

---

---

## ТЕХНІЧНІ НАУКИ

---

---

УДК 631.358:633.521

DOI: 10.31521/2313-092X/2019-3(103)-13

### АНАЛІТИЧНЕ ОЦІНЮВАННЯ ВЗАЄМОДІЇ ГОЛКИ ГОЛЧАСТОЇ БОРОНИ ІЗ ҐРУНТОМ

**В. О. Шейченко**, доктор технічних наук, старший науковий співробітник

**ORCID ID:** 0000-0003-2751-6181

Полтавська державна аграрна академія

**І. А. Дудніков**, кандидат технічних наук, доцент

**ORCID ID:** 0000-0002-5957-7555

Полтавська державна аграрна академія

**В. В. Шевчук**, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник

**ORCID ID:** 0000-0001-8305-4714

Уманський національний університет садівництва

**А. Я. Кузьмич**, кандидат технічних наук

**ORCID ID:** 0000-0003-3102-0840

Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства»

*Дослідження направлено на покращення якісних і енергетичних показників технологічних процесів обробітку ґрунту голковими боронами за умов їх застосування для мілкового поверхневого рихлення в природно-кліматичних зонах, які схильні до вітрової ерозії. Розроблено метод аналітичного оцінювання площинно-поверхневої та просторово-глибинної взаємодії голки голчатої борони із ґрунтом, який уможливує підвищити точність прогнозування техніко-експлуатаційних показників виконання технологічного процесу обробітку ґрунту та зменшити енергетичні витрати на його реалізацію. Встановлено залежності для оцінювання поверхнево-площинної та просторово-глибинної взаємодію голки із ґрунтом.*

**Ключові слова:** голка голчатої борони, взаємодія голки із ґрунтом, коефіцієнт поверхнево-площинної взаємодії, просторово-глибинна взаємодія.

**Постановка проблеми.** Суттєвим резервом підвищення ефективності використання земельних ресурсів, збільшення врожайності сільськогосподарських культур є скорочення термінів і значне покращення якості виконання технологічних операцій обробітку ґрунту. Відомі знаряддя із голчастими робочими органами призначені для ранньо-весняного, передпосівного і пожнивного мілкового поверхневого рихлення стерньового фону в зонах із ґрунтами, які схильні до вітрової ерозії, малопродуктивні, а підвищення швидкості їх руху призводить до різкого зниження показників якості. Існуючі голчасті борони не застосовуються в операціях досходового і післясходового боронування посівів зернових культур, оскільки їх робочі органи не прилаштовані до умов роботи на невеликих глибинах.

Саме тому, дослідження, які спрямовані на покращення якісних і енергетичних показників технологічних процесів обробітку ґрунту голчастими боронами, кут загострення голок яких може змінюватися, особливо за умов їх застосування для мілкового поверхневого рихлення ґрунтів в природно-кліматичних зонах, які схильні до вітрової ерозії, є актуальними.

Аналіз стану обробітку ґрунту голчастими боронами показав, що є підстави зробити висновок про правомірність обраних напрямків, які направлено на покращення якісних і енергетичних показників технологічних процесів обробітку ґрунту голчатыми боронами, кут загострення голок яких може змінюватися, особливо за умов їх застосування для мілкового поверхневого рихлення ґрунтів, про актуальність і доцільність проведення досліджень та

перспективності сформульованих мети і задач досліджень.

**Аналіз актуальних досліджень.** У роботах [1-13] детально розглянуто взаємодію голчастої борони з ґрунтом у разі, коли голка проколює його і здійснює рух строго вертикально. Це дещо спрощене уявлення стосовно переміщення точок голки за результатами її взаємодії з ґрунтом. Проте, за певних умов і на фазі входження голки у ґрунт і на фазі її виходу можливе існування процесів, які будуть відрізнятися від прийнятих. Саме тому, дослідження процесів взаємодії голки голчастої борони із ґрунтом за умов, коли фази входження і виходу із ґрунту розглядають в площині, яка відрізняється від загально-прийнятого уявлення (вертикальне переміщення голки на усіх фазах її переміщення у ґрунті), є досить важливим і актуальним завданням

За результатами досліджень [1-13] встановлено, що основними факторами, які впливають на визначення необхідного значення сили для заглиблення у ґрунт голок голкової борони, є: глибина  $\lambda$  занурення голки, кут тертя голки по ґрунту та кут, що характеризує конусність голки. Крім цього, сила, яка необхідна для заглиблення голки у ґрунт, залежить від твердості ґрунту, тобто від його механічного складу та вологості. Проте існуючі технології механічного обробітку ґрунту не передбачають використання голкових борін за високого значення його вологості.

**Мета дослідження** – підвищення ефективності прогнозування та оцінювання функціонування голки голчастої борони завдяки розробленню аналітичної моделі її поверхнево-площинної та просторово-глибинної взаємодії з ґрунтом.

Для досягнення поставленої мети на підставі проведеного аналізу та відповідно до мети цієї роботи сформульовано такі завдання дослідження:

– визначити особливості взаємодії голки з ґрунтом на фазах як поглиблення, так і виходу її з ґрунту;

– розробити поверхнево-площинну та глибинно-просторову аналітичну модель взаємодії голки з ґрунтом.

**Виклад основного матеріалу.** Теоретичні дослідження ґрунтуються на основних положеннях теоретичної механіки, теорії механізмів і машин, диференціального числення та математичного моделювання руху голки будь-якої форми і конструкції на різних фазах її взаємодії із ґрунтом (входження та вихід із нього).

