS [in Russian].

9. Trufanov, V. V. (1986). The results of the study of dental harrows of new design. *Traktory i selskohozyaystvennyie mashinyi*, 4, 17–19 [in Russian].

10. Khalansky, V. M., & Khoday, D. (2005). Results of tests of an experimental harrow with active

working bodies. *Traktory i selskohozyaystvennyie mashinyi*, 11, 9–10 [in Russian].

11. Kolinko, P. V., & Sineshchekov, V. E. (2014). Ways to control weeds while minimizing tillage. *Sibirskiy vestnik selskohozyaystvennoy nauki*, 1, 11–17 [in Russian].

12. Bulgakov, V., Chernysh, O., & Yaremenko, V. (2018). Theoretical and applied mechanics. Kyiv : TOV “Vydavnytstvo “Tsentr Navchalnoi literatury” [in Ukrainian].

13. Nadykto, V. T., & Velichko, O. V. (2014). Determination of the optimum point of the curve and the method of its determination. *Tekhnika i tekhnolohii APK*, 2, 16–18 [in Ukrainian].

14. Velichko, E. V., & Nadykto, V. T. (2014). Determination of the optimum points of two classes of two-band functions. *Inzhenernyiy zhurnal: nauka i innovatsii*, 5 (29). Retrieved from: URL: <http://engjournal.ru/catalog/fundamentals/math/1928.html>. doi: [10.18698/2308-6033-2014-5-1298](https://doi.org/10.18698/2308-6033-2014-5-1298) [in Russian].