

інновації:матер. Міжнародної наук.-практ. інтернет-конф. (Мелітополь, 27-29 травня 2020р.) / ред. кол. : В.М. Кюрчев, В.Т. Надикто, Н.Л. Сосницька, М.І. Шут та ін. – Мелітополь: ТДАТУ, 2020. – С.267-270.

9. Яблонский П.М., Чаплінський А.П., Михайленко О.Ю. Леженкін О.М. Розв'язання задач знаходження лінії перетину довільних поверхонь із застосуванням математичних засобів ПЕОМ / Розвиток сучасної науки та освіти: реалії, проблеми якості, інновації:матер. Міжнародної наук.-практ. інтернет-конф. (Мелітополь, 27-29 травня 2020р.) / ред. кол. : В.М. Кюрчев, В.Т. Надикто, Н.Л. Сосницька, М.І. Шут та ін. – Мелітополь: ТДАТУ, 2020. – С.36-40.

УДК 515.2

## СИСТЕМА ТРИВИМІРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ГЕОМЕТРИЧНОЇ МОДЕЛІ РОБОЧОЇ ПОВЕРХНІ ПЛУГА

Пихтєєва Ірина Вікторівна, к.т.н., доцент,  
Гавриленко Євгеній Андрійович, к.т.н., доцент,  
Холодняк Юлія Володимірівна, к.т.н., ст. викладач,  
Бохан Олександр Дмитрович, СВО «Бакалавр»,  
спеціальність 131 «Прикладна механіка»  
*Таврійський державний агротехнологічний університет  
імені Дмитра Моторного, м. Мелітополь, Україна.*

**Анотація.** Розглядається алгоритм удосконалення технологічного процесу виготовлення відвала плуга культурного типу. Кожна технологічна задача в умовах підприємства може мати велику кількість варіантів, тому спеціалісту складно впоратися з подібними обсягами робіт, і в цих умовах вирішальною передумовою до прискорення виробництва є впровадження автоматизованих систем. При проектуванні досліджено сучасні методи побудови лемішно-відвальної поверхні. У роботі пропонується використовувати метод побудови поверхні горизонтального циліндроїда і робочої поверхні по контуру в поперечно-вертикальній площині проєкцій. Для побудови поверхні плуга, як горизонтального циліндроїда, використовується пакет твердотільного моделювання Solid Works.

**Ключові слова:** каркасна поверхня, удосконалення технологічного процесу, автоматизація виготовлення лемішно-відвальної поверхні плуга, горизонтальний циліндроїд, допоміжна площина, фронтальна площина, напрямна крива.

**Актуальність дослідження.** У наш час на сучасних підприємствах існує проблема перенесення документації з паперових на електронні носії, автоматизації і систематизації виробничих процесів. Виникає необхідність у створенні замкнутого виробничого циклу, тобто створення САПР (системи автоматизованого проектування). Підбір комп'ютерних програм, які дозволяють забезпечити замкнений цикл, є актуальною і значущою на сучасному етапі технологічного процесу і в особливій мірі впливає на строки та якість виготовлених промислової продукції. Для досягнення показників якості, що задовольняють агротехнічним вимогам конструктивні параметри і геометрія робочих органів ґрунтообробних

машин повинні забезпечувати можливість зміни ступеня впливу на ґрунт і керування процесом роботи. У комплексі робіт, спрямованих на рішення завдань підвищення якості обробки ґрунту, велике значення мають теоретичні дослідження технологічних процесів обробки ґрунту робочими органами. Саме від ступеня відповідності робочих органів їхньому призначенню залежать якість роботи машин, їхня продуктивність і енергоємність процесу. Завдяки створенню теоретичної моделі процесу взаємодії робочих органів із ґрунтом забезпечується можливість розробки напрямків удосконалювання й обґрунтування конструктивних параметрів робочих органів і пристроїв для досягнення необхідних показників якості виконання технологічного процесу.

**Аналіз останніх досліджень.** Сучасні тенденції [1] розвитку ґрунтообробних машин визначаються головним чином вимогами щодо захисту ґрунту від надмірного техногенного навантаження, побудови геометричної поверхні спроможної обробляти ґрунт на різну глибину, як з відвалом так і без відвалу ґрунту. Однак, запропонований при цьому спосіб побудови напівгвинтної поверхні плуга, не потребує складних обчислень і не використовує переваги графічних методів. Обираючи для проектування програму SolidWorks підприємство отримує ліцензії на використання унікальних технологій тривимірного проектування, яку дозволяє спроектувати та вивести на ринок інноваційну продукцію за коротку годину, та значно підвищити конкурентоздатність підприємства, а також збільшити капіталізацію компанії.

**Виклад основного матеріалу досліджень.** Удосконалення технологічного процесу підприємства представлено на прикладі автоматизації виготовлення лемішно-відвальної поверхні плуга з використанням програмного пакету Solid Works SWAPI для твердотільного моделювання, спеціалізованого додатки з використанням інтерфейсу прикладного програмування Visual Basic, налагодження керуючої програми для штампування відвалу плуга в пакеті комп'ютерних програм Power Mill.

Формування геометричної моделі будується за запропонованим алгоритмом з урахуванням вихідних даних .

Робоча поверхня плужних корпусів культурного типу будується за методикою, що полягає в побудові поверхні горизонтального циліндроїда, з обраними параметрами, і побудові, надалі, робочій поверхні по її контуру в поперечно – вертикальній площині проєкцій.

Вихідними даними при проектуванні такої поверхні є: кут нахилу лемеша до дна борозни ( $\varepsilon_0$ ) і кут нахилу леза лемеша (початкова утворююча) до стінки борозни ( $\theta_0$ ); мінімальний ( $\theta_{\min}$ ) і максимальний ( $\theta_{\max}$ ) кути нахилу утворюючі поверхні циліндроїда до стінки борозни; закон зміни кутів ( $\theta$ ) утворюючих по висоті поверхні, тобто  $\theta = f(z)$ .