Розглянемо взаємодію із ґрунтом точок бічної поверхні голки, за умови переміщення нижньої її точки по вертикальній осі симетрії, утвореного голкою отвору.

Диск з голками голчастою борони рухається рівномірно і прямолінійно зі швидкістю  $V_d$ . На рис. 1 наведено схему проколювання голкою ґрунту. Миттєвому положенню  $OA$  відповідає момент початку взаємодії. За умов переміщення центру диска  $O$  в положення  $O_2$ , голка заглиблюється на глибину  $y_1$ . Цьому положенню відповідає  $O_1A_1$  (рис. 2). Якщо центр диска займе положення  $O_2$ , то голка заглибиться на максимальну глибину  $y_{max}$  ( $O_2A_2$ ). За вертикального положення голки закінчується фаза входження її у ґрунт і вона розпочинає рухатися у зворотному напрямку. Відзначимо, що етап проникнення голки у ґрунт характеризується поступовим збільшенням сил опору руху голки. У положенні  $A_2$  на глибині  $y_{max}$  ці сили досягають максимального значення. Вихід голки з ґрунту (рух на ділянці  $A_2A$ ) справедливо не враховує вплив сил опору руху голки. Відзначимо, що ділянку  $OO_2$  – відстань, яку пройшов диск за час  $t_1$  дорівнює відстані  $AA_2 = y_{max} = OO_2 = V_{ot}t_1$ .

До особливостей взаємодії голки з ґрунтом на фазах як поглиблення, так і виходу її з ґрунту, слід віднести наявність приплюсностей (вм'ятин), які утворюються на поверхні ґрунту в напрямку, протилежному руху голки. У разі руху голки на фазі входження у ґрунт відмічені приплюсності виникають з боку гострого кута контакту з ґрунтом. За умов виходу голки з ґрунту приплюсності будуть виникати по іншій бік воронки, утвореної голкою. За умов проникнення у ґрунт голки у вигляді прута, воронку (отвір), утворену за результатами такої взаємодії, можливо представити як циліндр. У разі проникнення у ґрунт конусоподібної голки, фігура, утворена в результаті такої взаємодії із ґрунтом, буде представляти конус з колом в основі. Зі збільшенням глибини проникнення такої голки буде зростати площа основи конуса. За результатами спостережень в умовах реальної експлуатації взаємодія голки будь-якої форми і конструкції з ґрунтом призводить до виникнення на його поверхні фігури близької за формою до еліпса. Причому на фазі входження голки у ґрунт в напрямку, протилежному руху, утворюється напівеліпс, мала піввісь якого дорівнює радіусу конічної (циліндричної) частини голки, яка проникла у ґрунт. Велика піввісь напівеліпса залежить від параметрів голки, їх кількості на диску, глибини проникнення голки у ґрунт. Виходячи з ґрунту, голка на його поверхні залишає приплюснутості у вигляді другої частини напівеліпса. Воронка (слід), який утворює голка, представляє конус з вершиною  $A_2$ , в основі якого лежить еліпс.

Відповідно до відомих залежностей [14] та прийнятих нами припущеннями, відмітимо, що подвоєний добуток малої півосі еліпса дорівнює діаметру голки (частина голки), яка заглибилася у ґрунт. Як відомо, еліпс являє собою замкнуту фігуру на площині, яка може бути отримана як перетин площини і кругового циліндра, або як ортогональна проекція кола на площину. Коло є окремим випадком еліпса [14].

У разі вертикального положення голки ( $O_2A_2$ ) (рис. 1) площа її контакту з ґрунтом

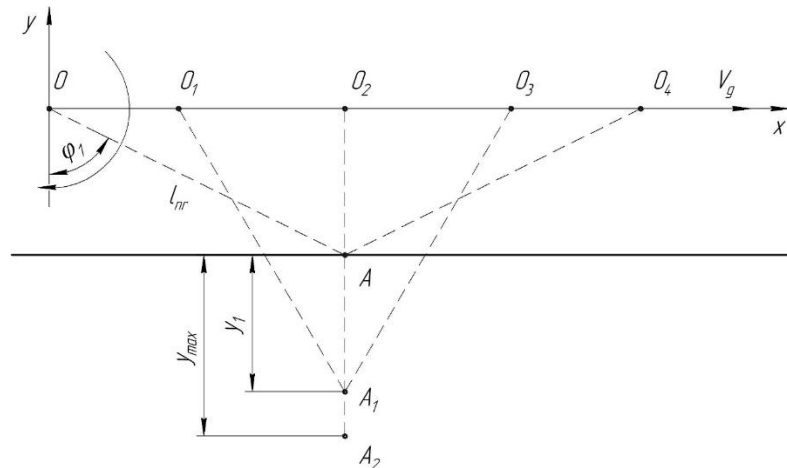


Рис. 1. Траєкторія руху голки OA за умов її взаємодії з ґрунтом

Із рис. 1 випливає, що початок контакту голки з ґрунтом характеризується моментом, коли точка A голки доторкнеться до нього. За таких умов з трикутника  $\triangle OAD$  випливає, що  $OD = l_s \cos \varphi_1$ , де  $\varphi_1$  – кут нахилу голки до ґрунту, який характеризує початку контакту голки з ним. Тоді

$$y_{max} = l_s(1 - \cos \varphi_1). \quad (1)$$

Процес взаємодії голки із ґрунтом відбувається у трьох напрямках. На поверхні ґрунту утворюється плоска фігура (коло, еліпс) і цю взаємодію можна класифікувати як поверхнево-площинну. Внаслідок проникнення голки у ґрунт по вертикальній осі симетрії отвору відбувається глибинно-просторове руйнування ґрунту. Оцінку функціональної здатності борони слід здійснювати за сумарним (інтегральним) показником, який узагальнює два види взаємодії. Поверхнево-площинне руйнування можна оцінити по площі приплюсності (фігури еліпса (кола) на поверхні ґрунту). Об'єм фігури, яка утворена у ґрунті за результатами проникнення в нього голки, є показником, який характеризує ефективність глибинно-просторової взаємодії голки з ґрунтом.

