

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**Український державний університет  
науки і технологій**

---

Кафедра «Галузевого машинобудування»

*В авторській редакції*

**ОСНОВИ АВТОМАТИЗОВАНОГО  
ПРОЄКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО  
ОБЛАДНАННЯ**

**ПАРАМЕТРИЧНЕ ПРОЄКТУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ  
МАШИН**

Навчально-методичні  
рекомендації до практичних занять

ДНІПРО  
2024

УДК 621.81-047.84

О 75

Упорядники:

*С. В. Білодіденко, К. В. Баюл, В. І. Гануш*

Електронний аналог  
друкованого видання

Схвалено Групою забезпечення якості освітньої програми  
133 «Галузеве машинобудування»  
Протокол №1 від 04.09.2023 р.

О 75      Основи автоматизованого проєктування технологічного обладнання. Параметричне проєктування деталей машин : навчально-методичні рекомендації до практичних занять / упоряд. С. В. Білодіденко, К. В. Баюл, В. І. Гануш ; Укр. держ. ун-т науки і технологій. – Дніпро : УДУНТ, 2024. – 26 с.

В навчально-методичних рекомендаціях викладено скорочений огляд стану розвитку параметричного проєктування деталей машин. Наведений приклад застосування методу параметричного проєктування типової деталі технологічного обладнання з використанням системи автоматизованого проєктування.

Навчально-методичні рекомендації призначені для опанування освітньої компоненти «Основи автоматизованого проєктування технологічного обладнання» за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування» для ОПП «Галузеве машинобудування» освітнього рівня бакалавр.

Іл. 20, табл. 3, бібліогр. 10 назв.

© Білодіденко С. В. та ін., упорядкування, 2024

© Укр. держ. ун-т науки і технологій, 2024

## ЗМІСТ

	С.
ВСТУП.....	4
1. СТАН РОЗВИТКУ ЗАДАЧ ПАРАМЕТРИЧНОГО ПРОЄКТУВАННЯ.....	5
2. ПРАКТИЧНИЙ ПРИКЛАД ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ПАРАМЕТРИЧНОГО ПРОЄКТУВАННЯ.....	10
3. ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО ВИКОНАННЯ.....	23
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	24

## ВСТУП

Нині дедалі менше суперечок виникає з приводу, який тип проектування є більш практичним – пряме моделювання чи параметричне. Розвиток САД-систем призвело до того, що обидва способи можуть цілком ефективно використовуватися в роботі конструкторів.

Головна та ключова якість, якою наділяє 3D-модель деталі параметризація – це можливість використовувати її нескінченну кількість разів, щоразу адаптуючи розміри та параметри масивів під власні потреби моделі ефективним і відносно легким способом. Значна кількість науковців та інженерів відзначають позитивність здатності застосовувати попередні проекти та процеси до нових ситуацій як істотний фактор у сучасних сценаріях інженерії та розробки нових та модернізованих машин.

З промислової точки зору, параметрична САПР на основі функцій на даний момент є стандартною технологією для створення геометричних моделей і збірок, яка широко використовується в багатьох галузях інженерії. У параметричній моделі геометрія в основному контролюється негеометричними ознаками, які називаються параметрами, які можуть бути визначені розмірними, геометричними або алгебраїчними обмеженнями. При правильному використанні параметрична САД дозволяє додати до моделі семантику проектування, що призводить до швидкої зміни існуючих моделей шляхом простого редагування значень деяких параметрів.

Параметричне моделювання суттєво відрізняється від звичайного двовимірного креслення або тривимірного прямого моделювання. Конструктор у разі параметричного проектування створює математичну модель об'єктів із параметрами, при зміні яких відбуваються зміни конфігурації деталі, взаємні переміщення деталей у складанні тощо. Виділяють чотири основні види параметризації моделей:

1. Таблична параметризація – створення таблиці параметрів типових деталей. Створення нового екземпляра деталі проводиться шляхом вибору таблиці типорозмірів. Даний тип параметризації присутній у всіх сучасних САД-системах, оскільки дозволяє суттєво спростити створення бібліотек стандартних та типових деталей.

2. Ієрархічна параметризація – параметризація з урахуванням історії побудов, у тому, що під час побудови моделі вся послідовність побудови відображається у окремому вікні, як «дерева побудови». У ньому перераховані всі допоміжні елементи, ескізи та виконані операції в порядку їх створення.

3. Варіаційна (розмірна) параметризація – виходить з побудови ескізів з накладенням на об'єкти ескізу різних параметричних зв'язків, накладення обмежень, як систем рівнянь, що визначають залежності між параметрами моделі.

4. Геометрична параметризація – параметричне моделювання, у якому геометрія кожного параметричного об'єкта перераховується залежно від становища батьківських об'єктів, його параметрів та змінних.

В більшості сучасних систем автоматизованого проєктування (САПР) середнього та високого рівня (CATIA, NX, Solid Works, Autodesk Inventor) доступні вказані види параметризації моделей, включаючи табличний спосіб на базі MS Excel та комбінована параметризація з використанням API-технологій – запис та редагування макросів VBA, програмування на мовах Python, Visual C++ і т.д. Доволі часто параметризовані деталі та вузли створюються на базі комбінації вказаних раніше методів параметризації.

У SolidWorks 2020 основним інструментом параметризації є блок «Equation (Рівняння)» у дереві конструювання Feature Manager.

Якщо виділити характеристики проєктованих деталей, котрим доречно параметризація, то це, зазвичай, нестандартні вироби, які кілька разів зустрічаються у складанні, мають подібну конфігурацію, але різні розміри. В цьому випадку, зробивши параметричною одну модель, ви можете не проєктувати нову, створюючи ескізи та ін. Досить змінити кілька значень у розділі «Global variables (Глобальні змінні)» та модель перебудується під потрібні розміри.

**Мета та зміст** даного навчально-методичного видання полягають у вивченні сучасного стану розвитку методів параметричного проєктування деталей технологічного обладнання та в засвоєнні практичного прикладу параметричного проєктування деталі механічного обладнання з використанням системи автоматизованого проєктування.

## 1. СТАН РОЗВИТКУ ЗАДАЧ ПАРАМЕТРИЧНОГО ПРОЄКТУВАННЯ

Незважаючи на значні успіхи, досягнуті в області параметричного моделювання із застосуванням САД систем, розвиток основ створених Шахом [1] та Роллером [2] та підкріплені роботами Андерла та Мендгена [3] залишаються актуальними. Дослідники загалом погоджуються, що для створення ефективної параметричної моделі деталі/вузла/машини необхідно чітко та раціонально визначені та розпізнані функціональні параметри деталей, що моделюються. Хоча багато авторів вивчали параметрику моделювання з точки зору технології, її математичної основи та її переваг при розробці продукту процесу, лише нещодавно вчені почали вивчати стратегії моделювання.

