

## **АНАЛІТИЧНА МОДЕЛЬ УСТАНОВКИ ГРУНТООБРОБНИХ СФЕРИЧНИХ ДИСКІВ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ТА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК**

***С. Ф. Пилипака, доктор технічних наук  
Національний університет біоресурсів і  
природокористування України***

***М. Б. Клендій, кандидат технічних наук  
ВП НУБіП України „Бережанський агротехнічний інститут”***

**Анотація.** *Складено аналітичну модель установки сферичних дисків в декартовій системі координат із прийнятим рухом агрегату вздовж осі ОУ. За заданими розмірами дисків і кутами атаки і крену визначається їх положення та смуга обробленого ґрунту. Відповідно до агротехнічних вимог визначаються кути установки та заточки дисків.*

**Ключові слова:** *сферичний ґрунтообробний диск, напрям руху агрегата, рівняння поверхні диска, кути установки*

**Постановка проблеми.** Конструктивні параметри диска та кути його установки впливають на технологічний процес роботи агрегату (обертання і кришіння ґрунту, перерізання пожнивних решток, перемішування їх із ґрунтом, ширина захвату диска тощо). Від відстані між дисками, їх конструктивними параметрами та кутами установки залежить форма профілю обробленої смуги ґрунту та висота гребенів. Кожен параметр має певний вплив на перебіг технологічного процесу. Наприклад, збільшення кута атаки веде до покращення перемішування ґрунту з пожнивними рештками, збільшення ширини захвату дисків, проте може знижуватися кутова швидкість обертання за рахунок волочіння диска і, як наслідок, забивання міждискowego простору ґрунтом і пожнивними рештками. При вертикально встановлених дисках ґрунт сприймає в основному деформації відриву і зсуву, піднімається на невелику висоту, внаслідок чого недостатньо перемішується із пожнивними рештками. При відхиленні площини леза диска від вертикального напрямку на так званий кут крену перемішування покращується, однак до певної межі зростання цього кута. Зміна одного із конструктивних параметрів диска (його діаметра та радіуса сфери) або кутів установки веде до зміни форми профілю оброблюваної смуги. В зв'язку із цим доцільно мати математичну модель поверхні диска із кутами установки, у яку закладені конструктивні та геометричні

© С. Ф. Пилипака, М. Б. Клендій, 2016

параметри і зміна кожного з яких дає можливість наочно визначати як профіль оброблюваної смуги в масштабі, так і оптимізувати положення дисків.

**Аналіз останніх досліджень.** Проектування і розрахунок дискових ґрунтообробних знарядь ґрунтовно розглянуто в праці [1] та інших, більш ранніх виданнях [2, 3].

Є праці, цілком присвячені розгляду цього питання [4–6].

У працях більш вузького спрямування досліджуються різні аспекти покращення якості обробітку ґрунту такими знаряддями [7–9]. Перспективи подальшого удосконалення дискових та інших ґрунтообробних знарядь розглянуто в праці [10].

**Мета досліджень.** Розробити аналітичну модель розташування сферичних дисків у просторовій системі координат при заданому русі агрегату вздовж однієї із осей.

**Результати досліджень.** Опишемо початкове положення сфери параметричними рівняннями, взявши при цьому за вісь обертання координатну вісь  $OX$ , яка є паралельною до горизонтальної площини, тобто до поверхні поля:

$$\begin{aligned} X_0 &= R \cos u; \\ Y_0 &= R \sin u \sin v; \\ Z_0 &= R \sin u \cos v, \end{aligned} \quad (1)$$

де:  $v$  і  $u$  – незалежні змінні поверхні, причому  $v$  – кут повороту поточної точки сфери навколо осі  $OX$  вздовж паралелі ( $v=0\dots 2\pi$ );  $u$  – дугова координата цієї точки вздовж меридіана, у якій відлік починається від точки перетину осі  $OX$  із поверхнею сфери.

Внутрішня поверхня сферичного диска характеризується двома конструктивними параметрами – діаметром  $D$  і радіусом сфери  $R$  (рис. 1, а), які пов'язані між собою залежністю:

$$D = 2R \sin \sigma, \quad (2)$$

де:  $\sigma$  – половина кута при вершині сектора  $AOB$  (рис. 1, а).

Звідси випливає, що змінна  $u$  у рівняннях (1) змінюється в межах  $u=0\dots\sigma$ . На рис. 1, б за рівняннями (1) побудовано відсік сфери при  $R=0,5$  і  $\sigma=36^\circ$ .

Початок координат розміщено в центрі кола, яке є периферією диска.

При такому розташуванні диска кут атаки  $\alpha$  і кут відхилення від вертикалі  $\beta$  дорівнюють нулю.

Для орієнтації диска в потрібному положенні потрібно параметричні рівняння (1) змінити таким чином, щоб вони враховували його поворот на задані кути  $\alpha$  і  $\beta$ .

Для такого повороту зручно використати сферу одиничного радіуса (рис. 2).

