

УДК 631.312:514.18

V. Devin, V. Tkachuk, Candidates of Engineering Sciences, Docents,
D. Skorobogatov, Candidate of Engineering Sciences, Lecturer, at the
Department of General Technics and Physics,

Y. Nashkolnyj, Researcher State Agrarian and Engineering University in
Podilya

MOLDBOARD PLOUGH BOTTOM DESIGN USING CAD COMPAS 3D

Annotation. Soil tillage is one of the fundamental phases of agricultural production and also the most expensive process in terms of energy costs. Moldboard plough is the most widespread tillage implement in the world and the biggest consumer of energy in agriculture.

Perfection of this process both scientists and engineers of practice are engaged in. Most rational by creation of shape of ploughshare turn surface of plough is a design of it in the conditions of the computer-managed planning, searching for of intercommunications of geometrical parameters of surface with technological and agrotechnical indexes for achievement of minimum power expenses and burst performance of aggregate.

The method of construction of surface of dump of semispiral type is offered in this article, when a generatrix moves on two direct curves, located in parallel horizontally designings planes.

The algorithm of construction consists of the followings points: calculation and construction zero, first and second direct curves; design of surface of horizontal cylindroid; creation of frontal projection (frontal contour) of surface of moldboard of plough; receipt of three-dimensional model of dump by the method of excision of frontal projection on-the-spot cylindroid.

Calculations are conducted by the system of MathCAD, creation of three-dimensional model of moldboard of plough with the use of the system Compass 3D.

Keywords: surface, mould board, plough, design

В.В. Девін, В.С. Ткачук, кандидати технічних наук, доценти,

Д.В. Скоробогатов, кандидат технічних наук, асистент,

Ю.А. Нашкольний, здобувач ПДАТУ

МОДЕЛЮВАННЯ ПОЛИЦІ ПЛУГА В САПР КОМПАС 3D

Викладена методика застосування сучасних систем автоматизованого проектування для створення тривимірної моделі полиці плуга.

Ключові слова: поверхня, полиця, плуг, моделювання.

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Основний обробіток ґрунту в багатьох країнах світу передбачає оранку ґрунту плугами. Процес цей настільки енерго- і трудомісткий, що його вдосконаленням займаються як учені, так і інженери-практики. Найбільш раціональним шляхом створення форм лемішно-полицевої поверхні плуга є моделювання її в умовах автоматизованого проектування, відшукування взаємозв'язків геометричних параметрів поверхні з технологічними і агротехнічними показниками для досягнення мінімальних енерговитрат і максимальної продуктивності агрегату.

Аналіз попередніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми. Проектуванням і дослідженням лемішно-полицевих поверхонь з використанням систем автоматизованого проектування займались багато науковців. Нашими вітчизняними вченими розроблено математичне забезпечення для автоматизованої побудови 3D моделі полиці плуга з циліндродальною поверхнею [1]. Алгоритм моделювання робочої поверхні культурного і напівгвинтового плуга розглядаються в [2]. Методи побудови фронтальної проекції лемішно-полицевої поверхні корпусу плуга в системі комп'ютерної алгебри MathCAD наведені в роботі [3]. Моделюванням корпусу плуга за допомогою пакета прикладних програм MATLAB, систем автоматизованого проектування CATIA і ABAQUS займались науковці з Ірану [4, 5].

Мета статті: розробити методуку і алгоритм створення тривимірної моделі полиці плуга з використанням системи Компас 3D.

Виклад основного матеріалу дослідження. З тих пір, відколи з'явилися плуги, робочі поверхні корпусів підбиралися інтуїтивно, виходячи з накопиченого практичного досвіду. У зв'язку з цим в практиці землеробства з'явилося багато їх різновидів. Деякі поверхні мали таку складну форму, що їх було важко не тільки виготовити, але й зобразити на креслениках. Для того, щоб спростити проектування і виготовлення робочих поверхонь плугів, почали підшукувати геометрично правильні поверхні, які за своєю формою найближче підходили би до зразків, які позитивно зарекомендували себе на практиці.

В.П. Горячкін вивчив велику кількість робочих поверхонь вітчизняних і зарубіжних конструкцій плугів і розробив теорію полиці, що дозволила вказати методи проектування цих поверхонь. Він встановив, що кращої якості оранки можна добитися, застосовуючи лінійчаті поверхні. Пізніше він теоретично довів, що робоча поверхня корпусу плуга має бути лінійчатою. У лінійчатих поверхнях немає місцевих поглиблень і опуклостей, ґрунтовий пласт легше ковзає по полиці, більш рівномірно розподіляється на неї питомий тиск, поверхня стійка проти залипання.