Згідно Ріну та Гограну [4], ефективне використання САД систем вимагає придбання стратегічних знань, таких, як вибір альтернатив твердотільного моделювання та правильне використання обмежень моделювання для визначення намірів проєктування.

З більш практичної точки зору, методології проєктування, вимоги до організації та методи тривимірного моделювання деталі/вузла/машини описані німецькою нормою VDI2209 [5], яка підкреслює важливість «процесу мислення», як необхідного кроку для створення надійних САД моделей та підготовки наступних кроків процесу моделювання. На жаль, конкретні процедури САД моделювання та формальні стратегії не розглядаються в

жодному з цих документів через складність роботи з когнітивним елементом людини, яка бере участь у процесі прийняття рішень під час процесу моделювання. Крім того, як стверджують Бодейн та співавтори [6], дослідницька спільнота в основному зосереджена на тому, щоб зробити CAD моделі все більш комплексними, включаючи різні рівні інформації, щоб допомогти дизайнерам під час процесу прийняття рішень. Наприклад, такі механізми, як системи, засновані на знаннях, або анотації моделей, були розроблені, щоб допомогти дизайнерам у створенні більш багаторазових моделей, але були прикладені обмежені зусилля для розробки ефективних процедур CAD моделювання.

Спроби визначити формальні параметричні методології проектування спочатку були зосереджені на моделюванні складань. Було запропоновано деякі стратегії з точки зору того, як компоненти мають бути організовані в контексті складання та які обмеження та відносини необхідно встановити між компонентами (дизайн зверху вниз). Наприклад, Алексіос та співавтори [7] пропонують методологію моделювання складання зверху вниз, засновану на інтеграції семантичних елементів з моделями CAD. Незважаючи на незаперечну перевагу такого підходу, методи моделювання складання є лише невеликою частиною загальної схеми розробки параметричного продукту. Більш ефективні методи моделювання також вимагають адекватних стратегій моделювання для окремих частин. Хоча деякі автори наважилися визначити рекомендації та передові методи моделювання деталей, ця область залишається відносно невивченою. Хартман [8], наприклад, визначив процедуру, засновану на спостереженні за тим, як досвідчені проєктувальники створюють моделі. Метою його дослідження було з'ясувати зв'язок між ментальною моделлю експерта та конкретними виконаними моделюючими діями. Рін та Гогран [4] розробили стратегію, засновану на когнітивному моделюванні, щоб максимізувати наміри проектування при проектуванні деталей CAD. Бланцер та ін. [9] запропонували методологію, яка підкреслює модифікації та потреби замовника, як фундаментальні елементи для визначення геометрії CAD моделі. Аналогічно, Компані та ін. [10] запропонували набір найкращих методів моделювання для якісного навчання САПР на основі прогресивного вдосконалення, яке можна оцінити за допомогою серії скоординованих рубрик. Деякі дослідники рекомендують створювати моделі з використанням меншої кількості, більш складних функцій, оскільки ці частини можна моделювати швидше, тоді, як інші стверджують, що найкраща стратегія моделювання не може призвести до частин з найменшою кількістю функцій, оскільки загальна ефективність моделі значною мірою залежить від простоти внесення змін.

Загалом визначено три основні стратегії моделювання:

- горизонтальне; явне еталонне; стійке моделювання.

Ці три методології є загальнодоступними, використовуються та прийняті у професійному середовищі. Хоча, ймовірно, існують інші методології або

варіації поточних методологій, їх конкретні відомості часто захищені або недоступні для громадськості. Ефективні стратегії САПР можуть легко перетворитися на конкурентні переваги, тому компанії часто захищаються та неохоче розкривають їх.

В таблиці 1.1 наведено основні особливості вказаних трьох методологій проектування.

Таблиця 1.1

Переваги та недоліки трьох типових методів моделювання складання		
Назва методу	Переваги	Недоліки
Тривимірна топологічна збірна модель.	Модель є найпростішою для опису. Зв'язок складання є наочним і інтуїтивно зрозумілий	Відсутня інформація про збірку. У процесі складання є багато вирізаних наборів. Розберіть питання доцільності.
П'ятивимірна топологічна збірна модель.	Опис моделі простий. Інформація про збірку точна і завершена.	Спосіб визначення нудний і неінтуїтивний. Інтеграція процесу проектування продукту є складною.
Ієрархічна семантична веб-модель.	Семантика визначається у формі предиката. Атрибути частини. Атрибут зв'язку сутності. Опис моделі не простий. Інтуїтивне відношення складання.	Комплексне визначення. Інтеграція процесу проектування продукту є важкою.

Загальною метою ефективної методології параметричного моделювання має бути побудова простих, легких для розуміння дерев проектування та з невеликою кількістю залежностей, які належним чином передають наміри проектування.

Загальна класифікація основних операцій 3D-моделювання, що надаються параметричними САД системами, і всіх можливих обмежень, які можуть бути пов'язані з певною формою наведена на рис. 1.1. Точніше, параметричні обмеження розділені на дві групи або категорії: категорію I та категорію II. Категорія I включає обмеження, які можуть бути визначені елементами, які не є частиною геометрії моделі. Категорія II включає обмеження, які завжди повинні посилалися на наявні особливості або аспекти геометрії. Наприклад, такі операції, як витягування та обертання, засновані на двовимірних ескізах, які можна створити на опорних датах (категорія I), тоді як фаски та згини завжди повинні бути пов'язані з наявними об'єктами (категорія II).