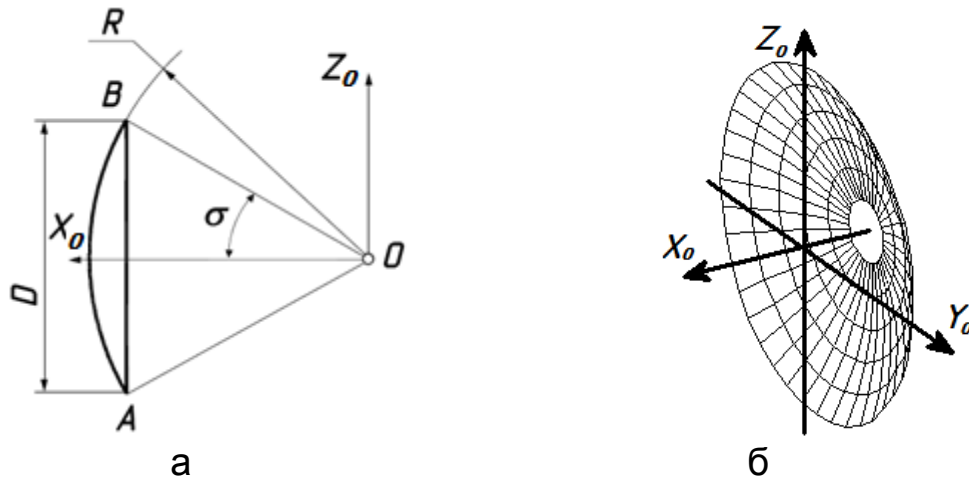


Рис. 1. Схема диска: – а) та його поверхня, побудована за рівняннями (1) – б).

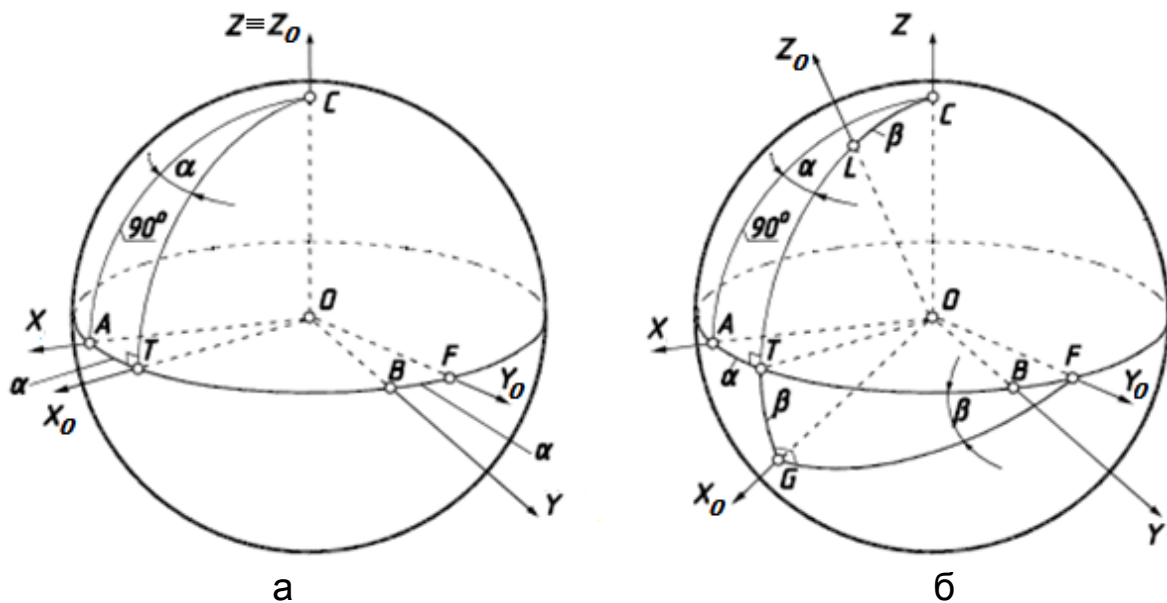


Рис. 2. Сфера одиничного радіуса із послідовністю поворотів системи координат із початкового положення  $OXYZ$  у кінцеве  $OX_0Y_0Z_0$  на кути атаки  $\alpha$  і крену  $\beta$ : а) перший поворот здійснено навколо осі  $OZ$  на кут атаки  $\alpha$ ; б) другий поворот здійснено навколо осі  $OY_0$  на кут крену  $\beta$ .

В початковому положенні площина леза диска розташована у вертикальній площині  $OY_0Z_0$  (рис. 1, б), тобто кути атаки  $\alpha$  і крену  $\beta$  відсутні. Розташуємо нашу систему координат із поверхнею диска в нову систему  $OXYZ$ , по відношенню до якої будемо робити поворот диска. В початковому положенні їх осі збігаються. Повернемо систему навколо осі  $OZ$  на кут атаки  $\alpha$  (рис. 2, а). Після цього утвориться прямокутний сферичний трикутник  $CAT$  з прямим кутом у вершині  $T$ , який нам буде потрібен в подальших розрахунках, а система займе нове положення  $OX_0Y_0Z_0$ , у якої осі проходять через

точки  $T$ ,  $F$  і  $C$  на поверхні сфери. Другий поворот здійснимо навколо осі  $OY_0$  на кут крену  $\beta$  (рис. 2, б). При цьому утворюється ще один прямокутний сферичний трикутник  $TGF$  із прямим кутом у вершині  $G$ . Система координат із диском займає остаточне положення  $OX_0Y_0Z_0$ , у якої осі проходять через точки  $G$ ,  $F$  і  $L$  на поверхні сфери.