Лінійчаті поверхні утворюються рухом у просторі прямолінійної твірної відповідно до деякого закону. Вони можуть бути з горизонтальними і похилими твірними. Лінійчаті поверхні, що використовуються як лемішно-полицеві, відносять в основному до двох типів: циліндроїдів і поверхонь, що розгортаються. Найбільшого поширення при конструюванні плужних корпусів набули циліндроїдальні поверхні.

Циліндроїди – це поверхні, утворені рухом в просторі прямолінійних твірних, які, ковзаючи по двох направляючих лініях, залишаються завжди паралельними деякій площині, що називається площиною паралелізму.

Циліндричні, культурні і напівгвинтові робочі поверхні корпусів плугів загального призначення є горизонтальними циліндроїдами (площиною паралелізму служить горизонтальна площина проєкцій, суміщена з дном борозни). Їх проєктують за методом професора М.В. Щучкіна, який прийнятий при проектуванні стандартних плугів як основний. Цей метод характерний тим, що одна лінія напрямної замінюється функцією зміни кута нахилу твірної до профільної площини (стінки борозни) від висоти її розташування відносно дна борозни. За другу направляючу лінію приймається плоска крива (дуга кола, еліпс або парабола), розташована в горизонтально проєкціуючій площині, перпендикулярній лезу лемеша і віддаленій від його кінця на задану відстань. Схема утворення поверхні циліндроїда показана на рис. 1.

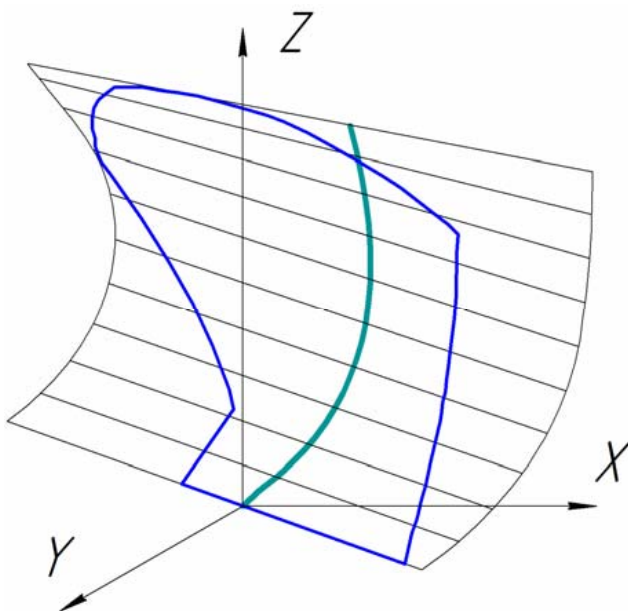


Рис. 1. Схема утворення поверхні циліндроїда

У даній статті пропонується методика побудови поверхні полиці напівгвинтового типу, коли твірна рухається по двох напрямних кривих, які розташовані в паралельних горизонтально проєкціюючих площинах.

Алгоритм побудови складається з наступних кроків:

- розрахунок і побудова нульової, першої і другої напрямних кривих;
- моделювання поверхні горизонтального циліндроїда;
- створення фронтальної проєкції (лобового контуру) поверхні полиці;
- отримання тривимірної моделі полиці способом вирізання лобового контуру на поверхні циліндроїда.

Для побудови нульової напрямної кривої у вигляді параболи скористаємось параметричним рівнянням, що наведене в роботах [1, 7]. Параметричне рівняння параболи, якщо відомі координати трьох точок (рис. 2):

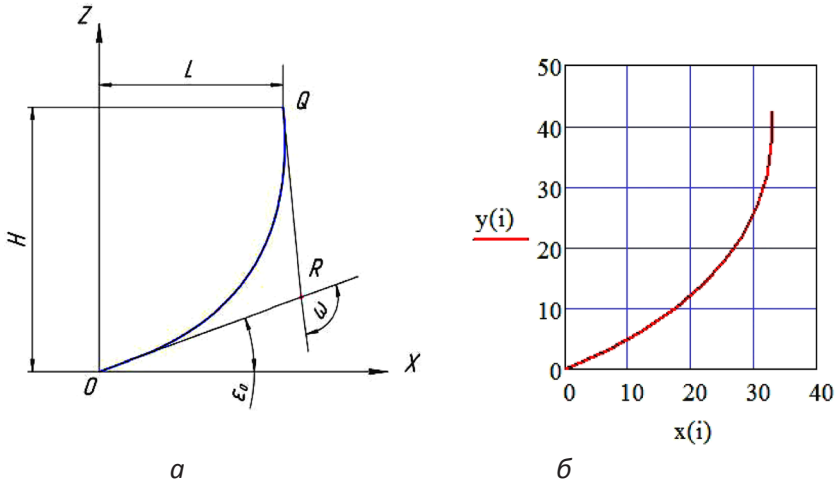


Рис. 2. Нульова напрямна крива:
 а – схема для розрахунку; б – побудована за параметричними
 рівняннями в системі MathCAD.