Форму робочої поверхні корпусу плуга визначають агротехнічні вимоги пропоновані до оранки, що полягають, головним чином, у розпушуванні шару і його обороті для глибокого закладення рослинних залишків.

У загальному випадку робоча поверхня корпусу плуга може розглядатися як подальший розвиток тригранного клина.

Формування поверхні плуга включає наступні етапи:

- моделювання напрямної кривої;
- створення каркаса поверхні, утвореного горизонтальними прямолінійними відрізками, що перетинають напрямну криву;
- формування поверхні горизонтального циліндроїда, по створеному каркасі;
- створення фронтальної проекції корпусу плуга;
- відсікання поверхні корпусу плуга на поверхні циліндроїда, по фронтальній проекції плуга.

Для побудови робочої поверхні корпусу з горизонтальними утворюючими необхідно задатися напрямної кривої. Вид кривій й її розташуванню визначають, у значній мірі, технологічні властивості поверхні (її що кришить й обертає здатності). Напрямна крива формується у вертикальній площині ( $\alpha$ ), перпендикулярної лезу лемеша – на відстані, для культурного типу корпусу плуга,  $l_1 = \frac{2}{3}l$  від носка лемеша.

Як напрямна крива використаємо параболу. Побудова напрямної параболи показано на рисунку 1.

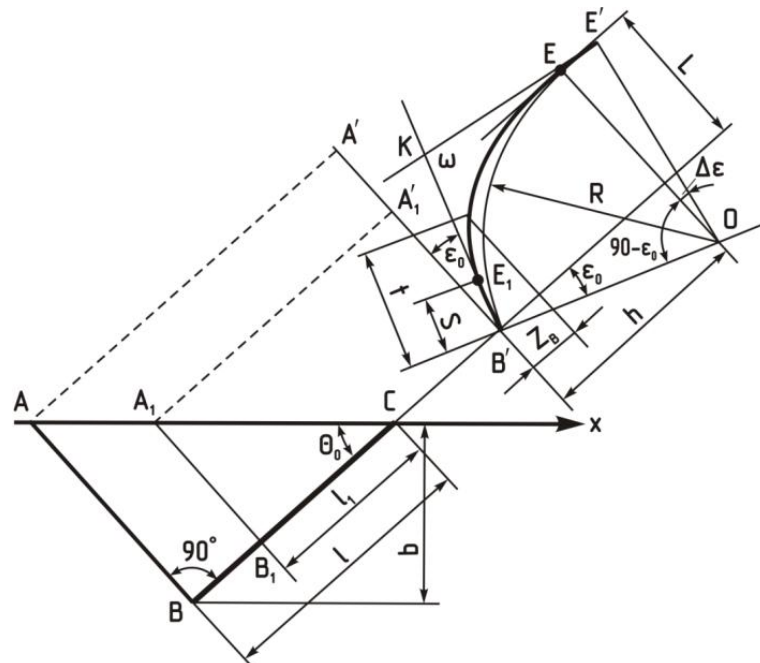


Рис.1. Побудова напрямної кривої.

Побудова напрямної кривої в системі SolidWorks.

1. У площині проєкцій «Зверху» створюємо ескіз, у якому формуємо лезо лемеша – утворюючої поверхні циліндроїда нульового рівня. Утворююча розташовується під кутом  $42^\circ$  до площини проєкцій «Праворуч», що збігає із площиною стінки борозни. Довжина утворюючої ( $l$ ) визначається шириною захвата  $b = 288$  мм (дивись рис. 2). На відстані  $l_1 = \frac{2}{3}l$  від кінця утворюючої, розташованого в площині «праворуч» (для плуга культурного типу), створюємо точку. У цій крапці утворюючого нульового рівня перетинає площина напрямної кривої. Закриваємо ескіз.

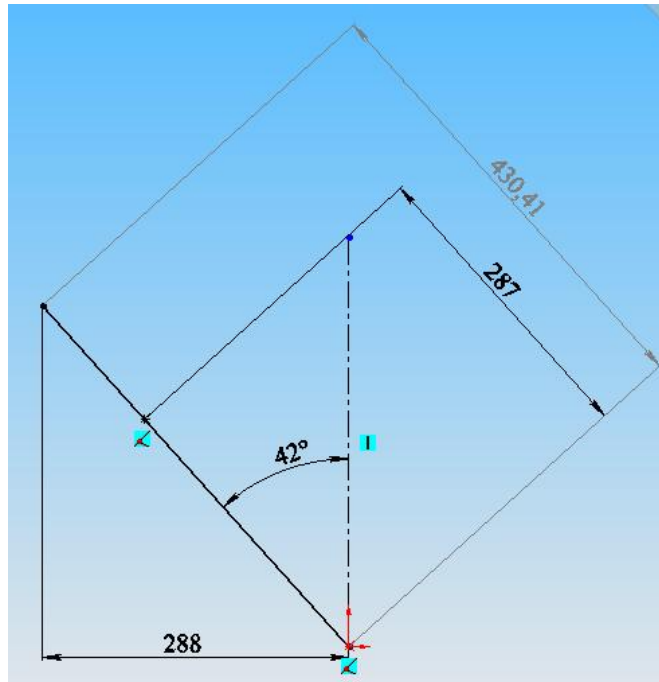


Рис. 2. Напрямна крива.

2. Створюємо площину напрямної кривої – площина  $\alpha$ . Площина  $\alpha$  перетинає лезо лемеша під прямим кутом у крапці  $O$ , на відстані  $l_1 = \frac{2}{3}l$  від носка лемеша.