Наступний етап – спроекціювати повернуту систему  $OX_0Y_0Z_0$  разом із поверхнею диска на нерухому систему  $OXYZ$ . Це зводиться до знаходження проєкцій одиничних відрізків  $OG$ ,  $OF$  і  $OL$ , що належать осям  $OX_0$ ,  $OY_0$  і  $OZ_0$  (рис. 2, б), на нерухому систему координат, тобто потрібно кожен із перерахованих відрізків спроекціювати на три осі  $OX$ ,  $OY$  і  $OZ$ . Для цього нам потрібно знати кути, які утворює кожен відрізок з трьома осями. В цьому випадку зручно використати одержані прямокутні сферичні трикутники та формули сферичної тригонометрії.

Проєкціювання розпочнемо із відрізка  $OG$ . Відрізок  $OA$  на осі  $OX$ , здійснивши два повороти на кути  $\alpha$  і  $\beta$ , послідовно зайняв положення  $OT$  і  $OG$  (рис. 2, б). При цьому утворився сферичний прямокутний трикутник  $ATG$  з прямим кутом у вершині  $T$  (гіпотенуза  $AG$  на рис 2,б не показана). Обов'язковою умовою побудови сферичного трикутника є утворення його дугами великих кіл (тобто кіл, утворених перетином сфери площиною, яка проходить через її центр). Для таких трикутників є характерним те, що не тільки вершини, а і сторони вимірюються кутами. Вершина задає двогранний кут між площинами, що проходять через радіус-вектор сфери, а сторона – центральний кут між радіус-векторами. Для знаходження невідомого кута сферичного трикутника за заданими іншими існують відповідні формули [11]. Розглянемо детальніше сферичний прямокутний трикутник, показаний на рис. 3, а.

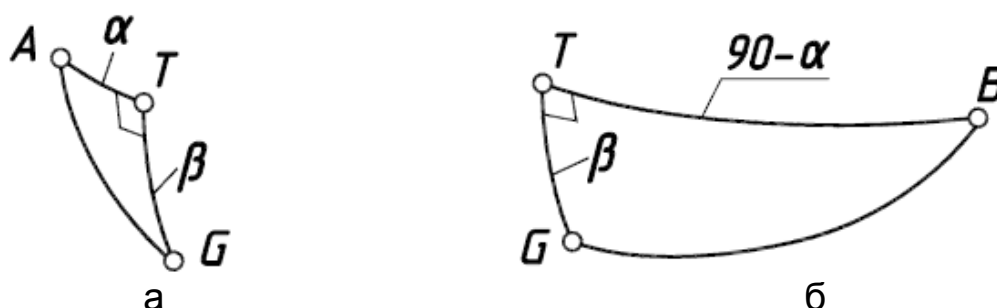


Рис. 3. Сферичні прямокутні трикутники, утворені послідовним поворотом системи  $OX_0Y_0Z_0$  на кути атаки  $\alpha$  і крену  $\beta$  (рис. 2): а) трикутник для визначення кута між осями  $OX_0$  і  $OX$ ; б) трикутник для визначення кута між осями  $OX_0$  і  $OY$ .

Із нього нам потрібно визначити кут між осями  $OX_0$  і  $OX$ , якому відповідає дуга  $AG$  – гіпотенуза прямокутного сферичного трикутника  $AGT$ . Цей кут визначається за теоремою Піфагора для

прямокутних сферичних трикутників, згідно якої косинус гіпотенузи рівний добутку косинусів катетів. Отже, можна записати:

$$\cos AG = \cos \alpha \cos \beta . \quad (3)$$

Кутові між осями  $OX_0$  і  $OY$  (рис. 2, б) відповідає дуга  $GB$  сферичного трикутника  $GBT$  (рис. 3,б). Застосувавши теорему Піфагора до трикутника  $GBT$ , отримаємо:

$$\cos GB = \cos(90^\circ - \alpha) \cos \beta = \sin \alpha \cos \beta . \quad (4)$$

Нарешті, кутові між осями  $OX_0$  і  $OZ$  відповідає дуга  $CG$  (рис. 2, б), яку можна записати сумою двох дуг:  $CG=CT+TG=90^\circ+\beta$ . Звідси визначимо косинус потрібного кута:

$$\cos CG = \cos(90^\circ + \beta) = -\sin \beta . \quad (5)$$

Вирази (3), (4), (5) є напрямними косинусами або проекціями одиничного вектора  $OG$ , що належить осі  $OX_0$ , на осі нерухомої системи координат. Координата  $X_0$  поточної точки на поверхні диска після його повороту на кути  $\alpha$  і  $\beta$  запишеться в проекціях на осі нерухомої системи  $OXYZ$  наступним чином:

$$\{X_0 \cos \alpha \cos \beta; \quad X_0 \sin \alpha \cos \beta; \quad -X_0 \sin \beta\}. \quad (6)$$