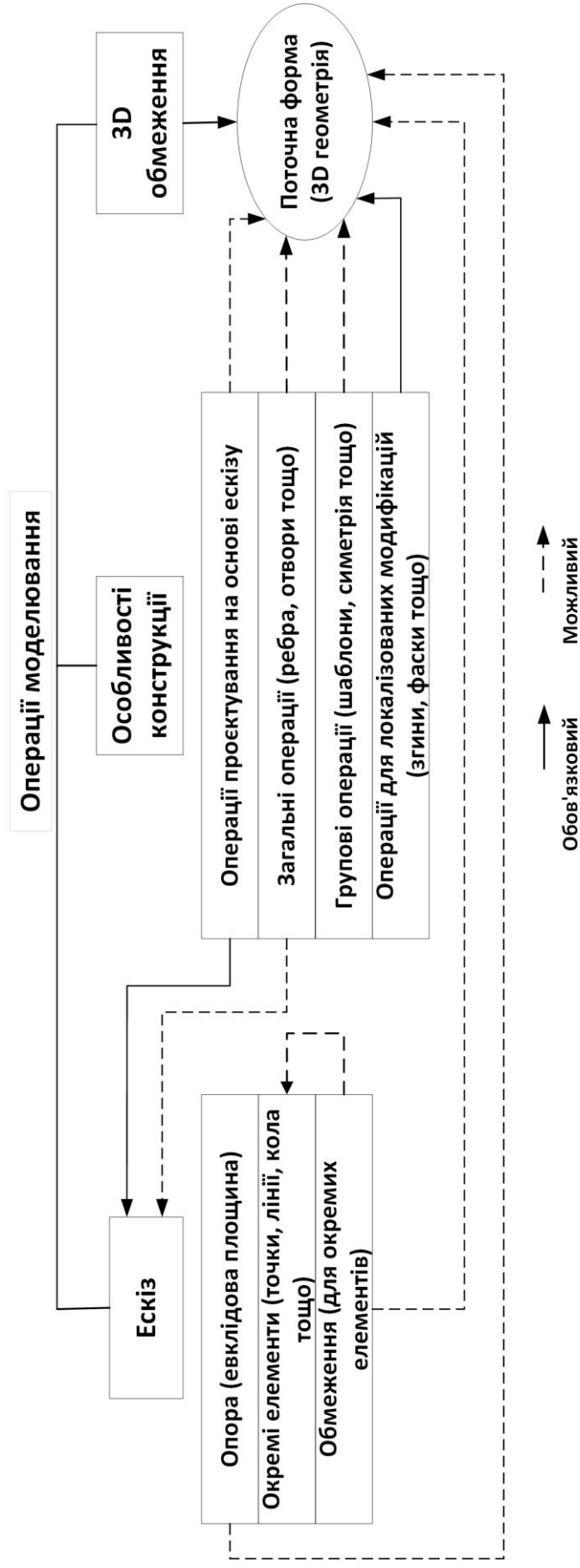


Рис. 1.1. Класифікація операцій моделювання та пов'язаних з ними обмежень

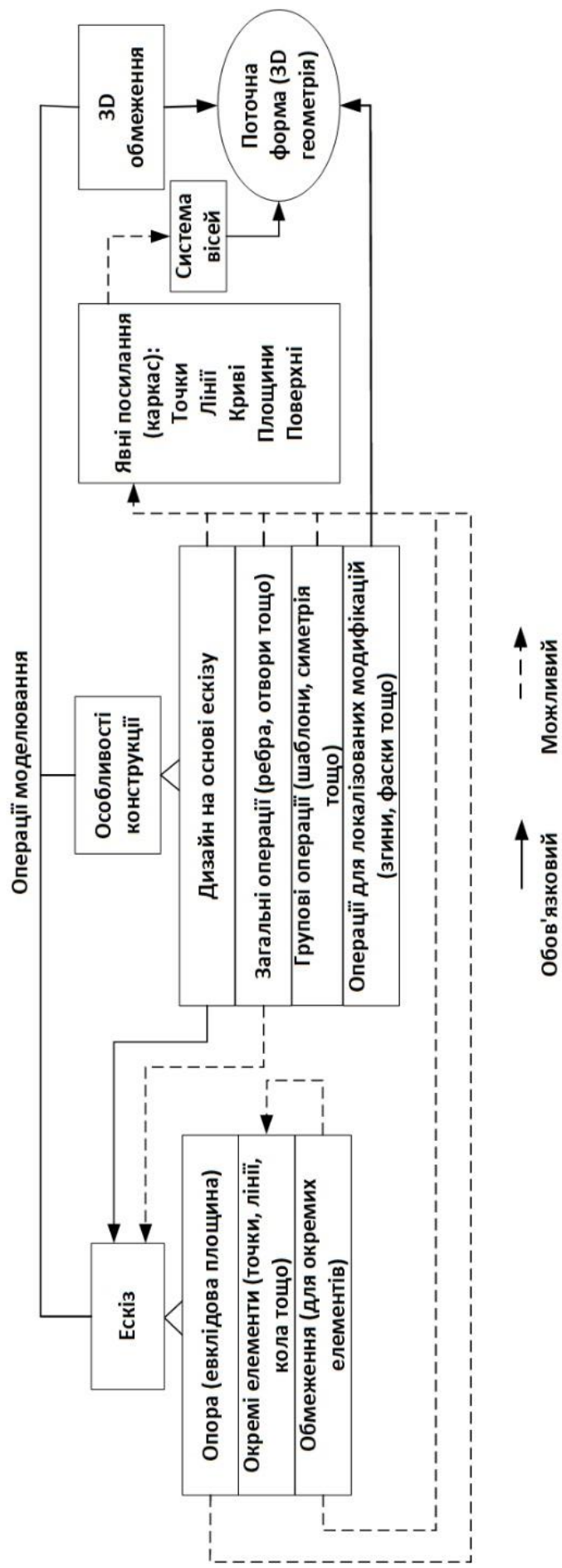


Рис. 1.2. Операції моделювання, засновані на явному управлінні відносинами ознак

На основі цієї класифікації розроблено методологію моделювання явних посилань, стратегію, спеціально розроблену для складних деталей, яка зосереджена на мінімізації кількості обмежень, пов'язаних із наявною геометрією, шляхом ефективного керування функціональними посиланнями. На думку авторів, хоча більшість геометричних елементів може слугувати основою для створення нових об'єктів (наприклад, нові ескізи можна створювати безпосередньо на існуючих плоских поверхнях 3D-моделі), їх використання має бути обмежено локалізованими операціями модифікації (рис. 1.1). У більшості випадків існуючу геометрію для підтримки обмежень можна замінити зовнішніми даними, такими як точки, площини або лінії (рис. 1.2).

Крім того, відповідно до стратегії моделювання явних посилань, залежні ознаки (дочірні вузли) повинні бути розміщені якомога ближче до батьківського. Розміщуючи дочірні об'єкти ближче до відповідних батьківських, об'єкти в дереві конструювання групуються разом візуально та на основі функціонального елемента, який вони представляють, що, природно, робить дерево проєктування більш інтуїтивно зрозумілим та легким для дотримання. Ця структура полегшує розуміння моделі навіть користувачам, які не знайомі з моделлю або не брали участі в її створенні.