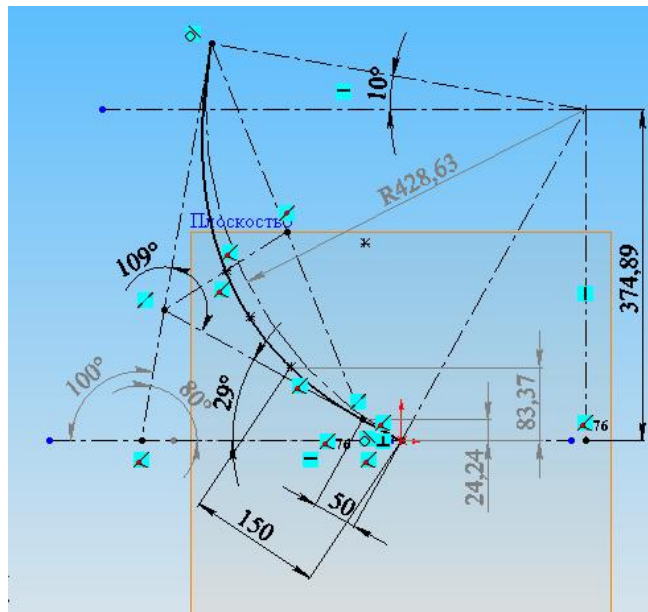



Рис. 3. Створення площини напрямної кривої.


Формування каркаса поверхні плуга в системі SolidWorks. Утворюючі формуються в попередньо створених горизонтальних площинах. Положення площин визначене за допомогою команди  «Площина», на відстанях від площини «Зверху».


Для визначення положення утворюючої у відповідній горизонтальній площині необхідно здійснити наступної дії.

1. У дереві побудови виділяємо обрану площину й натискаємо кнопку  «Ескіз».

2. Визначаємо точку перетинання площини з напрямної кривої:

– у площині ескізу створюємо довільну точку;

– на створену точку й напрямну криву накладаємо додатковий взаємозв'язок:  «Точка пронизування».

3. У площині ескізу створюємо довільну пряму лінію й приналежну їй точку. На точку, що належить прямій й точку перетинання площини з напрямної кривої накладаємо додатковий взаємозв'язок  «Збіг».

4. Задаємо кут нахилу створеної прямої лінії до площини проєкцій «Праворуч» – (площина стінки борозни).

Утворююча – визначена (дивись рис. 4).

Кути нахилу утворюючих до площини «Праворуч» відповідають даним.

Для побудови фронтальної проєкції корпусу плуга в системі SolidWorks створюємо площину паралельну площини «Попереду», зі зсувом, наприклад, на відстань 760 мм. Зсув забезпечує розташування площини за межами поверхні формованого плуга.

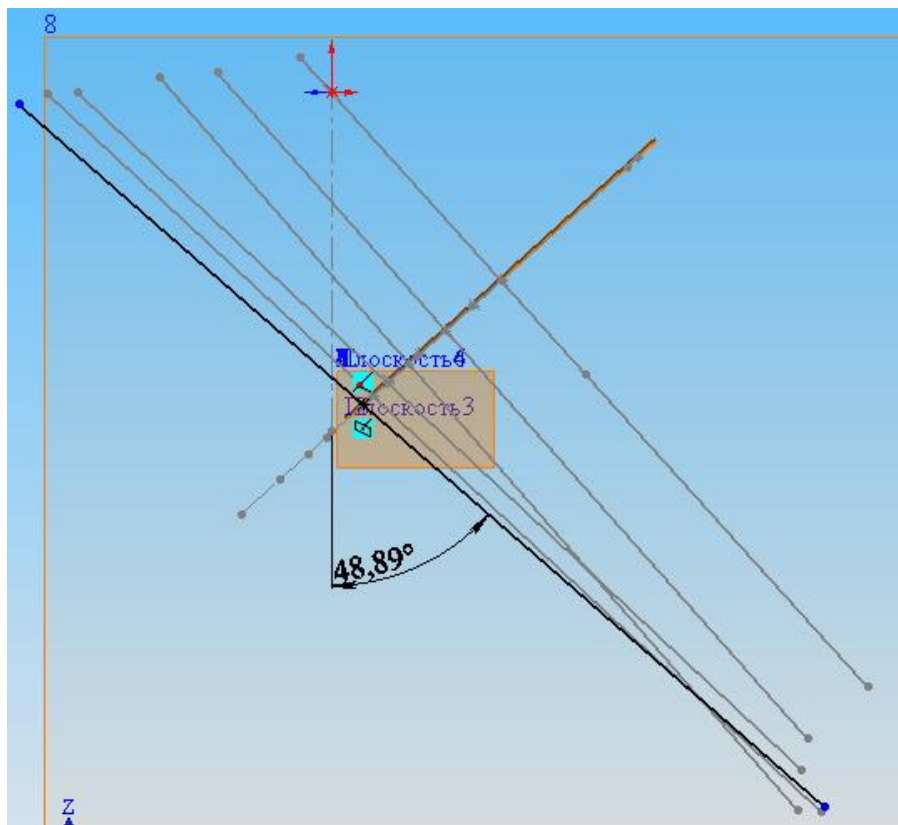


Рис. 4. Каркас поверхні горизонтального циліндроїда.

Побудова фронтальної проєкції робочої поверхні починається з побудови умовної схеми переміщення шару під впливом плужного корпусу. Для цього будується перетин шару  $ABCD$  по відомих параметрах  $a$  й  $b$  (Рис. 5). Точка  $A$  призначається таким чином, щоб її проєкція на площину «Попереду» збігалася із проєкцією на цю площину носка лемеша. Потім будується кінцеве положення відваленого паста, припускаючи, що перетин шару у своєму послідовному переміщенні спочатку обертається щодо ребра  $D$ , а після того, як воно прийме вертикальне положення, обертається щодо ребра  $Z_1$ .