За результатами взаємодії голки, яка має круглий перетин із ґрунтом, утворюється отвір

представлятиме коло, радіус якого дорівнює радіусу зануреної в ґрунт частини голки.

Площа еліпса (отвору, утвореного за результатами проникнення голки у ґрунт), буде визначатися залежністю  $S_{пов} = \pi ab = \pi ar^2$ . На значення площі впливає як параметр  $a$ , так і характеристика голки ( $r^2$ ). У цілому, параметр  $a$  – велика піввісь еліпса залежить від характеристики голки, глибини її занурення у ґрунт.

правильної форми, в основі (на поверхні ґрунту) якого буде не коло, а еліпс.

Розглянемо випадок взаємодії конусоподібної голки з ґрунтом (конусоподібна голка складається із конусної та циліндричної частин). У ґрунт проникає тільки конусоподібна частина голки (рис.1). Як зазначалося вище, диск борони з голками здійснює складний рух. Завдяки здійсненню такого руху голки її кінець (крайня т. голки) буде постійно переміщуватися по вертикальній осі. Фазі входження голки у ґрунт (рис. 2) відповідає ліва частина: положення голки  $O_1A_1$  – початок контакту,  $O_2A_2$  – проміжне положення,  $O_3A_3$  – максимальне занурення голки у ґрунт). Фазі виходу голки із ґрунту відповідає права щодо вертикальної осі у частина малюнка:  $O_4A_4$  – проміжне положення. У вертикальному положенні  $O_3A_3$  точка  $B_3$  характеризує точку контакту голки з ґрунтом. Проникнення голки у ґрунт відбувається таким чином, що переміщення крайньої точки голки  $A_1$  здійснюється по вертикалі (вісь  $y$ ), від початку контакту т.  $A_1$  (рис. 2) до положення  $A_3$  – співпадіння осі симетрії голки і вертикальної осі  $y$ . Під час руху секції борони її голки здійснюють складний рух: поступальний зі швидкістю  $\varphi$  (центр  $O_1$ ) і обертальний з кутовою швидкістю навколо центру  $O_1$ . Початок контакту голки із ґрунтом

відбувається в момент, коли т. голки А зустрічається з ґрунтом – положення  $A_1$  (рис. 2). Після цього вісь обертання голки переміститься в положення  $O_2$ , а її нижня точка займе проміжне положення  $A_2$ . За таких умов бокова поверхня конусоподібної частини голки, деформуючи ґрунт, займе положення, яке відповідає т.  $B_2$ . Відзначимо, що траєкторія контакту точки голки з ґрунтом на межі повітря-земля буде характеризуватися такими особливостями: спочатку відбувається збільшення відстані від точки початкового контакту ( $A_3$ ) до лівої частини голки, яка проникає у ґрунт (т.  $B_2$ ); досягнувши якогось максимуму, ця відстань зменшується і за умов вертикального положення голки визначається радіусом кола конусоподібної частини голки, яка проникла у ґрунт. У вертикальному положенні голки її контакт з ґрунтом відбувається по колу, радіус якого дорівнює  $A_1B_3 = r_{гп}$ . Кут конусності голки дорівнює  $2\alpha_1$ .

Із  $\Delta A_3B_3A_1$  визначимо глибину проникнення голки у ґрунт:

$$A_1A_3 = y_{max} = r_{гп}ctg\alpha_1. \quad (2)$$

У момент початку проникнення голки у ґрунт її вісь  $O_1A_1$  нахилена до поверхні ґрунту під кутом  $\beta_1$ , а бічна поверхня –  $\varphi_1$ . Тобто  $\beta_1 = \varphi_1 + \alpha_1$ . У проміжному положенні голки  $O_2A_2$ : вісь  $O_2A_2$  нахилена до поверхні ґрунту під кутом  $\beta_2$ , а бічна поверхня відповідно –  $\varphi_2$  (рис. 2). Причому  $\beta_2 = \varphi_2 + \alpha_2$ . У вертикальному положенні вісь голки  $O_3A_3$  збігається з вертикаллю, кут  $\beta_3 = 90^\circ = \varphi_3 + \alpha_3$ , де  $\varphi_3$  – кут між бічною стороною конусної частини голки і ґрунтом в положенні максимального знаходження голки в ньому. Таким чином, кут  $\beta$  змінюється в інтервалі  $\beta_1 \geq \beta \geq \beta_3$ , або