Аналогічно можна знайти проекції координат  $Y_0$  і  $Z_0$  точки на поверхні диска (наводимо готовий результат):

$$\{-Y_0 \sin \alpha; \quad Y_0 \cos \alpha; \quad 0\}. \quad (7)$$

$$\{Z_0 \cos \alpha \sin \beta; \quad Z_0 \sin \alpha \sin \beta; \quad Z_0 \cos \beta\}. \quad (8)$$

Сумуючи проекції (6), (7), (8) на відповідні осі нерухомої системи координат  $OXYZ$ , отримаємо:

$$\begin{aligned} X &= X_0 \cos \alpha \cos \beta - Y_0 \sin \alpha + Z_0 \cos \alpha \sin \beta; \\ Y &= X_0 \sin \alpha \cos \beta + Y_0 \cos \alpha + Z_0 \sin \alpha \sin \beta; \\ Z &= -X_0 \sin \beta + Z_0 \cos \beta. \end{aligned} \quad (9)$$

Підставимо координати (1) поточної точки поверхні диска у (9) і отримаємо параметричні рівняння сегменту сфери, повернутого на кути  $\alpha$  і  $\beta$  по відношенню до нерухомої системи координат  $OXYZ$ :

$$\begin{aligned} X &= R(\cos u \cos \alpha \cos \beta - \sin u \sin v \sin \alpha + \sin u \cos v \cos \alpha \sin \beta); \\ Y &= R(\cos u \sin \alpha \cos \beta + \sin u \sin v \cos \alpha + \sin u \cos v \sin \alpha \sin \beta); \\ Z &= R(-\cos u \sin \beta + \sin u \cos v \cos \beta). \end{aligned} \quad (10)$$

За рівняннями (10) можна будувати внутрішню (робочу) поверхню диска у вигляді сегменту сфери, повернутого на задані кути  $\alpha$  і  $\beta$ . На рис. 4 за рівняннями (10) в проекціях побудовано сегмент, зображений на рис. 1, б, з різними комбінаціями кутів  $\alpha$  і  $\beta$ . Для наочності зовнішня (не робоча) поверхня диска показана затемненою. На рис. 5 також у проекціях побудовано групу дисків із заданим інтервалом зміщення вздовж осі  $OX$ . Фронтальна проекція дає уявлення про форму поперечного перерізу обробленої смуги

ґрунту та про висоту гребенів у масштабі, оскільки всі побудови здійснюються за заданими чисельними значеннями конструктивних параметрів диска та кутів  $\alpha$  і  $\beta$ .

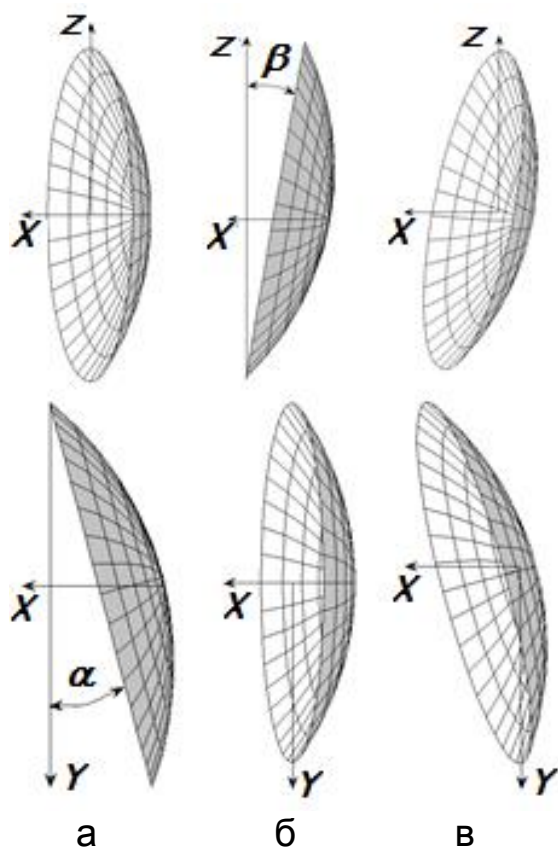


Рис. 4. Внутрішня поверхня диска у вигляді сегмента сфери при  $R=0,5$  і  $\sigma=36^\circ$ : а)  $\alpha=15^\circ$ ,  $\beta=0^\circ$ ; б)  $\alpha=0^\circ$ ,  $\beta=10^\circ$ ; в)  $\alpha=15^\circ$ ,  $\beta=10^\circ$ .