Моделі, які дотримуються логічної послідовності кроків, краще розуміються проєктувальниками, ніж моделі, створені за допомогою неструктурованих стратегій. Нарешті, потрібні особливі міркування щодо функцій, які, ймовірно, будуть змінені або вилучені. Оскільки відносини між батьківськими та дочірніми компонентами все ще дозволені, невідповідність моделі все ще може виникати. Це особливо важливо в складних моделях з великою кількістю функцій. Функція, створена на початку процесу моделювання (таким чином, розміщена на високому рівні в дереві проєктування) може викликати проблеми з регенерацією при зміні або усуненні, якщо від неї залежать інші важливі функції, оскільки зміна може опосередковано вплинути на її дочірні вузли. Щоб мінімізувати небажані ефекти регенерації, методологія рекомендує всі функції, які, ймовірно, будуть модифіковані або вилучені з моделі, розміщувати на найнижчих рівнях у структурі дерева.

## **2. ПРАКТИЧНИЙ ПРИКЛАД ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ПАРАМЕТРИЧНОГО ПРОЄКТУВАННЯ**

В якості прикладу виконано параметричне проєктування доволі простої деталі – шківна клиноремінної передачі, яка з'єднує вал електродвигуна та швидкохідний вал редуктора. Ця деталь взята в якості прикладу з міркування наочності та зручності пояснення створення параметричних залежностей в деталях машин.

Робота виконується системі Solid Works з англomовною версією інтерфейсу.

Для початку роботи створюється робочий файл (рис. 2.1). Обирається меню «File», далі в меню вкладка «New». Після чого з'являється вікно «New SOLIDWORKS Document». В даному вікні потрібно обрати вкладку «Tutorial» і в цій вкладці іконку з назвою «Part».

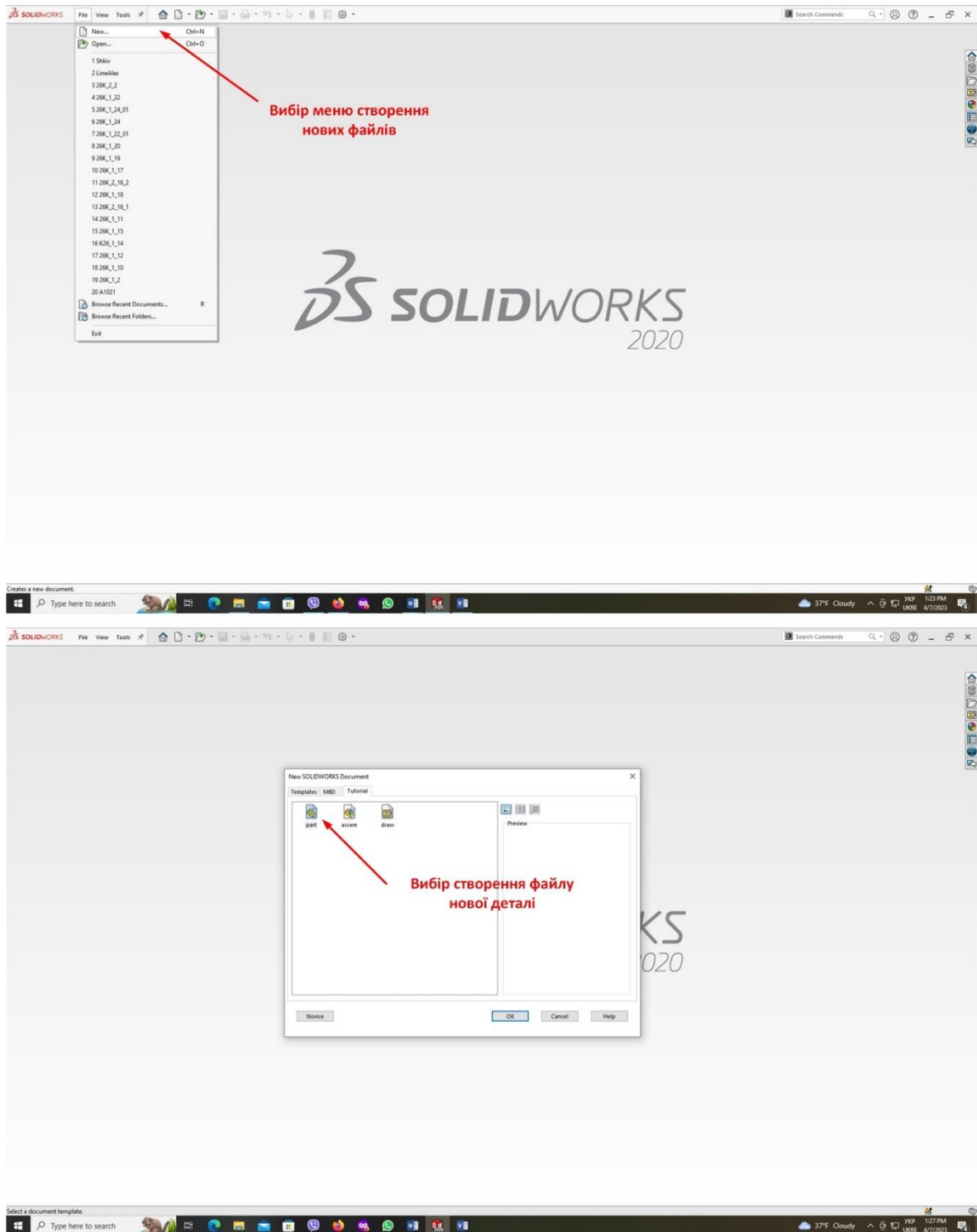


Рис. 2.1. Створення файлу нової деталі

В створеному файлі деталі обирається площина, в якій буде будуватися ескіз контуру деталі – обирається площина «Front» (XY) в дереві побудов (рис. 2.2). З використанням інструменту «Centerline» будується осьова лінія.

Зовнішній контур деталі будується довільно, без прив'язки до реальних розмірів. Інструментом «Centerline» креслиться розрахунковий діаметр шківів, теж, довільно.