$$\varphi_1 + \alpha_1 \leq \beta \leq \varphi_3 + \alpha_1. \quad (3)$$

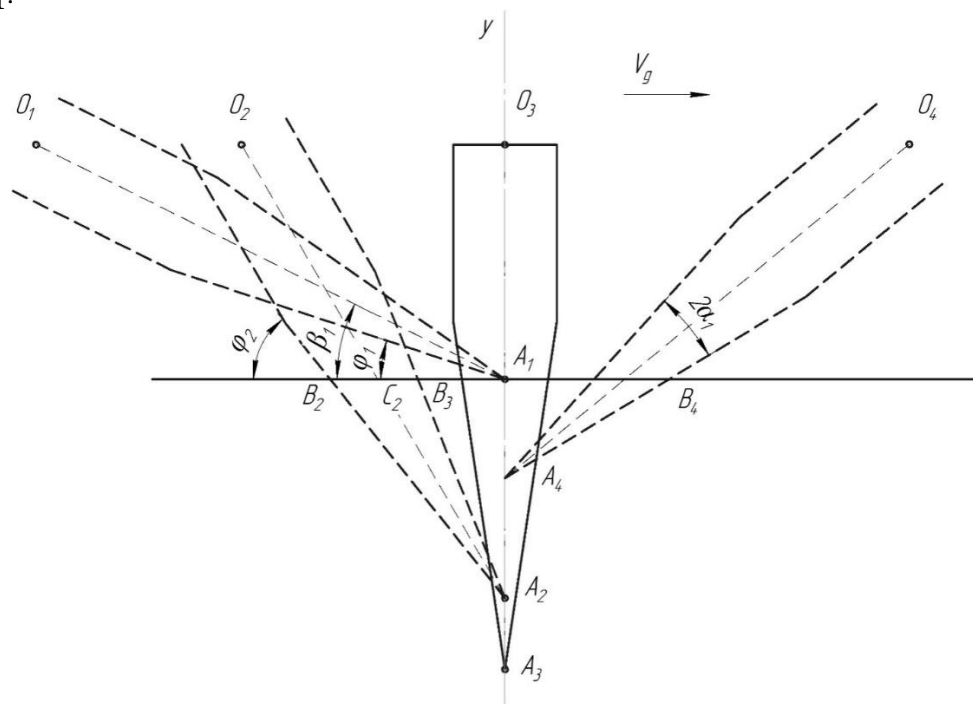


Рис. 2. Положення голки  $O_1A_1$  за умов її взаємодії з ґрунтом

Скориставшись відомим рівнянням еліпса  $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$ , та прийнявши  $b = r_{гп}$  – радіус частини голки, що занурилася у ґрунт,  $a$  – максимальна відстань від точки, що занурилася у ґрунт до положення, коли ця точка розпочинає входження у ґрунт, тобто – велика напіввісь еліпса, отримаємо

$$B_2A_1ctg(90 - \varphi_2) = C_2A_1(90 - \beta_2) \quad (4)$$

Скориставшись позначеннями, які притаманні еліпсу, отримаємо:  $B_2A_1 = a$ , і  $C_2A_1 = c$ . Тоді, у

відповідності із відомою залежністю еліпса  $a^2 = b^2 + c^2$  отримаємо:  $a^2 = (B_2A_1)^2 = b^2 + c^2 = r_{гп}^2 + c^2$ ,  $c = C_2A_1 = \frac{B_2A_1tg\varphi_2}{tg\beta_2}$ . Звідки

$$B_2A_1 = \frac{r_{гп}tg\beta_2}{\sqrt{tg^2\beta_2 - tg^2\varphi_2}}. \quad (5)$$

Враховуючи (2), залежність (5) буде мати такий вигляд

$$B_2A_1 = \frac{y_{max}tg\alpha_1tg\beta_2}{\sqrt{tg^2\beta_2 - tg^2(\beta_2 - \alpha_1)}}. \quad (6)$$

Відповідно до прийнятих припущень значення  $B_2A_1$  визначає розмір великої півосі еліпса, утвореного за результатами взаємодії голки з ґрунтом. Цей еліпс, як зазначалося вище, утворюється на межі розділу ґрунт-повітря. Параметр  $r_{ГП}$  – змінюється від 0 – положення початку контакту і до якогось значення, яке характеризує глибину проникнення голки у ґрунт. Кут  $\beta_2$  змінюється згідно з (3).

У момент проникнення голки на найбільшу глибину (положення вертикальної осі співпадає із  $O_3A_3$ ), площа її контакту представляє собою площу кола радіусом  $r_{ГП}$ .

Визначимо площу еліпса – площу фігури, яку утворила голка за результатами проникнення у ґрунт як

$$S_{ел} = \pi ab = \pi \frac{y_{max}^2 tg^2 \alpha_1 tg \beta_2}{\sqrt{tg^2 \beta_2 - tg^2 (\beta_2 - \alpha_1)}} \quad (7)$$

Змінення площі, що утворилася на поверхні ґрунту, оцінимо показником різниці площ еліпса та кола з радіусом  $r_{ГП}$ :

$$S_{ПП} = S_{ел} - S_K = \pi \frac{r_{ГП}^2 tg \beta_2}{\sqrt{tg^2 \beta_2 - tg^2 \varphi_2}} - \pi r_{ГП}^2 \pi y_{max}^2 tg^2 \alpha_1 \left( \frac{tg \beta_2}{\sqrt{tg^2 \beta_2 - tg^2 \varphi_2}} - 1 \right). \quad (8)$$

$$\text{Прийнявши за } k_{ПП} = \frac{tg \beta_2}{\sqrt{tg^2 \beta_2 - tg^2 \varphi_2}} - 1, \quad (9)$$