$$\begin{aligned} x &= (x_Q - 2x_R + x_O)t^2 + 2(x_R - x_O)t + x_O; \\ z &= (z_Q - 2z_R + z_O)t^2 + 2(z_R - z_O)t + z_O. \end{aligned} \quad (1)$$

де t – змінна, яка приймає значення $t = 0 \dots 1$;

$x_Q = H$ – висота параболи;

$z_Q = L$ – виліт параболи.

У свою чергу $H = \sqrt{a^2 + b^2} \pm \Delta H$; $L = \frac{b \cdot (1 - \sin \gamma)}{(90 - \varepsilon_0) \cdot \cos \gamma}$.

Тут a – глибина оранки; b – ширина захвату корпусу; ΔH – залежить від глибини оранки; ε_0 – кут нахилу лемеша до дна борозни; γ – кут нахилу леза лемеша до стінки борозни.

Координати точки перетину дотичних R (рис. 2 а) визначаються за формулами:

$$\begin{aligned} x_R &= \frac{L \cdot \sin(\omega - \varepsilon_0) + H \cdot \cos(\omega - \varepsilon_0)}{\sin \omega} \cdot \cos \varepsilon_0; \\ z_R &= \frac{L \cdot \sin(\omega - \varepsilon_0) + H \cdot \cos(\omega - \varepsilon_0)}{\sin \omega} \cdot \sin \varepsilon_0, \end{aligned} \quad (2)$$

де ω – кут між дотичними до параболі. Для культурної полиці $\omega = 115^\circ$, для напівгвинтової $\omega = 110^\circ$.

Якщо задатись наступними вихідними даними: $a = 24$ см; $b = 35$ см; $\Delta H = 0$; $\epsilon_0 = 23^\circ$; $\gamma = 36^\circ$; $\omega = 110^\circ$, отримаємо наступне рівняння параболі в параметричній формі:

$$\begin{aligned} x &= -35,79 \cdot t^2 + 68,7 \cdot t; \\ z &= 13,24 \cdot t^2 + 29,16 \cdot t. \end{aligned} \quad (3)$$

На рис. 2 (б) показана парабола, побудована за рівнянням (3) в програмі MathCAD. Програма дозволяє експортувати таблицю значень змінних x і z в текстовий файл, з якого за допомогою бібліотеки **fspline** система Компас3D прочитає ці координати і побудує зображення параболі. Її необхідно зберегти у фрагмент з назвою **Нульова_напрямна.frw**. Першу і другу напрямні побудуємо з наступних міркувань. Утворення циліндроїдальної робочої поверхні відбувається складним рухом в просторі прямолінійної твірної, яка, залишаючись паралельною площині паралелізму (в даному випадку – дну борозни), ковзає по нульовій направляючій кривій і в той же час обертається в горизонтальній площині довкола її точок як миттєвих центрів обертання. Аби задати положення твірної на будь-якій відстані від площини дна борозни, необхідно вказати функцію $\gamma = f(z)$, за якою змінюється кут твірної зі стінкою борозни. Для напівгвинтового типу полиць закон зміни кута нахилу від висоти змінюється згідно з графіком рис. 3.

Цей графік ми пропонуємо описати поліномом четвертого порядку:

$$\begin{aligned} \gamma &= -1.6556 \cdot 10^{-6} \cdot x^4 + 3.2479 \cdot 10^{-4} \cdot x^3 + \\ &+ 2.6691 \cdot 10^{-4} \cdot x^2 - 0.19536 \cdot x + 1.9 \end{aligned} \quad (4)$$