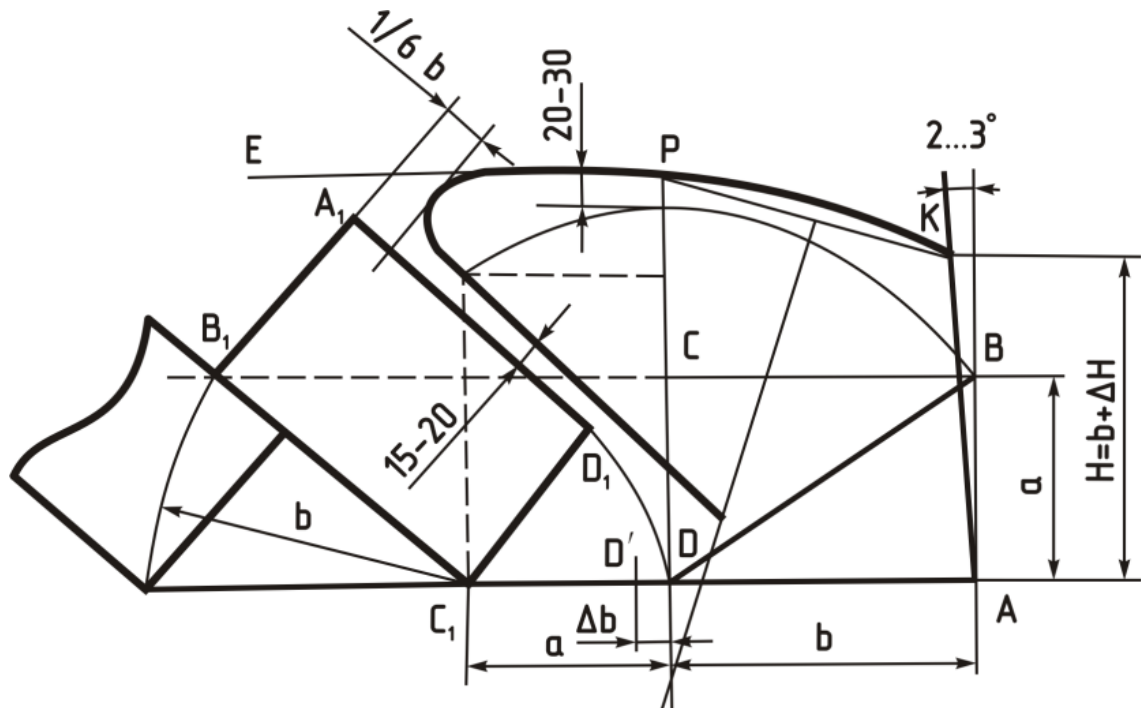


Рис. 5. Побудова фронтальної проекції робочої поверхні.

По знайденому положенню ребра  $B_1$  проводиться грань шару  $B_1C_1$  і на ній будується прямокутник  $A_1V_1C_1D_1$ , сторони якого відповідають заданому перетину шару  $a \times b$ .

Проводимо дугу окружності радіуса  $|DB|$  із центром у крапці  $D$ . Точка відвала  $P$  визначається вище цієї дуги на  $20 \dots 30 \dots 30$  мм (приймаємо 30 мм). Відзначивши верхню точку відвала  $P$ , через неї проводимо горизонтальну пряму  $PE$ .

Польовий обріз відвала проводиться під кутом  $2^\circ \div 3^\circ$  до стінки борозни, (приймаємо  $3^\circ$ ) на висоту  $H = b + \Delta H$ ;  $\Delta H = 20 \div 30$  мм (приймаємо 30 мм), що необхідно для виключення задирання стінки борозни відвалом. Верхня точка польового обріза ( $DO$ ) з'єднується дугою з верхньою точкою відвала  $P$ . Центр дуги розташовується на продовженні вертикальної лінії  $PD$ . Отримана лінія  $KP$  приймається за верхній обріз відвала.

Борозний обріз відвала проводиться паралельно грані  $A_1D_1$  відваленого шару із зазором в  $15 \div 20$  мм (приймаємо зазор 20 мм) щоб уникнути задирання шару відвалом. Виліт крила відвала обмежується дугою, що відстоїть від площини грані  $A_1B_1$  шару на відстані  $1/6 \div 1/8b$  (приймаємо  $1/6b = 48$  мм). Дуга вписується між трьома прямими – верхнім обрізом відвала, борозним обрізом крила й нормаллю до грані шару  $A_1D_1$ . Лезо лемеша, що підрізає шар знизу, розташовується в площині дна борозни. Ширину захвата лемеша можна прийняти рівній ширині шару  $b$  плюс  $\Delta b = 20 \dots 30$  мм – перекриття ширини захвата. Приймаємо перекриття ширини захвата  $\Delta b = 30$  мм. Точка  $D'$ , що відповідає п'яті лемеша, з'єднується прямолінійним відрізком з борозним обрізом. Напрямок відрізка визначається шириною лемеша  $t = 15$  мм.

Сформована фронтальна проекція корпусу плуга представлена на рисунку 6.