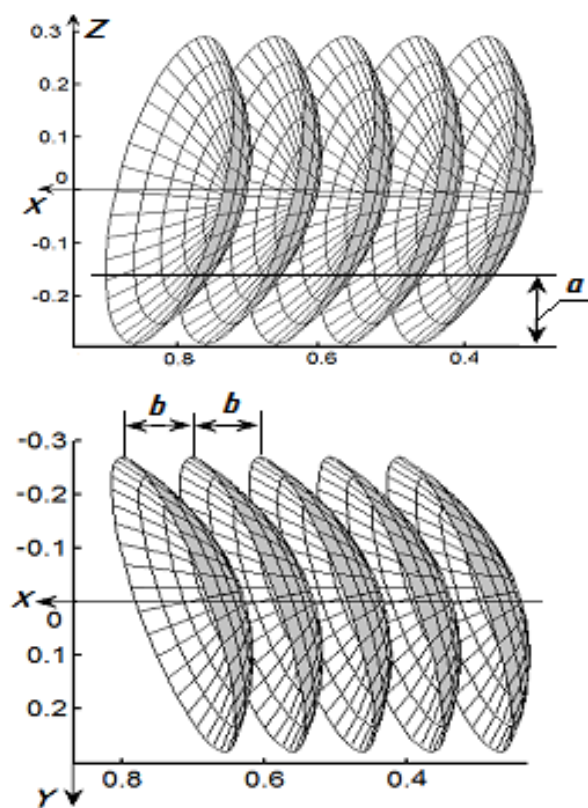


Рис. 5. Розташування дисків при  $\alpha=15^\circ$ ,  $\beta=10^\circ$  із зміщенням вздовж осі  $OX$  на величину  $b=0,1$ .

При такому розташуванні дисків, як показано на рис. 5, знаряддя працюватиме незадовільно. На фронтальній проекції тильну частину диска показано затемненою. Саме вона буде спиратися на ґрунт, зминатиме його і заважатиме заглибленню диска або ж сприятиме викоченню його на поверхню поля. Тому важливо диски розташувати так, щоб в межах глибини обробітку  $a$  на фронтальній проекції не було тильної частини дисків. При незмінних конструктивних параметрах диска цього можна досягти за рахунок збільшення кута атаки  $\alpha$ . Наприклад, збільшивши кут атаки з  $\alpha=15^\circ$  до  $\alpha=25^\circ$ , ми позбуваємося в межах глибини обробітку  $a$  зображення тильної сторони диска на фронтальній проекції (рис. 6), що не заважатиме заглибленню диска в ґрунт. За рахунок збільшення кута атаки зменшується висота гребенів. Це дозволяє збільшити відстань  $b$  між дисками. Якщо на рис. 5  $b=0,1$ , то після збільшення кута атаки  $\alpha$  від  $15^\circ$  до  $25^\circ$  відстань  $b$  ми збільшили майже в два рази – до  $0,18$ .

На рис. 5 на горизонтальній проекції диски розташовані на лінії, перпендикулярній руху агрегату. Однак їх можна змістити один відносно сусіднього на певну величину вздовж осі  $OY$ , тобто вздовж напрямку руху агрегату. Тоді лінія їхнього розташування утворить певний кут із напрямом руху агрегату, але фронтальна проекція при цьому не зміниться.

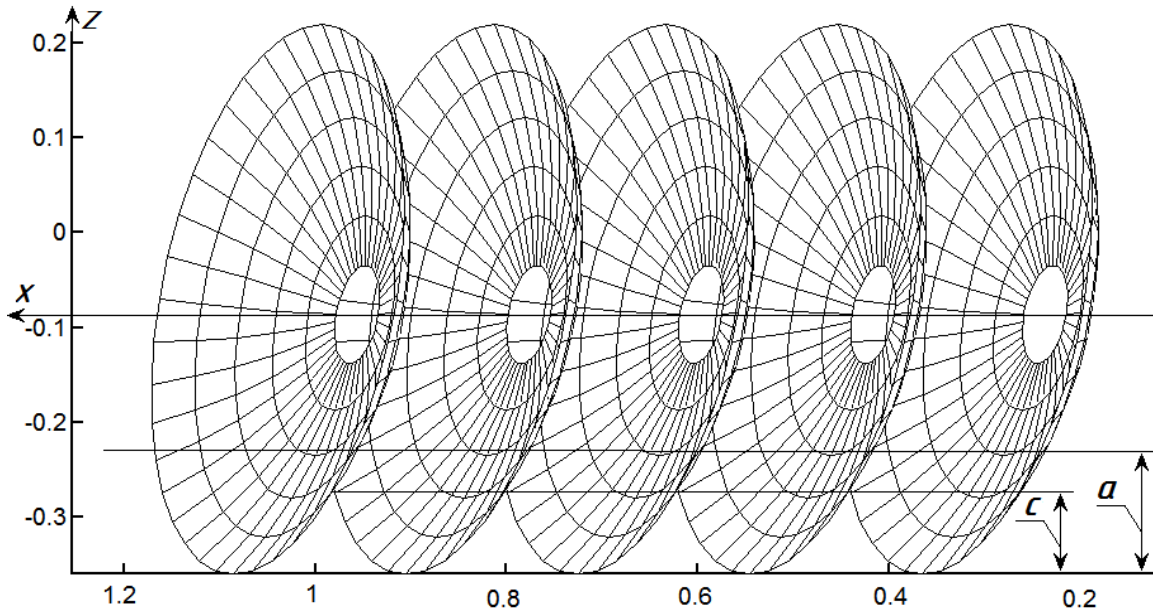


Рис. 6. Фронтальна проекція дисків, установлених під кутами  $\alpha=25^{\circ}$ ,  $\beta=10^{\circ}$  при  $b=0,18$ .