Якщо напрямні криві розташовані в паралельних площинах, то зміщення координати Δx_{i01} першої напрямної кривої відносно нульової буде дорівнювати:

$$\Delta x_{i01} = L_{01} \cdot \operatorname{tg} \Delta \gamma_i, \quad (5)$$

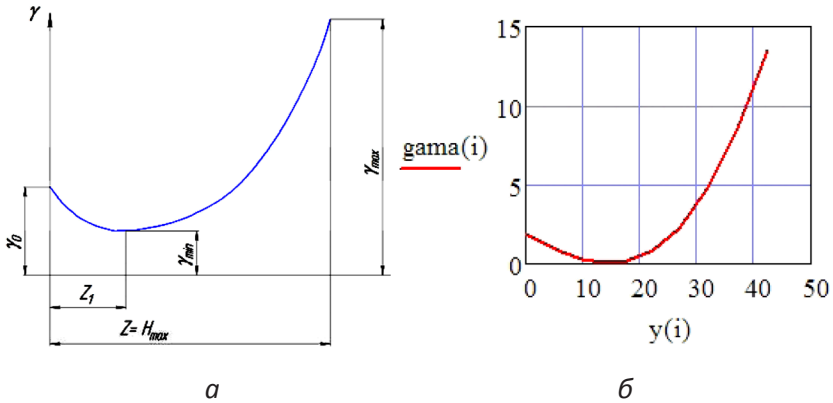


Рис. 3. Графік зміни кута γ залежно від висоти для полиці напівгвинтового типу: а) за професором Щучкіним М.В.; б) побудований за формулою (4) в MathCAD

де L_{01} – відстань між площинами, в яких знаходяться нульова і перша напрямні криві (рис. 4). У даному випадку ця відстань буде дорівнювати довжині лемеша;

$\Delta\gamma_i$ – зміна кута нахилу твірної до стінки борозни на висоті z_i .

Зміщення координати Δx_{i02} другої напрямної кривої відносно нульової буде дорівнювати:

$$\Delta x_{i02} = \Delta x_{i01} \cdot \frac{L_{02}}{L_{01}}, \quad (6)$$

де L_{02} – відстань між площинами, в яких знаходяться нульова і друга напрямні криві.

Сума відстаней $L_{01} + L_{02}$ – це довжина найдовшої твірної полиці плуга.

Розрахунки проведемо за допомогою системи MathCAD. Результати розрахунку експортуємо в текстові файли. У системі Компас бібліотекою **fspline** з текстових файлів будуємо окремо першу, а потім другу напрямні криві і зберігаємо їх у фрагменти з назвами **Перша_напрямна.frw**, **Друга_напрямна.frw**.

Фронтальну проекцію (лобовий контур) поверхні корпусу плуга будують за традиційною методикою, яка докладно описана в [1]

та іншій навчально-методичній літературі. Лобовий контур потрібно зберегти у фрагмент **Фронтальна_проекція.frw**.

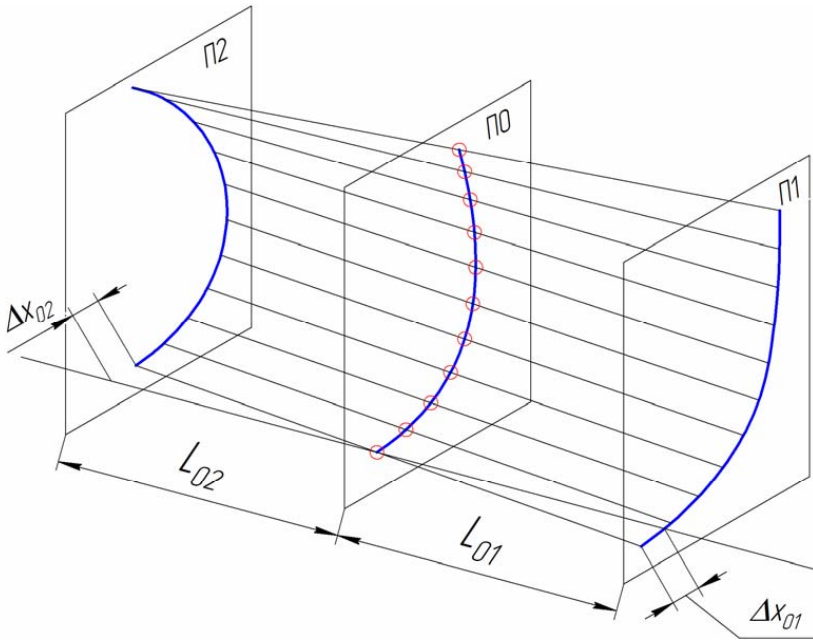


Рис. 4. Схема розташування площин з напрямними кривими.