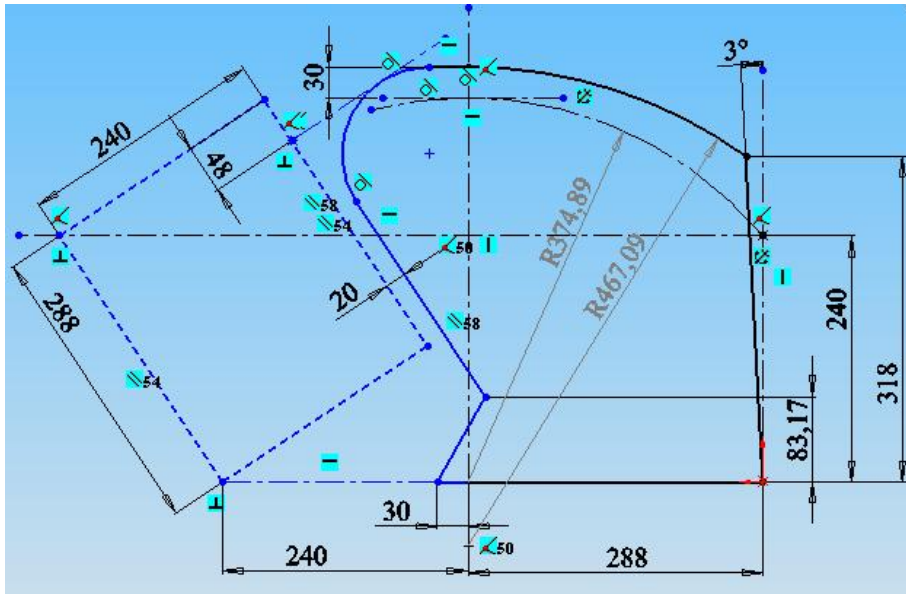


Рис. 6. Фронтальна проекція корпусу плуга.

Модель корпусу плуга створюється відсіканням на поверхні горизонтального циліндроїда частини, що відповідає фронтальній проекції плуга.

1) Формування поверхні горизонтального циліндроїда здійснюється за допомогою функції «Поверхня по перетинах» по каркасі поверхні плуга.

У вікні «Профілі» послідовно вказуються утворюючого каркаса, починаючи з утворюючого нульового рівня. У вікні «Напрямні криві» указується напрямна парабола (рис. 7.)

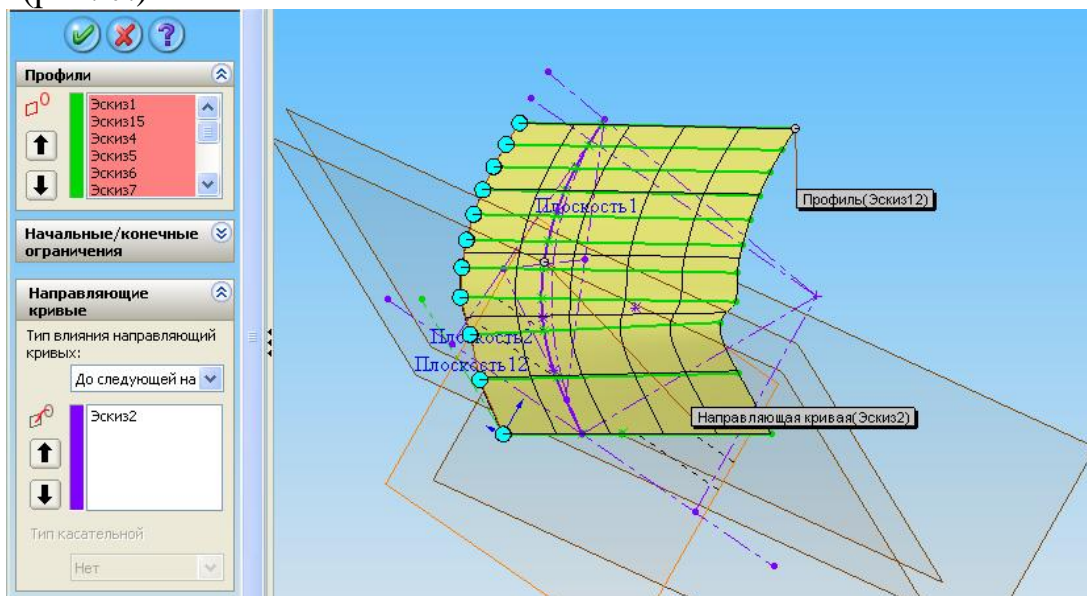



Рис. 7. Формування поверхні горизонтального циліндроїда.

При виділенні профілів, у міру формування поверхні, утвориться напрямна ламана лінія, що притягається до крапок обмежуючі відрізки утворюючих.

Щоб сформувати поверхню плавно інтерполює каркас, доцільно, при формуванні каркаса, забезпечити розташування крапок, що обмежують утворюючі відрізки, уздовж плавної лінії. Цього можна домогтися, наприклад, призначивши рівні відстані для всіх утворюючих від границь до крапок перетинання з напрямною параболою.

2) Як інструмент відсікання поверхні корпуса плуга на поверхні горизонтального циліндра використовується поверхня, отримана методом витягування. Профіль поверхні – фронтальна проекція плуга. Поверхня створюється за допомогою команди  «Витягнута поверхня», рас покладеної на панелі «Поверхні». Напрямок і відстань витягування поверхні повинні забезпечити перетинання витягнутої поверхні з поверхнею горизонтального циліндроїда (дивись рисунок 8).