де  $k_{ПП}$  – коефіцієнт оцінювання поверхнево-площинної взаємодії голки із ґрунтом, вираз (8) прийме вигляд:

$$S_{ПП} = \pi y_{max}^2 tg^2 \alpha_1 k_{ПП}. \quad (10)$$

Просторово-глибинну взаємодію голки із ґрунтом оцінимо за показником змінення об'єму фігур, які утворилися за результатами проникнення голки у ґрунт.

$$V_{ПГ} = V_{КЕ} - V_{КО} = \frac{1}{3} \pi y_{max}^3 tg^2 \alpha_1 k_{ПП} = V_{КО} k_{ПП}, \quad (11)$$

де  $V_{ПГ}$ ,  $V_{КЕ}$ ,  $V_{КО}$  – змінення об'єму, об'єм конуса з основою еліпса та об'єм конуса з колом у основі, відповідно.

На рис. 3-5 наведено графічні залежності, що побудовано за (5) і (6) для кутів загострення голки  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$  за умов їх занурення у ґрунт на 4, 6, 8 та 10 см відповідно. На рис.3 наведено залежності параметра великої півосі еліпса, утвореного за результатом взаємодії голки із ґрунтом від кута нахилу вісі голки до поверхні ґрунту. Область визначення цього кута встановлено (3). Встановлені залежності мають нелінійний характер змінення параметра довжини півосі еліпса для усіх розглянутих варіантів глибин занурення голок. Від початку контакту голки із

ґрунтом відбувається поступове збільшення параметра  $a$ . Максимальне значення параметра  $a$  складає для голки с кутом загострення  $30^\circ$  за умов заглиблення на  $y_{max} = 4$  см за кута  $52-53^\circ$  –  $a=1,3$ см, заглиблення на 6см –  $a=1,99$ см, заглиблення на 8 см –  $a=2,7$ см, 10 см –  $a=3,3$ см. За умов, коли голка досягне вертикального положення (найбільша глибина занурення), а кут  $\beta_2 = 90^\circ$ , параметр  $a$  буде дорівнювати  $a = r_{ГП}$  – радіусу зануреної у ґрунт частини голки. Збільшення кута загострення голки призводить до відповідного зростання значення кута нахилу осі голки до горизонту, за якого точка контакту бічної поверхні голки найбільш віддалена від вертикальної осі заглиблення голки у ґрунт. Так для  $\alpha_1 = 30^\circ$ ,  $\alpha_1=30^\circ$ ,  $\beta_2 = 52 - 53^\circ$ , для  $\alpha_1 = 45^\circ$ ,  $\beta_2 = 56^\circ$ , для  $\alpha_1 = 60^\circ$ ,  $\beta_2 = 60^\circ$ .

Відмітимо, що у порівнянні із загально прийнятим підходом, за яким конус з колом у його основі на поверхні ґрунту розглядали як результат взаємодії голки із ґрунтом (фази входження та виходу голки із ґрунту відбуваються по її центральній осі), згідно з розробленим методом встановлено збільшення як площі контакту голки на поверхні ґрунту, так і об'єму фігури (конус із еліпсом в основі) за глибинно-просторової картини їх взаємодії. Для кута загострення  $30^\circ$  у порівнянні із радіусом частини заглибленої у ґрунт голки найбільше значення параметра  $a$  – велика піввісь еліпса збільшилося на 24% для усіх глибин заглиблення; для кута загострення  $45^\circ$  на 11,7%, для кута загострення голки  $60^\circ$  на 6% відповідно. Збільшення площі для цього розміру голки складало на глибині  $y_{max} = 4$ см – на 31%, на  $y_{max} = 6$ см – на 47%, на  $y_{max} = 8$ см – на 67%, на  $y_{max} = 10$ см – на 78% (рис. 4).

Найбільше значення площі фігури (еліпса), що утворюється на поверхні ґрунту за результатом взаємодії голки із ґрунтом, складало (рис. 4, а. б): для голки з кутом загострення  $30^\circ$  за  $y_{max} = 4$ см –  $16,7$ см<sup>2</sup>, за  $y_{max} = 6$ см – площа складала  $37,5$ см<sup>2</sup>, за  $y_{max} = 8$ см – площа складала  $66,7$ см<sup>2</sup>,  $y_{max} = 10$ см –  $104,1$ см<sup>2</sup> відповідно. Для голки з кутом загострення  $45^\circ$  для  $y_{max} = 8$ см – площа еліпса складала  $93,1$ см<sup>2</sup>, для голки з кутом загострення  $60^\circ$  за  $y_{max} = 8$ см –  $123,1$ см<sup>2</sup> відповідно. Аналізуючи змінення площі еліпса у порівнянні із площею кола відмітимо, що для кута загострення  $30^\circ$  для усіх глибин занурення голки у ґрунт вона збільшилася у 3,6 рази, для голки з кутом загострення  $45^\circ$  за  $y_{max} = 8$ см площа еліпса більша, ніж площа кола у 1,7 рази, для голки з кутом загострення  $60^\circ$  за  $y_{max} = 8$ см на 85%. Збільшення глибини проникнення голки у ґрунт призводить до відповідного зростання

параметра  $a$ , площі еліпса на поверхні ґрунту та об'єму фігури, що утворюється за результатом взаємодії голки і ґрунту (рис.5, а, б).