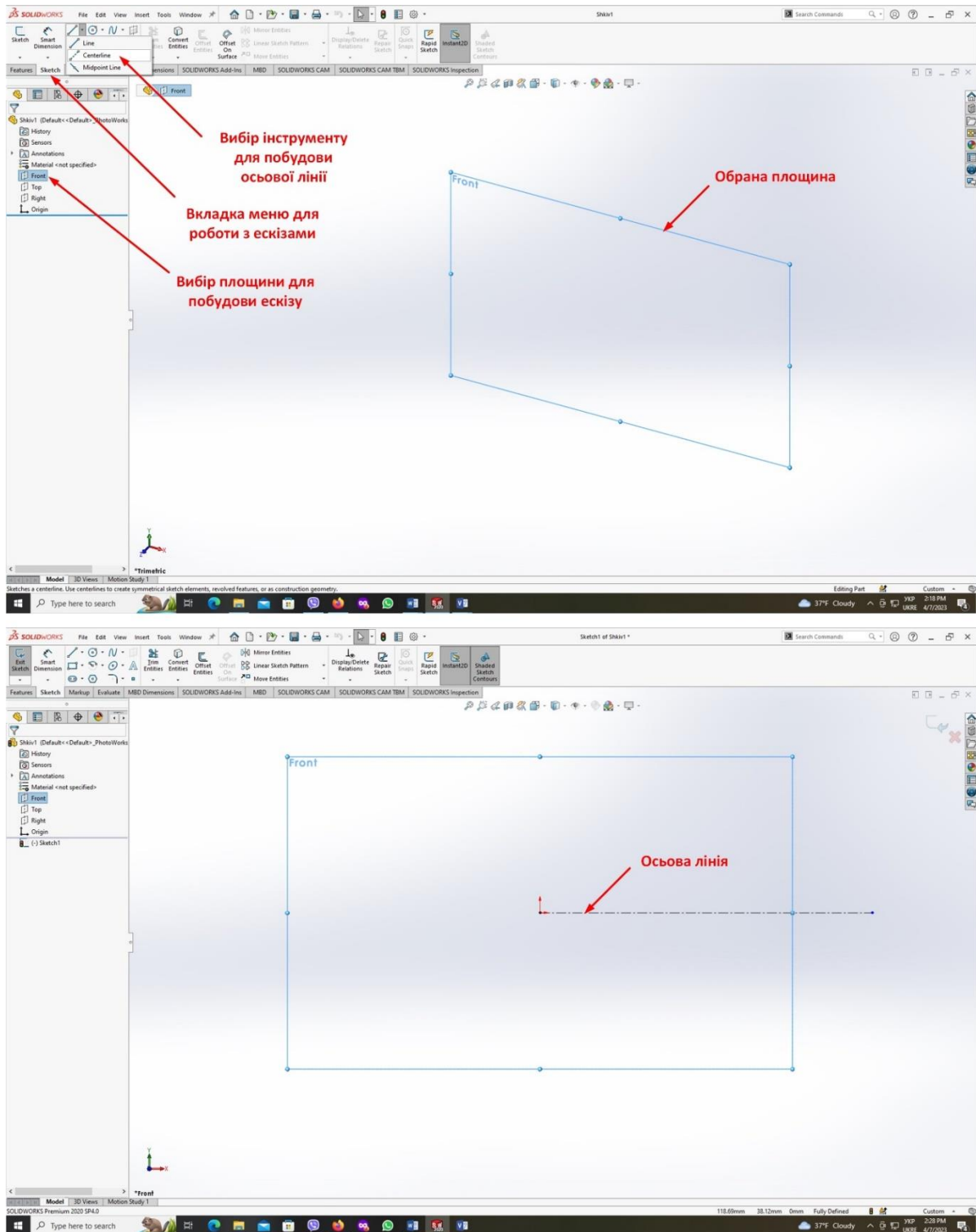


Рис. 2.2. Початок створення ескізу контуру шківів

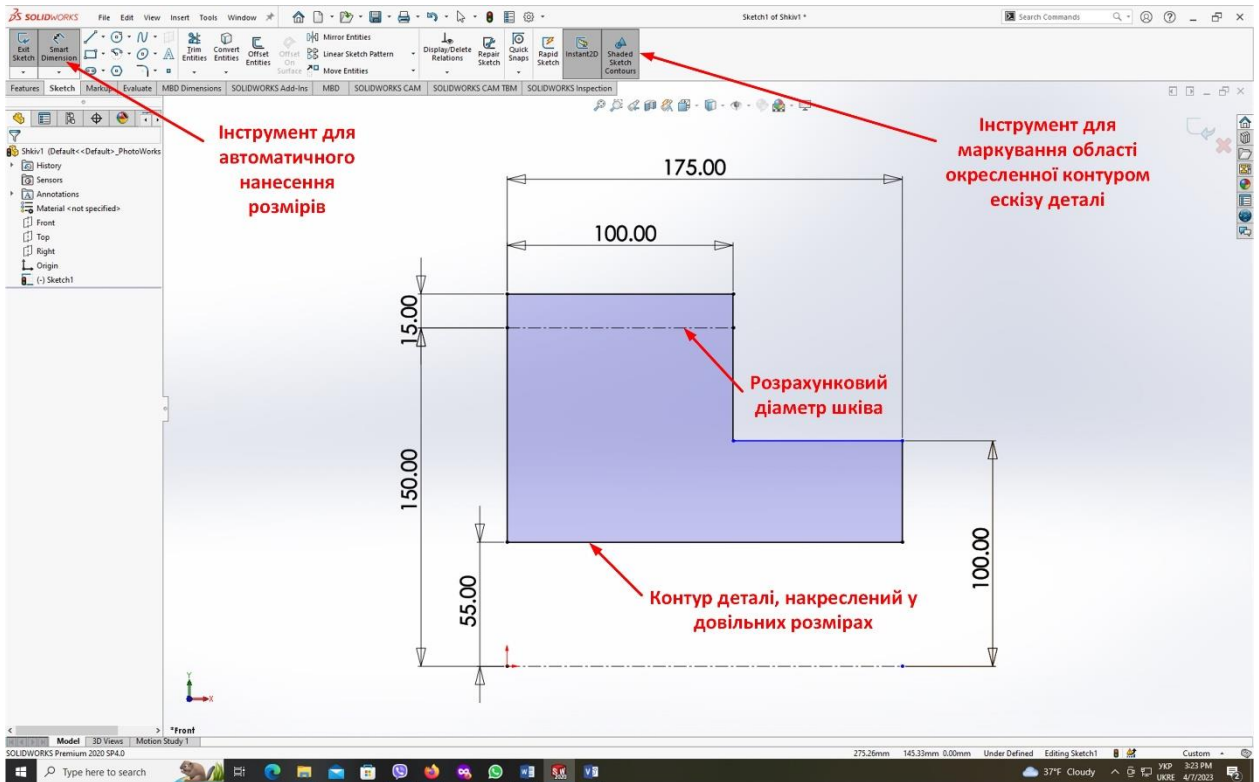


Рис. 2.3. Загальний вигляд результату побудови початкового контуру для створення моделі шківа