Рівняння (10) дозволяють аналітично знайти залежність висоти гребенів від конструктивних параметрів дисків та параметрів їх установки. Якщо в них замість змінної  $u$  підставити  $u=\sigma$ , то ці рівняння опишуть крайку диска – коло, яке проєкціюється еліпсом. Вершина гребеня визначається точкою перетину двох сусідніх еліпсів на фронтальній площині (рис. 6). Один із них опишеться на фронтальній площині двома рівняннями (10) – верхнім і нижнім при  $u=\sigma$ . Сусідній еліпс опишеться такими ж рівняннями, причому у верхньому рівнянні потрібно додати величину зміщення  $b$ . При перетині двох еліпсів утвориться дві точки (внизу і вгорі), координати  $X$  і  $Z$  у яких будуть спільними. Спільній точці перетину одного еліпса відповідає певне значення змінної  $v$ , наприклад,  $v_1$ , а для другого –  $v_2$ . Прирівнявши нижні і верхні рівняння, отримуємо систему із двох рівнянь з двома невідомими значеннями  $v_1$  і  $v_2$ . Програмний продукт «Mathematica» дає наступний розв'язок (наводимо тільки одне значення, оскільки його буде достатньо):

$$v_1 = \text{Arccos} \left( -\frac{\sqrt{4R^2 \sin^2 \alpha \sin^2 \sigma - b^2}}{2R \sin \alpha \sin \sigma} \right). \quad (11)$$

Підставивши значення  $v_1$  із (11) у нижнє рівняння (10) при  $u=\sigma$ , ми отримаємо координату  $Z$  точки перетину (вершини гребеня):

$$Z = -R \cos \sigma \sin \beta - \frac{\cos \beta}{2 \sin \alpha} \sqrt{4R^2 \sin^2 \alpha \sin^2 \sigma - b^2}. \quad (12)$$

Аналітично показано, що самій нижній точці еліпса відповідає значення  $v=\pi$ . Підстановка цього значення у нижнє рівняння (10) при  $u=\sigma$  дає координату  $Z$  дна борозни:

$$Z = -R \sin(\beta + \sigma). \quad (13)$$

Різниця координати  $Z$  (12) і (13) дає аналітичний вираз висоти  $c$  гребеня:

$$c = \frac{\cos \beta}{2 \sin \alpha} \left( 2R \sin \alpha \sin \sigma - \sqrt{4R^2 \sin^2 \alpha \sin^2 \sigma - b^2} \right). \quad (14)$$

В праці [1] (стор. 243, формула 1.381) наведено вираз для висоти гребеня при вертикальному розташуванні дисків, тобто при  $\beta=0$ . Якщо в цій формулі замінити діаметр  $D$  його виразом із (2), а також врахувати, що наше позначення зміщення між дисками  $b$  і в праці [1] узгоджується через кут  $\alpha$ , то ми отримаємо результат (14) з одиницею замість  $\cos(\beta)$ . Це і зрозуміло, оскільки цей частковий результат отримаємо із загального (14) при  $\beta=0$ . Із (14) можна зробити доповнення до висновків у праці [1], що збільшення кута крену  $\beta$  веде до зменшення висоти гребеня. На наведених рисунках диск представлений поверхнею нульової товщини. Однак реальний диск має певну товщину, тобто він обмежений внутрішньою (робочою) і зовнішньою (неробочою) сферичними поверхнями. Частина об'єму диска між цими поверхнями вилучається, оскільки він має бути заточеним під кутом  $\delta$  (рис. 7, а). Поверхнею фаски, або поверхнею заточки є конус, у якого твірні нахилені до основи під кутом  $\delta$ , а основа збігається з кромкою леза.

Зважаючи на те, що радіус основи конуса рівний  $D/2$  (рис. 1, а), згідно (2) він становить  $R \sin \sigma$ . Параметричні рівняння конуса з твірними, нахиленими до основи під кутом  $\delta$ , запишуться:

$$\begin{aligned} X_K &= Ru \sin \sigma \operatorname{tg} \delta; \\ Y_K &= R \sin \sigma (1 - u) \sin v; \\ Z_K &= R \sin \sigma (1 - u) \cos v, \end{aligned} \quad (15)$$