Найбільше збільшення різниць об'єму встановлено: для голки з кутом загострення  $30^\circ$  за  $u_{max} = 8\text{ см}$  – на  $9,1\text{ см}^3$ , для голки з кутом загострення  $45^\circ$  за  $u_{max} = 8\text{ см}$  – на  $10,8\text{ см}^3$ , для голки з кутом загострення  $60^\circ$  за  $u_{max} = 8\text{ см}$  – на  $10,8$ . Відмітимо, що однакове значення збільшення об'єму еліпсу відбулося за різних

значень кута  $\beta_2$ . Для голки з кутом загострення  $45^\circ$  цей кут становив  $55^\circ$ , для голки з кутом загострення  $60^\circ$  –  $\beta_2 = 60^\circ$ .

Збільшення глибини заглиблення голки у ґрунт призводить до відповідного зростання об'єму, що утворюється внаслідок її контакту. За умов заглиблення голки з кутом загострення  $30^\circ$  від 4 до 10 см об'єм зростає у 2,8 рази, а від 4 до 8 см у 1,4 рази.

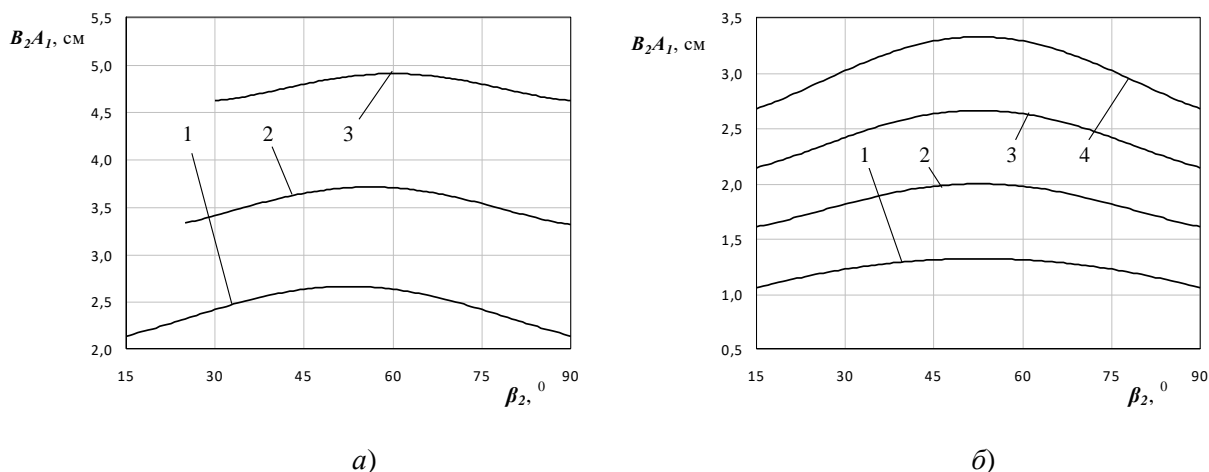


Рис. 3. Залежності параметра великої півосі еліпса, утвореного за результатом взаємодії голки із ґрунтом, від кута нахилу вісі голки до поверхні ґрунту: а) для кутів загострення голки 1 –  $30^\circ$ , 2 –  $45^\circ$ , 3 –  $60^\circ$  за умови її занурення на 8 см; б) для кута загострення голки  $30^\circ$  за умови її занурення на 1 – 4 см, 2 – 6 см, 3 – 8 см, 4 – 10 см

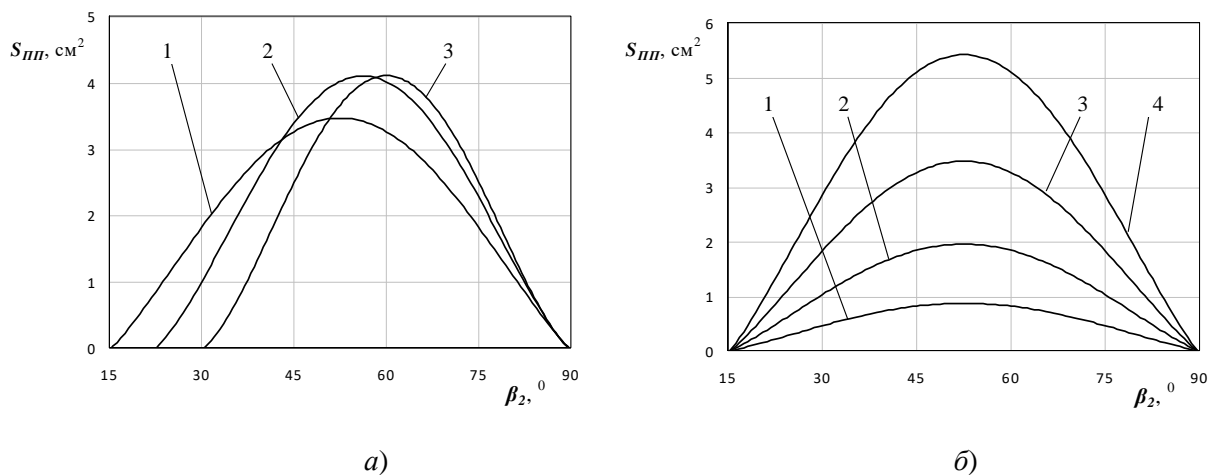
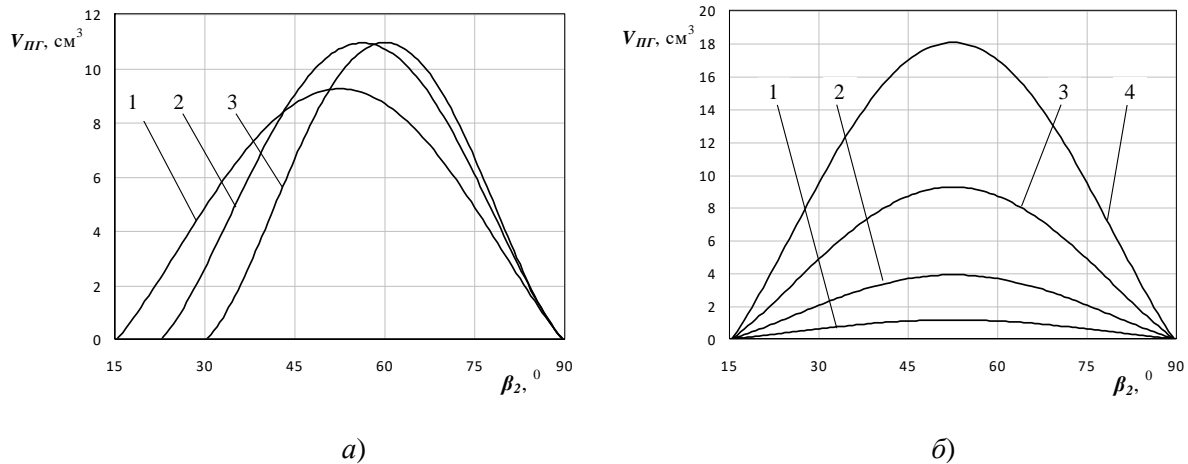