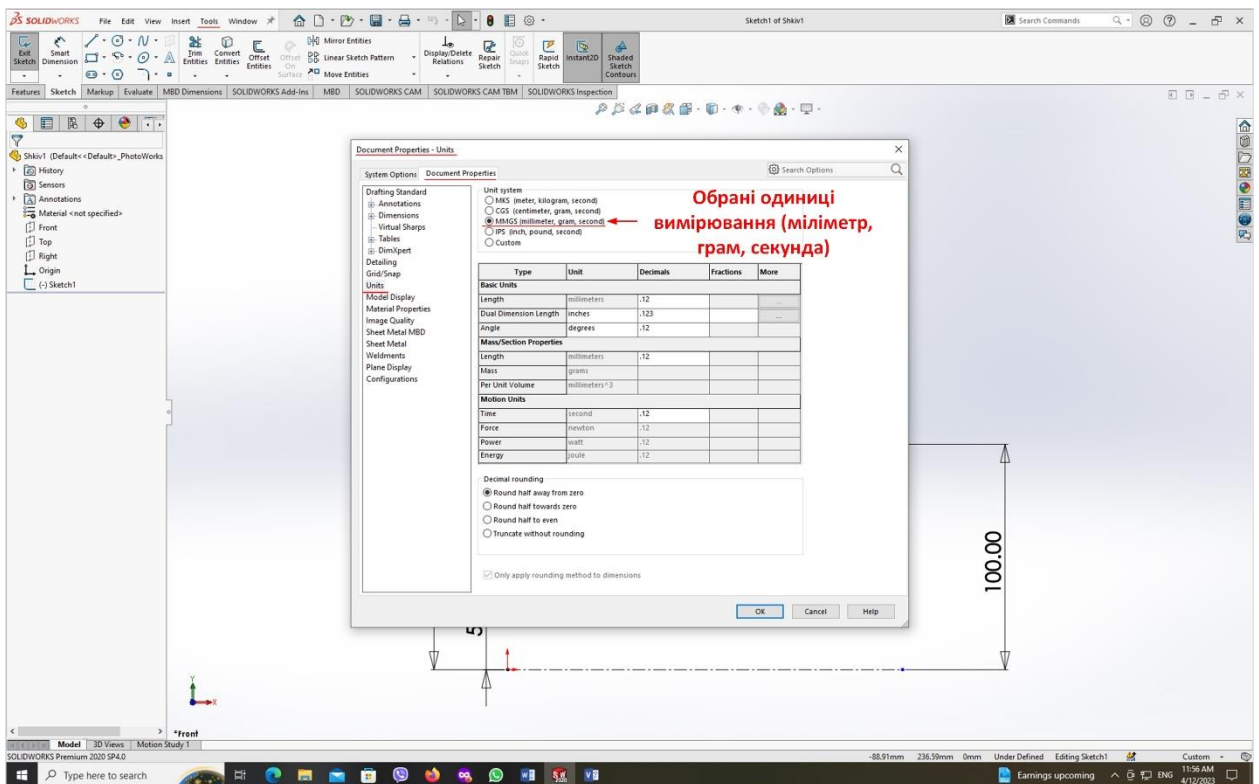


Рис. 2.4. Загальний вигляд результату побудови початкового контуру шківа

Інструментом «Автоматичне нанесення розмірів» робимо ескіз визначеним. Для відображення значень у мм виконуємо наступні дії: «Tools» – «Options» – Вкладка «Document Properties» – пункт у переліку «Units» – MMGS (millimeter, gram, second) (рис. 2.4).

Інструментом «Features» – «Revolve» отримується тверде тіло, попередньо вибравши вісь обертання, навколо якої буде обертатись ескіз (рис. 2.5).

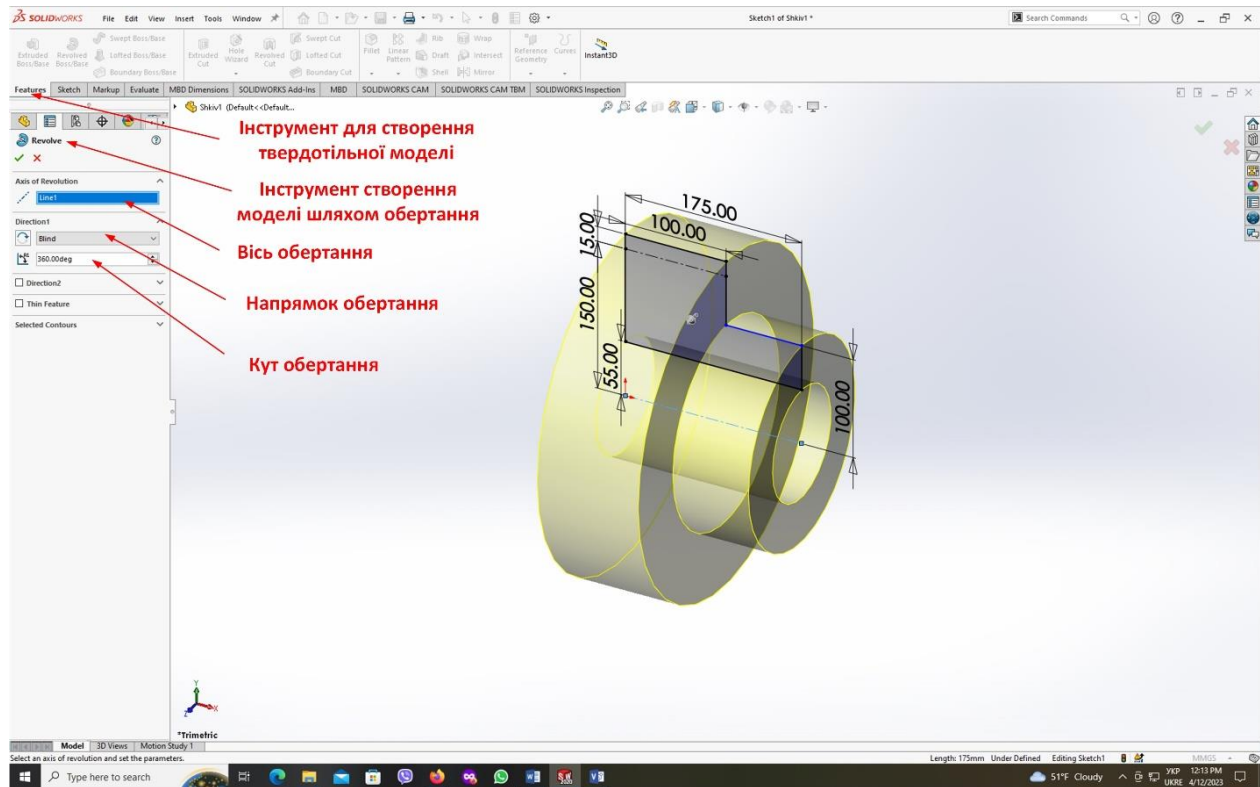


Рис. 2.5. Створення твердотільної основи параметричної моделі шків

Далі здійснюється перехід до головного меню в розділ «Tools» – «Equations, Global Variables, and Dimensions» – «Dimension View» (рис. 2.6).