Після проведених розрахунків і підготовчих операцій алгоритм побудови тривимірної моделі полиці плуга буде наступним:

- створити новий документ **Деталь**;
- зберегти в особистій папці як **Поверхня полиці.m3d**;
- побудувати об'єкт **Ось** як перетин базових площин **ZY** і **ZX** (**Операції – Ось – Пересечение двух плоскостей**). Указати в дереві побудови базові площини **ZY**, **ZX**;
- створити допоміжну площину для нульового перерізу, обернувши базову площину **ZX** на 36 градусів (**Операції – Плоскость – Под углом к другой плоскости**);
- створити допоміжну площину для кінцевого перерізу на відстані 800 мм від першої (**Операції – Плоскость – Смещенная**). Установити величину зсуву 800;

– виділити в дереві побудови площину нульового перерізу. Виконати команду **Ескиз**. Виконати команду **Вставка**. Вставити в ескиз підготовлений фрагмент **Перша_напрямна.frw**. Поворотом на 90 градусів за стрілкою годинника встановити правильне положення перерізу в системі координат плуга (напряму руху по осі Y, висота по Z, борозенний обріз в додатну сторону осі X);

– аналогічно виділити площину кінцевого перерізу. Виконати команду **Ескиз**. Виконати команду **Вставка**. Вставити в ескиз підготовлений фрагмент **Друга_напрямна.frw**. Поворотом на 90° встановити правильне положення перерізу в системі координат плуга.

– операцією **По сеченням** сформувати «лопату» полиці. Задати товщину 6 мм.

– виділити базову площину ZX. Виконати команду **Ескиз**. Виконати команду **Вставка**. Вставити в ескиз підготовлений фрагмент **Фронтальна_проекція.frw**. Закрити ескиз.

– виконати операцію **Сечення – По ескизу**.

Тривимірні моделі циліндроїда і вирізаної з нього полиці плуга представлені на рис. 5.

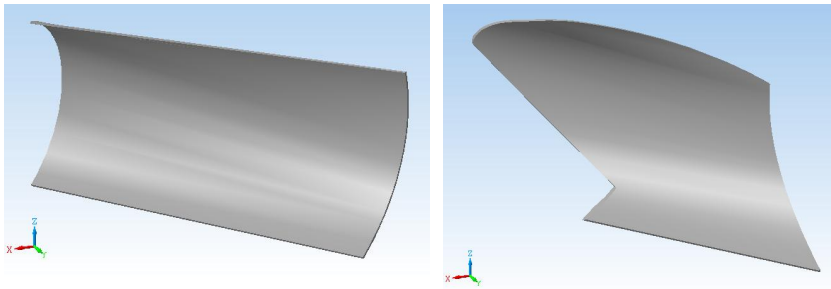


Рис. 5. Тривимірні моделі циліндроїда і вирізаної з нього полиці.

Висновки. Застосування запропонованої методики дає нові можливості для створення різних лінійчатих поверхонь, які можуть бути використані в сільськогосподарському машинобудуванні. Запропонований підхід не є визначальним для проектування полиць плугів, оскільки він враховує тільки геометрію поверхні без врахування інших агротехнічних вимог.

Список використаних джерел

1. Булгаков В. М. Автоматизована побудова 3-D моделі полиці плуга з циліндроїдальною поверхнею / В. М. Булгаков, Д. Г. Войтюк, С. Ф. Пилипака // Науковий вісник Національного ун-ту біо-ресурсів і природокористування України. – 2011. – № 166. – С. 51-62.
2. Моделирование рабочей поверхности плуга в САПР / Мударисов С.Г., Муфтеев В.Г., Фархутдинов И.М., Марданов А.Р. // Известия международной академии аграрного образования. Выпуск № 7 (2008), Том 1. «Информационные технологии в эксплуатации МТП АПК». – С-Пб., 2008. – С. 37-40.
3. Свечников П. Г. Построение фронтальной проекции лемешно-отвальной поверхности корпуса плуга / П. Г. Свечников // Достижения науки и техники АПК. – 2011. – № 6. – С. 77-78.
4. Mahmoud Soltani and JavadTaghinezhad. (2012) Computer Aided Design of moldboard plough surface. Journal of Agricultural Technology 8(5): 1545-1553. Available online <http://www.ijat-aatsea.com>
5. Comparison and Optimization of Graphical Methods of Moldboard Plough Bottom Design Using Computational Simulation. Journal of American Science 2013;9(6): 414-420]. (ISSN: 1545-1003). <http://www.jofamericanscience.org>
6. Методичні рекомендації до виконання самостійної розрахунково-графічної роботи «Проектування робочої поверхні корпуса плуга» для студентів спеціальності 6.100102 «Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва» ОКР «бакалавр». / О.М. Крупич, С.І. Левко // Львівський національний аграрний університет, 2014. – 24 с.
7. Роджерс Д. Математические основы машинной графики / Д. Роджерс, Дж. Адамс. – М.: Мир, 2001. – 606 с.

Аннотація. *Изложена методика применения современных систем автоматизированного проектирования для создания трехмерной модели отвала плуга.*

Ключевые слова: *поверхность, отвал, плуг, моделирование.*