Рис. 4. Залежності змінення поверхнево-площинної картини взаємодії (змінення площі еліпса) голки із ґрунтом від кута нахилу вісі голки до поверхні ґрунту: а) для кутів загострення голки 1 –  $30^\circ$ , 2 –  $45^\circ$ , 3 –  $60^\circ$  за умови її занурення на 8 см; б) для кута загострення голки  $30^\circ$  за умови її занурення на 1 – 4 см, 2 – 6 см, 3 – 8 см, 4 – 10 см



**Рис. 5.** Залежності змінення просторово-глибинної картини взаємодії (змінення об'єму) голки із ґрунтом від кута нахилу вісі голки до поверхні ґрунту: *а)* для кутів загострення голки 1 – 30°, 2 – 45°, 3 – 60° за умови її занурення на 8 см; *б)* для кута загострення голки 30° за умови її занурення на 1 – 4 см, 2 – 6 см, 3 – 8 см, 4 – 10 см

Встановлено, що взаємодія голки будь-якої форми і конструкції з ґрунтом призводить до виникнення на його поверхні фігури, близької за формою до еліпса. Причому на фазі входження голки у ґрунт у напрямку протилежному руху утворюється півеліпс, мала піввісь якого дорівнює радіусу конічної (циліндричної) частини голки, що проникла у ґрунт. Велика піввісь півеліпса залежить від параметрів голки, їх кількості на диску, глибини проникнення голки у ґрунт. На фазі виходу із ґрунту голка на його поверхні залишає приплюснутості у вигляді другої частини півеліпса. Воронка (слід), який утворює голка, представляє конус з вершиною, в основі якого лежить еліпс.

#### Висновки.

1. Розроблено метод аналітичного оцінювання площинно-поверхневої та просторово-глибинної взаємодії голки голчатої борони із ґрунтом, який уможливорює підвищити точність прогнозування техніко-експлуатаційних показників виконання технологічного процесу обробітку ґрунту та зменшити енергетичні витрати на його реалізацію. Метод створює передумови на покращення якісних і енергетичних показників технологічних процесів обробітку ґрунту голчатыми боронами, особливо за умов їх застосування для мілкового поверхневого рихлення ґрунтів у природно-кліматичних зонах, які схильні до вітрової ерозії.

2. Встановлено, що збільшення кута загострення голки призводить до відповідного

зростання значення кута нахилу її осі до горизонту, за якого точка контакту бічної поверхні найбільш віддалена від вертикальної осі заглиблення голки у ґрунт. Так для кута загострення голки  $\alpha_1 = 30^\circ$  кут нахилу її осі до горизонту складав  $\beta_2 = 52 - 53^\circ$ , для  $\alpha_1 = 45^\circ - \beta_2 = 56^\circ$ , для  $\alpha_1 = 60^\circ, \beta_2 = 60^\circ$  відповідно.

3. За результатами аналізу поверхнево-площинної картини взаємодії голки із ґрунтом встановлено, що велика піввісь еліпса у порівнянні із радіусом конічної (циліндричної) частини заглибленої у ґрунт голки, що має кут загострення  $30^\circ$ , збільшилося на 24%, з кутом загострення  $45^\circ$  на 11,7%, з кутом загострення голки  $60^\circ$  на 6% відповідно. Збільшення площі для цього розміру голок складало на глибині  $u_{max} = 4$  см – на 31%, на  $u_{max} = 6$  см – на 47%, на  $u_{max} = 8$  см – на 67%, на  $u_{max} = 10$  см – на 78% відповідно.