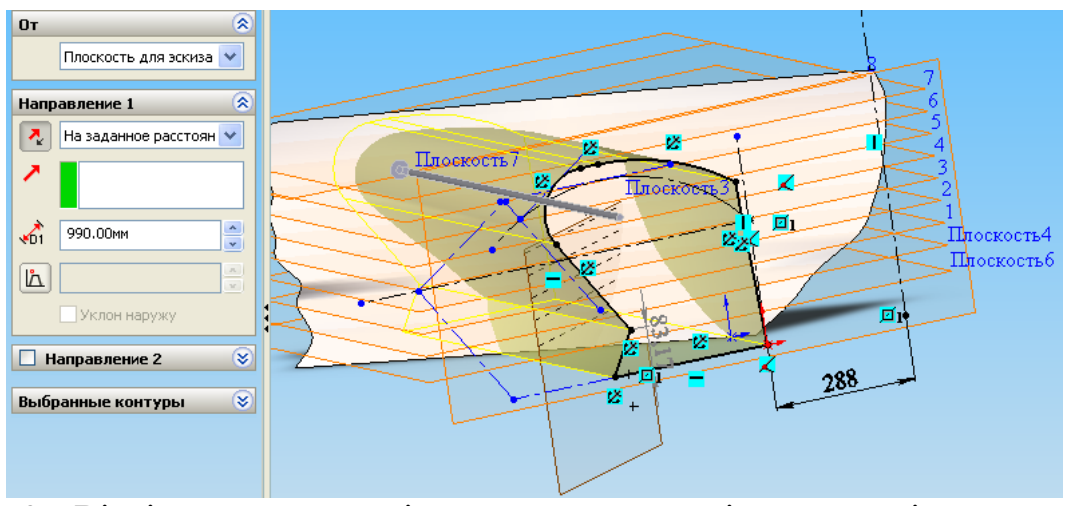



Рис. 8. Відсікання поверхні корпуса плуга від поверхні горизонтального циліндра.

3) Для відсікання поверхні корпуса плуга використовується команда  «Отсечь...» («Відітнути поверхню»), розташована на панелі інструментів «Поверхні». Можна також скористатися командами меню: **Вставка** → **Поверхня** → **Відітнути**. Призначаємо наступні параметри відсікання (дивись Рисунок 9):

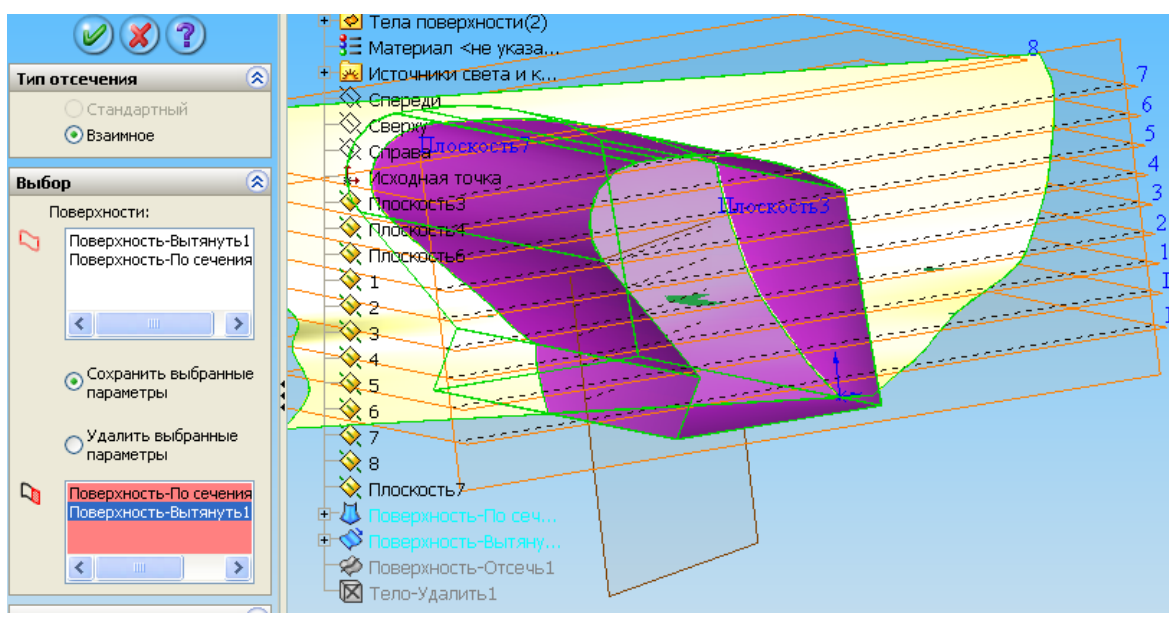


Рис. 9. Відсікання поверхні корпуса плуга від поверхні горизонтального циліндра.

- «Тип відсікання» – взаємне;
- «Поверхні» – указуємо обидві побудовані поверхні;



- «Залишити» – указати частина поверхні циліндроїда, розташовану усередині витягнутої поверхні;
  - «Параметри поділу поверхні» – розділити всі, натуральний.
- 4) Частина, що залишилася, витягнутої поверхні віддається за допомогою **Body-Delete1** команди «Видалити тіло» (**Вставка > Елементи > Видалити тіло**).