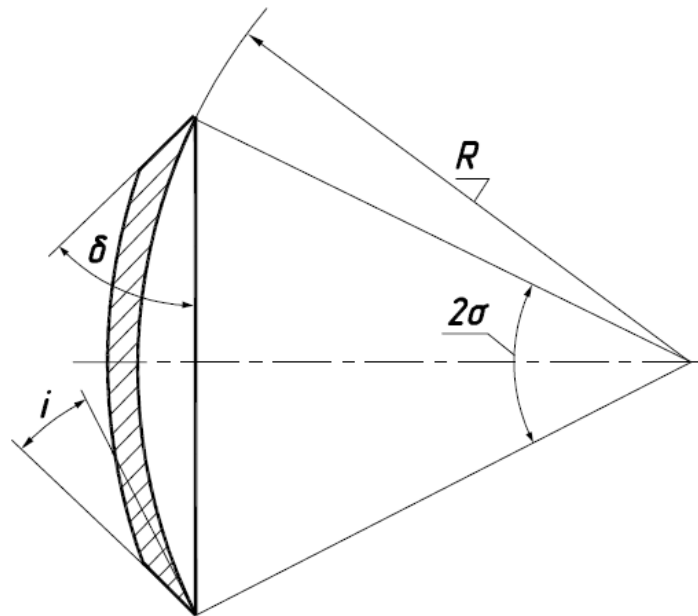
де:  $v$  і  $u$  – незалежні змінні поверхні, причому  $v$  – кут повороту поточної точки конуса навколо осі  $OX$  ( $v=0 \dots 2\pi$ );  $u$  – прямолінійна координата цієї точки вздовж твірної конуса, відлік якої починається від його основи.

На рис. 7,б побудовано внутрішню поверхню диска і поверхню фаски, причому для наочності вони віддалені одна від другої. На рис. 7,в поверхня фаски спряжена із зовнішньою поверхнею диска,

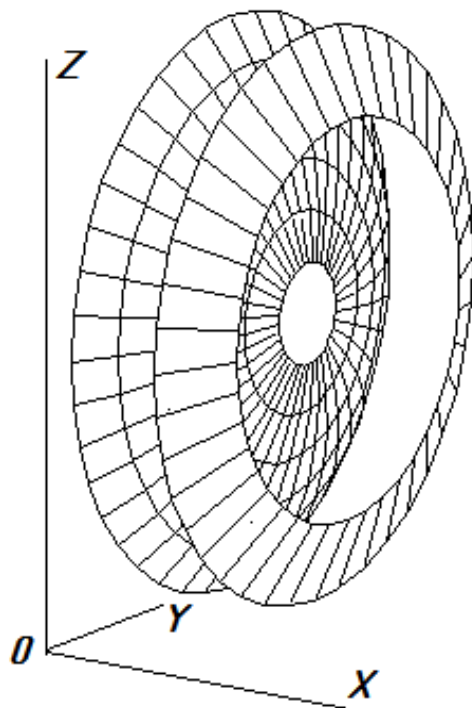


причому поверхня фаски затемнена. Для установки поверхні фаски в робоче положення необхідно скористатися формулами (9), в які замість рівнянь сфери потрібно підставити рівняння конуса (15):

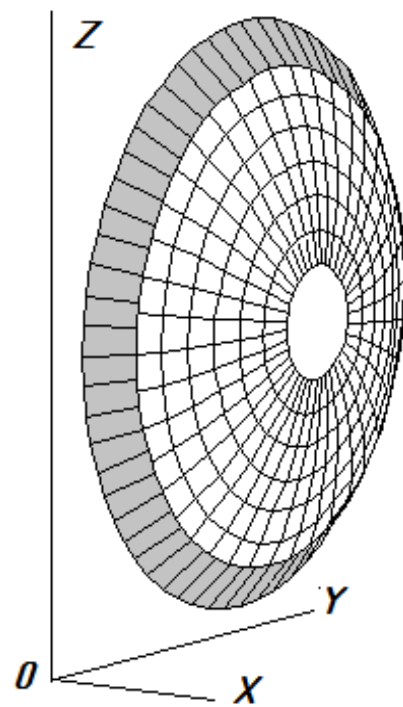
$$\begin{aligned} X &= R \sin \sigma [utg\delta \cos \alpha \cos \beta - (1-u) \sin v \sin \alpha + (1-u) \cos v \cos \alpha \sin \beta]; \\ Y &= R \sin \sigma [utg\delta \sin \alpha \cos \beta + (1-u) \sin \cos \alpha + (1-u) \cos v \sin \alpha \sin \beta]; \\ Z &= R \sin \sigma [- utg\delta \sin \beta + (1-u) \cos v \cos \beta]. \end{aligned} \quad (16)$$



a)



б)



в)

Рис. 7. До конструювання фаски диска, поверхнею якої є конус з кутом  $\delta$  нахилу твірних до основи.

Робоче положення поверхні фаски необхідно для того, щоб визначити кут заточки  $\delta$ . Конструктивні параметри диска  $R$ ,  $\sigma$  і  $\delta$  та кути його установки перебувають в певній залежності.

З однієї сторони бажано зменшувати діаметр  $D$  диска (тобто кут  $\sigma$ ) для кращого його входження в ґрунт, також одночасно зменшувати радіус  $R$  сфери для кращого перевертання ґрунту і змішування його із рослинними рештками, однак це може призвести до того, що поверхня фаски буде зминати ґрунт і перешкоджатиме зануренню диска.