У розділі «Global Variables» вказується позначення габаритної довжини шків у вигляді змінної «L». В розділі «Value/Equation» вказується довільне значення змінної «L» та за допомогою вбудованого меню «Units» обирається розмірність даної змінної – mm. У стовпці «Comments» вставляється коментар до змінної «L» – «Ширина шків». Це необхідно для ідентифікації змінної.

Далі в полі «Add global variable» вказуються інші змінні, необхідні для побудови параметричної моделі шків, вводяться їх значення та коментарі до них. До цих змінних відносяться: «Dbob» – діаметр бокової бобишки, «d» – діаметр посадочного отвору; «b» – глибина канавки над розрахунковим діаметром; «Dp» – розрахунковий діаметр шків.

Значення можна вказувати реальні або орієнтуватися на ті, що є в розділі «Dimensions», розташованому нижче, які відносяться до ескізу початкового контуру шківів «Sketch 1».

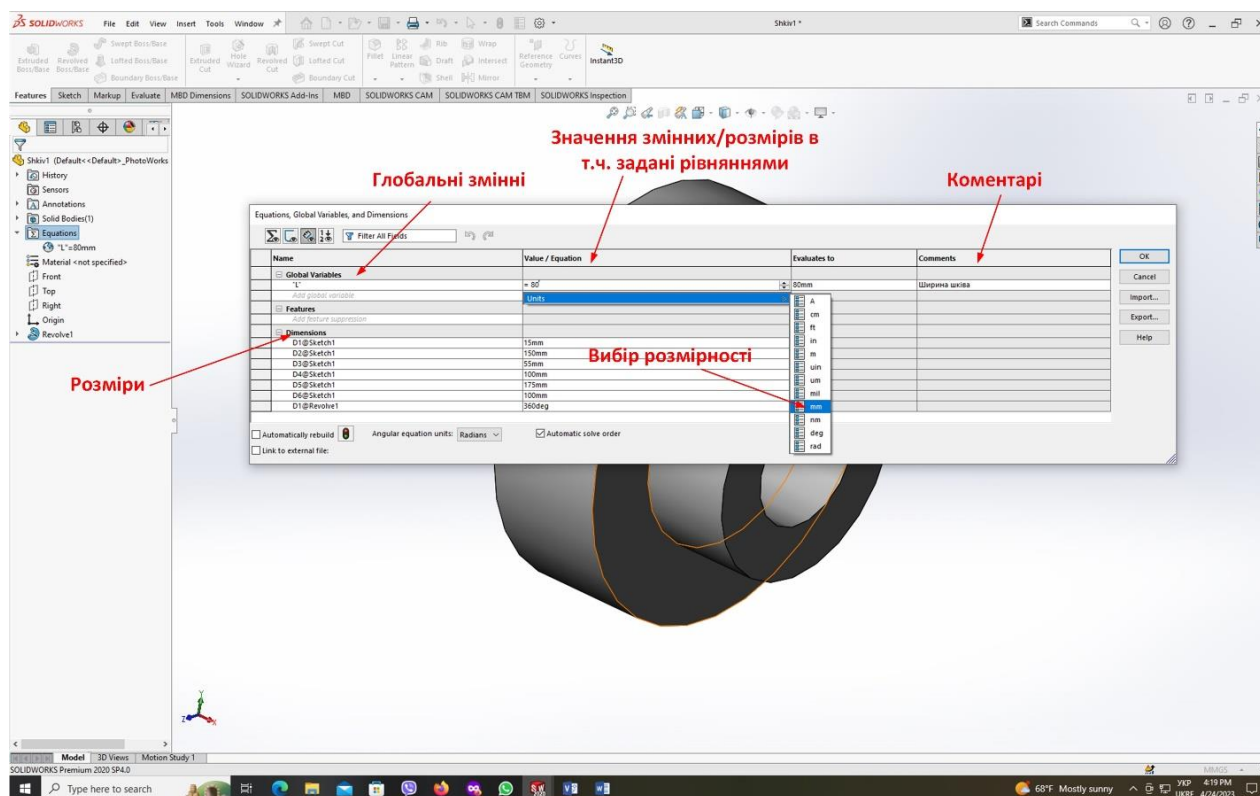


Рис. 2.6. Введення параметрів глобальних змінних та інших розмірів моделі шківів

Встановлюється взаємозв'язок між існуючими розмірами та змінними розділ «Dimensions». Для цього у стовпці “Value/Equation” числа замінюються змінними. Порядок присвоєння змінної розміру – колишній: «=>» та назва змінної.

Далі в моделі виконується шпонковий паз. Відповідно до ISO/R 773-1969 (з врахуванням умов проектування) розміри паза шпонки залежать від діаметра посадкового отвору. Включаються і ці розмірні параметри в змінні.

Шпонковий паз отримується інструментом «Extruded Cut».

Для побудови контуру шпонкового паза обирається інструмент «Sketch», а площиною для його побудови – один з торців шківів. Для зручності креслення площина повертається за нормаллю до екрана за допомогою піктограми «Normal To» (Ctrl+8) у розділі «View Orientation» (рис. 2.7).