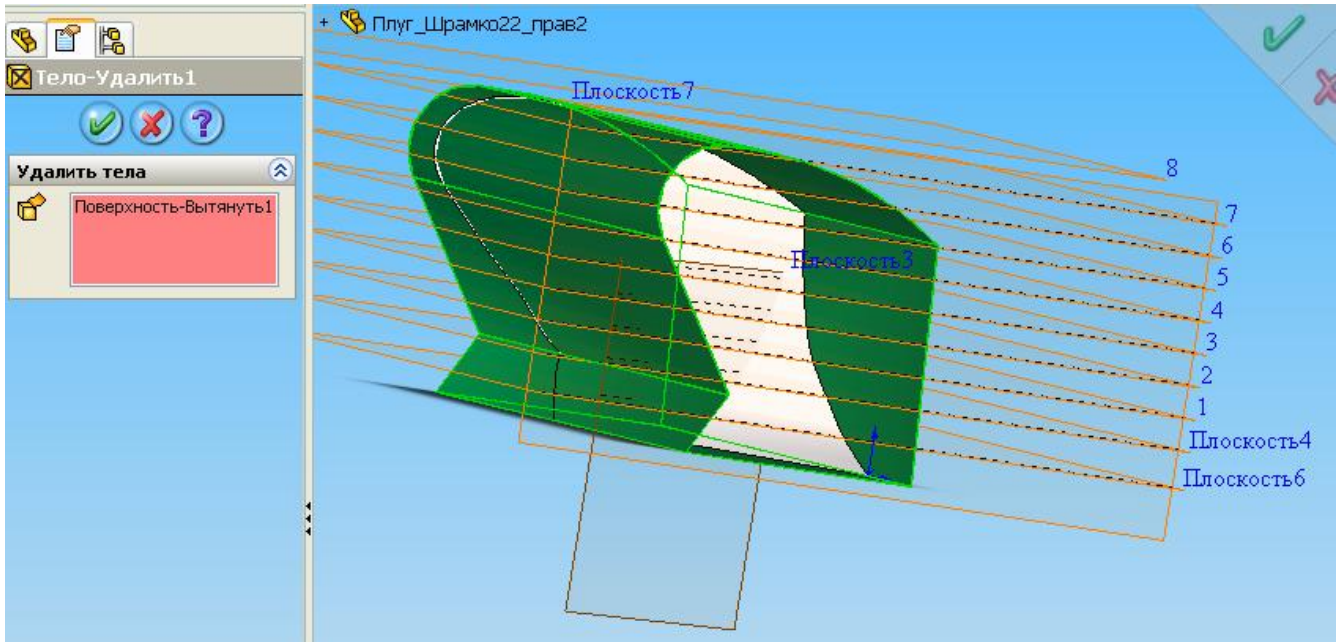


Рис. 10. Видалення частини поверхні, що залишилася.

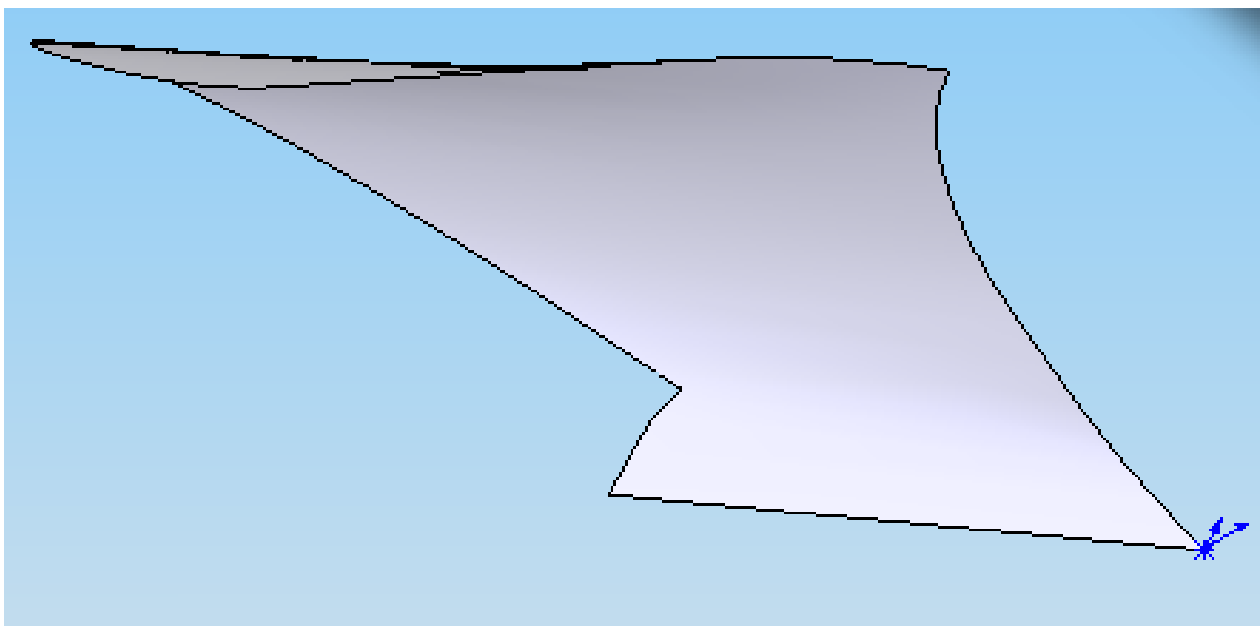


Рис. 11. Тривимірний модель корпусу плуга.

Програмний продукт SolidWorks може брати початкові дані від різних CAD – систем, та інтегрувати свої в них же. Після проектування 3D – моделі можна перевірити її на міцність у модулі CosmosExpress також SolidWorks має ще дуже багато різноманітних прикладних модулів, за допомогою яких з'явиться можливість спроектувати більш складну та ефективну продукцію за менший проміжок години.

**Висновки.** У результаті роботи сформована геометрична модель робочої поверхні корпусу плуга культурного типу, у процесі моделювання сформовані

основні елементи, що визначають поверхню корпусу плуга, а саме:

1. Сформовано напрямну крива, що полягає із прямолінійної й параболічної ділянок, зістиківаних з першим порядком гладкості.

2. Сформовано каркас поверхні горизонтального циліндроїда. Каркас утворений прямою кривою й горизонтальними утворюючими. Положення утворюючих визначається перетинанням з прямою кривою й кутом нахилу до площини стінки борозни.

3. По створеному каркасі сформована поверхня горизонтального циліндроїда в системі SolidWorks.

4. Побудовано фронтальну проекцію корпусу плуга.

5. Відсікання на поверхні горизонтального циліндроїда, частини, що відповідає фронтальній проекції плуга створена тривимірною моделлю корпусу. Створена модель повністю відповідає наданим умовам.