Щоб цього не відбулося, кут  $\delta$  заточки потрібно взяти такий, щоб він забезпечував наявність так званого тильного кута в зоні роботи диска, тобто кут  $\delta$  потрібно брати по можливості найменшим.

Проте його зменшувати можна до певної межі, тому що при цьому зменшується кут загострення  $i$  (рис. 7,а), який не може бути менший граничної величини (кут загострення  $i$  приймають в межах  $12^\circ \dots 25^\circ$ ).

Кути  $\alpha$  і  $\beta$  установки диска теж впливають на визначення кута  $\delta$  заточки при заданому тильному куту ( $3 \dots 5^\circ$ ), який запобігає зминанню ґрунту поверхнею фаски подібно тому, як відбувається зминання ґрунту тильною поверхнею диска при неналежних кутах його установки (рис. 5, фронтальна проекція).

Із-за обмеженого обсягу статті ми закінчуємо її постановкою задачі вибору названих параметрів, яка може бути розв'язана завдяки отриманій математичній моделі робочої поверхні диска та його фаски.

**Висновок.** Розроблено просторову математичну модель розташування сферичних дисків ґрунтообробних знарядь в декартовій системі координат, у якій вісь  $OY$  прийнята за напрям руху агрегату. Такий підхід дає можливість в масштабі отримувати зображення дисків при будь-яких кутах  $\alpha$  і  $\beta$  їх установки та візуалізувати профіль поперечного перерізу обробленої смуги. Розрахунок інших параметрів, зокрема висоти гребеня необробленого ґрунту, ведеться на основі цілісної просторової моделі, а не по проекціях із ручним їх виконанням, як це робилося традиційно. Розроблена модель розширює можливості оперативного вибору конструктивних параметрів диска з прив'язкою до кутів його установки.

### Список літератури

1. Заїка П. М. Теорія сільськогосподарських машин / П. М. Заїка. – Т. I (ч. 1). Машини та знаряддя для обробітку ґрунту. – Х.: Око, 2001. – 444 с.
2. Синеоков Г. Н. Теория и расчет почвообрабатывающих машин / Г. Н. Синеоков, И. М. Панов. – М., Машиностроение, 1977. – 311 с.

3. Турбин Б. Г. Сельскохозяйственные машины. Теория, конструкция и расчет / Б. Г. Турбин, А. Б. Лурье, С. М. Григорьев. – М., Л.: Издательство машиностроительной литературы, 1963. – 306 с.
4. Стрельбицкий В. Ф. Дисковые почвообрабатывающие машины / В. Ф. Стрельбицкий. – М.: Машиностроение, 1978. – 218 с.
5. Циммерман М. З. Рабочие органы почвообрабатывающих машин / М. З. Циммерман. – М.: Машиностроение, 1978. – 162 с.
6. Нартов П. С. Дисковые почвообрабатывающие орудия / П. С. Нартов. – Воронеж: Издательство ВГУ, 1972. – 158 с.
7. Гриненко О. Дослідження коливаний дискових ґрунтообробних знарядь / О. Гриненко, С. Лебедев // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України: зб. наук. праць УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. – Дослідницьке, 2011. – Вип. 15 (29). – С. 50–53.
8. Кириченко А. К. Оценка качества обработки почвы сферическими дисками с индивидуальной подвеской / А. К. Кириченко, К. А. Сохт // Сборник научных трудов «Механизация работ в производстве зерна и селекционном процессе». Краснодарский НИИ сельского хозяйства им. П.П. Лукьяненко. – Краснодар, 1985. – С. 18.
9. Гапоненко О. І. Програмування рівномірності обробітку дисковими робочими органами на пружних стійках / О. І. Гапоненко // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки. – 2012. – № 11. – Т. 2 (66). – С. 135–141.
10. Сучасні тенденції розвитку конструкцій сільськогосподарської техніки / За ред. В. І. Кравчука, М. І. Грицишина, С. М. Ковалюка. – К.: Аграрна наука, 2004. – 396 с.
11. Вентцель М. К. Сферическая тригонометрия / М. К. Вентцель. – М.: Геодезиздат, 1948. – 154 с.

**Аннотация.** Составлено аналитическую модель установки сферических дисков в декартовой системе координат с принятым движением агрегата вдоль оси ОУ. По заданным размерам дисков и углам атаки и крена определяется их положение и полоса обработанной почвы. В соответствии с агротехническими требованиями определяются углы установки и заточки дисков.

**Ключевые слова:** сферический почвообрабатывающий диск, направление движения агрегата, уравнения поверхности диска, углы установки

**Annotation.** It is made analytical model of installation of spherical disks in Cartesian coordinate system with the set movement of the unit along axis OY. On the set sizes of disks and angles of attack and rolls their position and a band of the cultivated soil is defined. According to agrotechnical requirements angles of installation and sharpening of disks are defined.

**Key words:** spherical soil disc, direction of movement of unit, equation disk surface, corners of installation