4. Збільшення глибини заглиблення голки призводить до відповідного зростання об'єму, що утворюється внаслідок її контакту із ґрунтом. За умов заглиблення голки з кутом загострення  $30^\circ$  від 4 до 10 см об'єм зростає у 2,8 рази, а від 4 до 8 см у 1,4 рази. За умов заглиблення голки на  $u_{max} = 8$  см найбільше збільшення різниць об'єму встановлено за кута її загострення  $30^\circ$  – на  $9,1 \text{ см}^3$ , кута  $45^\circ$  – на  $10,8 \text{ см}^3$ , кута  $60^\circ$  – на  $10,8 \text{ см}^3$  відповідно.

#### Список використаних джерел:

1. Хайлис Г., Шевчук В., Толстушко Н. К расчету сил, действующих на иглы игольчатой бороны. *Сільськогосподарські машини: зб. наук. статей.* 2012. Вип. 23. С. 136–140.

2. Хайлис Г., Ковалев Н., Толстушко Н., Шевчук В. Анализ работы игл игольчатой бороны при их качении по почве. *Тракторы и сельхозмашины*. 2014. № 5. С. 25–29.
3. Кравчук В., Хайліс Г., Шевчук В. О качении дисков игольчатой бороны при перемещении по поверхности почвы. *Техніка і технологія АПК*. 2011. № 10. С. 23–25.
4. Хайлис Г., Ковалев Н., Талах Л., Шевчук В. О прокальвании почвы иглами игольчатой бороны. *Достижения науки и техники АПК*. 2014. № 1. С. 60–62.
5. Шевчук В.В. Обґрунтування параметрів та режимів роботи голчатої бороны : дис. ... канд. техн. наук : 05.05.11. Львів, 2015. 157 с.
6. Ветохин В.И. Системные и физико-механические основы проектирования рыхлителей почвы. дис. ... д-ра. техн. наук : 05.05.11 / Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», ОАО «Научно-исследовательский институт сельскохозяйственного машиностроения им. В. П. Горячкина» ОАО «ВИСХОМ». Киев, Москва. 2010. 284 с.
7. Экспериментальные исследования игольчатой бороны / В.А. Шейченко, Г.А. Хайлис, В.В. Шевчук, И.А. Дудников, А.С. Пушка. Saarbrücken, Germany. : LAP LAMBERT Academic Publishing, 2017. 163 с.
8. Dehondt lance sa nouvelle attacheuse de lin//Le courrier cauchois. Vendredi 27 juin 2008. P. 5–6.
9. Заїка П.М. Теорія сільськогосподарських машин. Т. 1 (частина 1). Машини та знаряддя для обробітку ґрунту. Харків. ОКО. 2001. 444 с.
10. Кушнарєв С.А. Обоснование энергосберегающего технологического процесса обработки почвы и параметров упругих рабочих органов для условий южной степной зоны Украины : дис. ... канд.техн. наук : 05.05.11 / ИМЭСХ УААН. Глеваха, 1998. 194 с.
11. Свірень М.О. Науково-технологічні основи підвищення ефективності роботи висівних апаратів посівних машин : автореф. дис. ... докт. техн. наук. : 05.05.11. Кіровоград, 2012, 36 с.
12. Камбулов С.И., Божко И.В., Пархоменко Г.Г., Громаков А.В., Максименко В.А. Экспериментальная установка для исследования почвообрабатывающих рабочих органов. *Тракторы и сельхозмашины*. 2017. №6. С. 37–42.
13. Пономарев А.В. Параметры ротационной бороны для поверхностной обработки почвы в приствольных зонах плодовых деревьев: дис. ... канд.техн. наук : 05.20.01 / ФГБНУ "АНЦ "ДОНСКОЙ". Черноград, 2018. 131 с.
14. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике (для научных работников и инженеров). Москва: Наука, 1977. 830 с.

### **В. А. Шейченко, И. А. Дудников, В. В. Шевчук, А. Я. Кузьмич. Аналитическая оценка взаимодействия иглы игольчатой бороны с почвой**

*Исследование направлено на улучшение качественных и энергетических показателей технологических процессов обработки почвы игольчатыми боронами в условиях их применения для мелкого поверхностного рыхления в природно-климатических зонах, подверженных ветровой эрозии. Разработан метод аналитической оценки плоско-поверхностного и пространственно-глубинного взаимодействия иглы игольчатой бороны с грунтом, который позволяет повысить точность прогнозирования технико-эксплуатационных показателей выполнения технологического процесса обработки почвы и уменьшить энергетические затраты на его реализацию. Установлены зависимости для оценки плоско-поверхностного и пространственно-глубинного взаимодействия иглы с грунтом.*

**Ключевые слова:** *игла игольчатой бороны, взаимодействие иглы с почвой, коэффициент плоско-поверхностного взаимодействия, пространственно-глубинное взаимодействие.*

### **V. Sheichenko, I. Dudnikov, V. Shevchuk, A. Kuzmich. The analytical assessment of the needle harrow interaction with the soil**

*The study is aimed at improving the quality and energy indicators of technological processes of soil treatment with needle harrows in the conditions of their application for shallow surface loosening in natural and climatic zones susceptible to wind erosion. A method has developed for the analytical assessment of the plane-surface and spatial-depth interaction of a needle harrow with the soil, which allows increase the accuracy of forecasting technical and operational indicators of the technological process of soil cultivation and reduce energy costs for its implementation. Dependencies are established for evaluating the surface-plane and spatial-depth interaction of the needle with the soil.*

**Keywords:** *needle of a harrow, interaction of the needle with the soil, coefficient of surface-plane interaction, spatial-depth interaction.*