### *Література*

1. Вайнруб В.И. Разработка и исследование корпуса плуга с изменяющимися параметрами отвала. / В.И Вайнруб.: Автореф. дис. канд. техн. наук. - Л-Пушкин, 1965.-14 с.

2. Гячев Л.В. Теорія лемішно-відвальної поверхні./ Л.В Гячев. Праці інституту. Вип. 13.

3. Лептеев А.А. Повышение эффективности обработки почвы лемешными плугами с изменяемыми и оптимизируемыми параметрами / А.А Лептеев.: Автореф. дис. д-ра техн. наук. Мн., 1991.

4. Пихтеева І.В. Автоматизація побудови поверхні горизонтального циліндроїду засобами SolidWorks API/ І.В. Пихтеева, К.Ю Оксамитна., О.С. Гладишева. Праці ТДАТУ - Мелітополь, 2011. Вип. 5, - т. 5. – с. 78-83.

5. Визначення шорсткості поверхонь із застосуванням програмного забезпечення SOLIDWORKS ф. DELCAM plc / О.О. Вершков, О.М .Леженкін, Ю.О. Мацулевич // Сучасні комп'ютерні та інформаційні системи і технології, Матеріали і всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції, Мелітополь 7-25 грудня 2020р. С. 17-23.

6. Формалізація математичної моделі динамічної системи корпусу плуга-грунт //О.О. Вершков, Г.В. Антонова / Сучасні наукові дослідження на шляху до євроінтеграції: матеріали міжнародного науково-практичного форуму (21-22 червня 2019 р.) Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного Ч. 2 (С. 31-33).

7. Динаміка ґрунтообробних агрегатів //О.М. Леженкін, С.М. Коломієць / Сучасні наукові дослідження на шляху до євроінтеграції: матеріали міжнародного науково-практичного форуму (21-22 червня 2019р.) Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного Ч. 1 (С. 153-156).

8.Пихтеева І.В., Дмитрієв Ю.О., Антонова Г.В., Спирінцев В.В. Методика моделювання плоских обводів дугами парабол при виконанні лабораторних робіт здобивачами вищої освіти ТДАТУ / Розвиток сучасної науки та освіти: реалії, проблеми якості, інновації:матер. Міжнародної наук.-практ. інтернет-конф. (Мелітополь, 27-29 травня 2020р.) / ред. кол. : В.М. Кюрчев, В.Т. Надикто, Н.Л. Сосницька, М.І. Шут та ін. – Мелітополь: ТДАТУ, 2020. – С.271-275.

9.Гавриленко Е.А., Холодняк Ю.В., Найдыш А.В., Лебедев В.А. Создание

САD-моделей поверхностей с использованием специализированного программного обеспечения. Прикладні питання математичного моделювання. Херсон: ХНТУ, 2020. Т. 3, № 2.2. С. 66-75.

10. Мацулевич О.Є., Щербина В.М., Холодняк Ю.В. Використання у навчальному процесі системи КОМПАС-3d під час комп'ютерного проектування валів / Розвиток сучасної науки та освіти: реалії, проблеми якості, інновації: матер. Міжнародної наук.-практ. інтернет-конф. (Мелітополь, 27-29 травня 2020р.) / ред. кол. : В.М. Кюрчев, В.Т. Надикто, Н.Л. Сосницька, М.І. Шут та ін. – Мелітополь: ТДАТУ, 2020. – С.247-251.

11. Впровадження та використання комп'ютерних технологій для вирішення задач опору матеріалів/Бондаренко Л. Ю., Тетервак І. Р.// Сучасні комп'ютерні та інформаційні системи і технології, Матеріали і всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції, Мелітополь 7-25 грудня 2020р. С. 82-83.

12. Дереза О.О., Яблонський П.М., Спирінцев В.В. Конструювання геометричних моделей динамічних поверхонь в системі Solid Works при виконанні лабораторних робіт з дисципліни «технології формоутворення складних технічних виробів» / Розвиток сучасної науки та освіти: реалії, проблеми якості, інновації: матер. Міжнародної наук.-практ. інтернет-конф. (Мелітополь, 27-29 травня 2020р.) / ред. кол. : В.М. Кюрчев, В.Т. Надикто, Н.Л. Сосницька, М.І. Шут та ін. – Мелітополь: ТДАТУ, 2020. – С.267-270.

13. Яблонский П.М., Чаплінський А.П., Михайленко О.Ю. Леженкін О.М. Розв'язання задач знаходження лінії перетину довільних поверхонь із застосуванням математичних засобів ПЕОМ / Розвиток сучасної науки та освіти: реалії, проблеми якості, інновації: матер. Міжнародної наук.-практ. інтернет-конф. (Мелітополь, 27-29 травня 2020р.) / ред. кол. : В.М. Кюрчев, В.Т. Надикто, Н.Л. Сосницька, М.І. Шут та ін. – Мелітополь: ТДАТУ, 2020. – С.36-40.

### THREE-DIMENSIONAL MODELING SYSTEM FOR A GEOMETRIC MODEL OF THE PLOW'S WORKING SURFACE

**Abstract.** *An algorithm for improving the technological process of manufacturing a cultural plow blade is considered. Each technological task in an enterprise can have a large number of options, so it is difficult for a specialist to cope with such volumes of work, and in these conditions, the introduction of automated systems is a crucial prerequisite for accelerating production. During the design process, modern methods of constructing a ploughshare-dump surface are studied. In this paper, it is proposed to use the method of constructing the surface of a horizontal cylindrical body and the working surface along a contour in the transverse-vertical projection plane. The Solid Works Solid-State modeling package is used to build the plow surface as a horizontal cylindrical rod.*

**Keywords:** *frame surface, improvement of the technological process, automation of production of the ploughshare-dump surface of the plow, horizontal cylindrical unit, auxiliary plane, frontal plane, guide curve.*