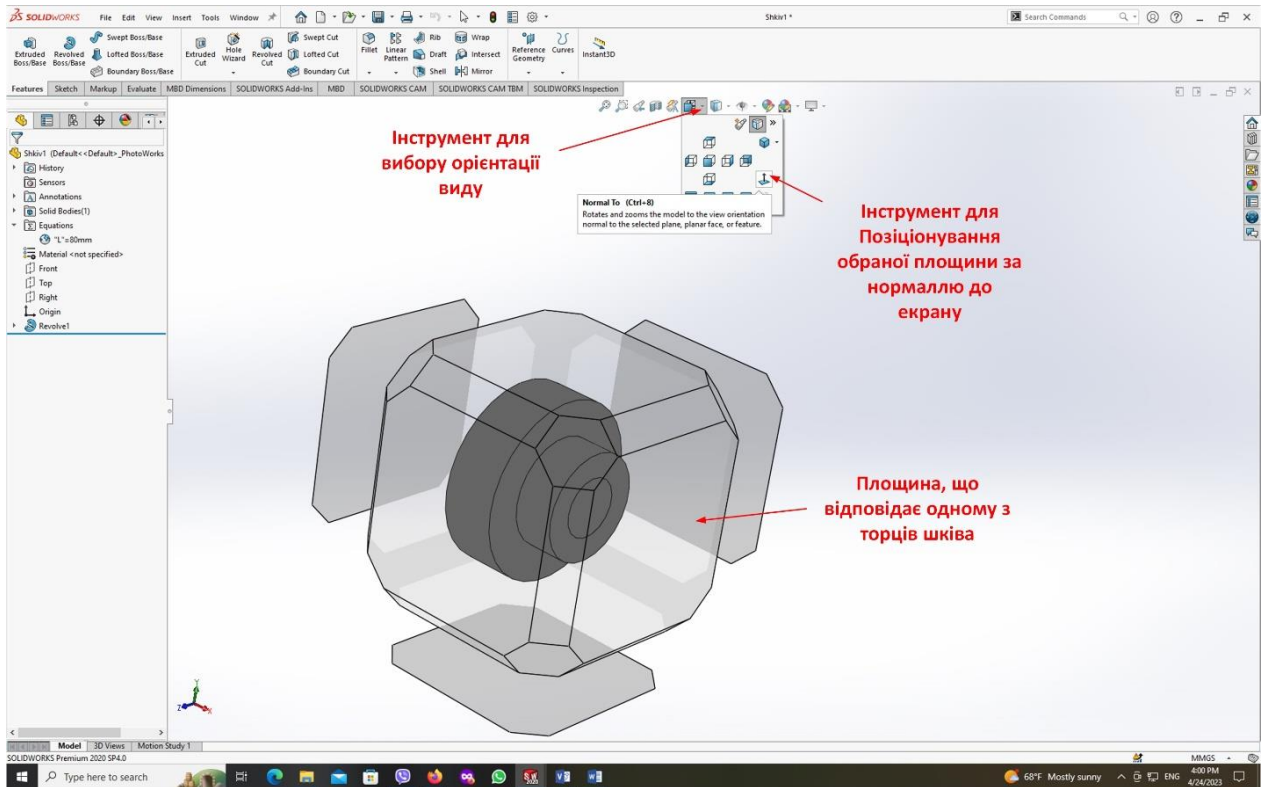


Рис. 2.7. Вибір орієнтації для формування шпонкового пазу

Створюється довільний прямокутник та зв'язується з інструментом «Centerline» центр нижнього відрізка з нульовою точкою (рис. 2.8).

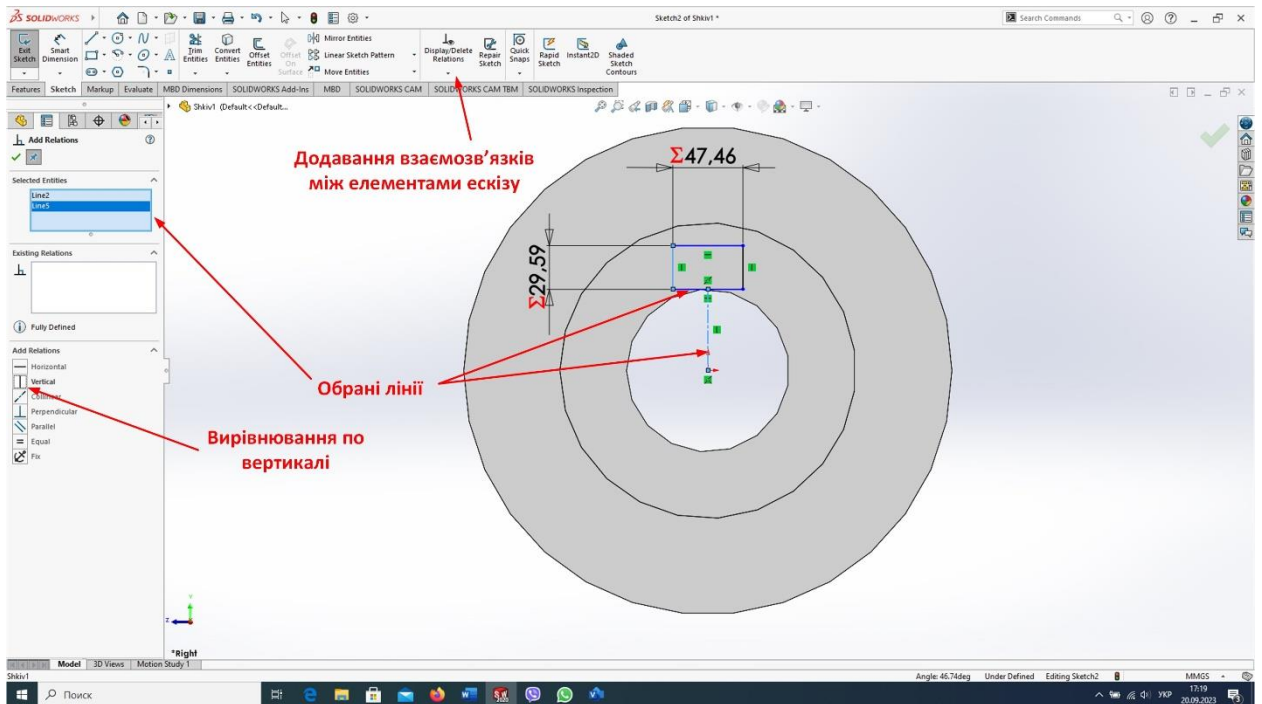


Рис. 2.8. Формування шпонкового пазу 1 етап

У вкладці «Sketch» обирається стрілка під кнопкою «Display/Delete Relations» (рис. 2.9) та в меню, що випадає, натискається параметр «Add Relation». Обирається осьова лінія та зліва, у розділі «Add Relations», вибирається «Vertical». Натискається на зелену галочку. Осьова лінія стала вертикально.

Користуючись інструментом «Add Relation», прив'язуються точки нижньої лінії до краю отвору. У розділі «Add Relations» слід вибирати «Coincident».

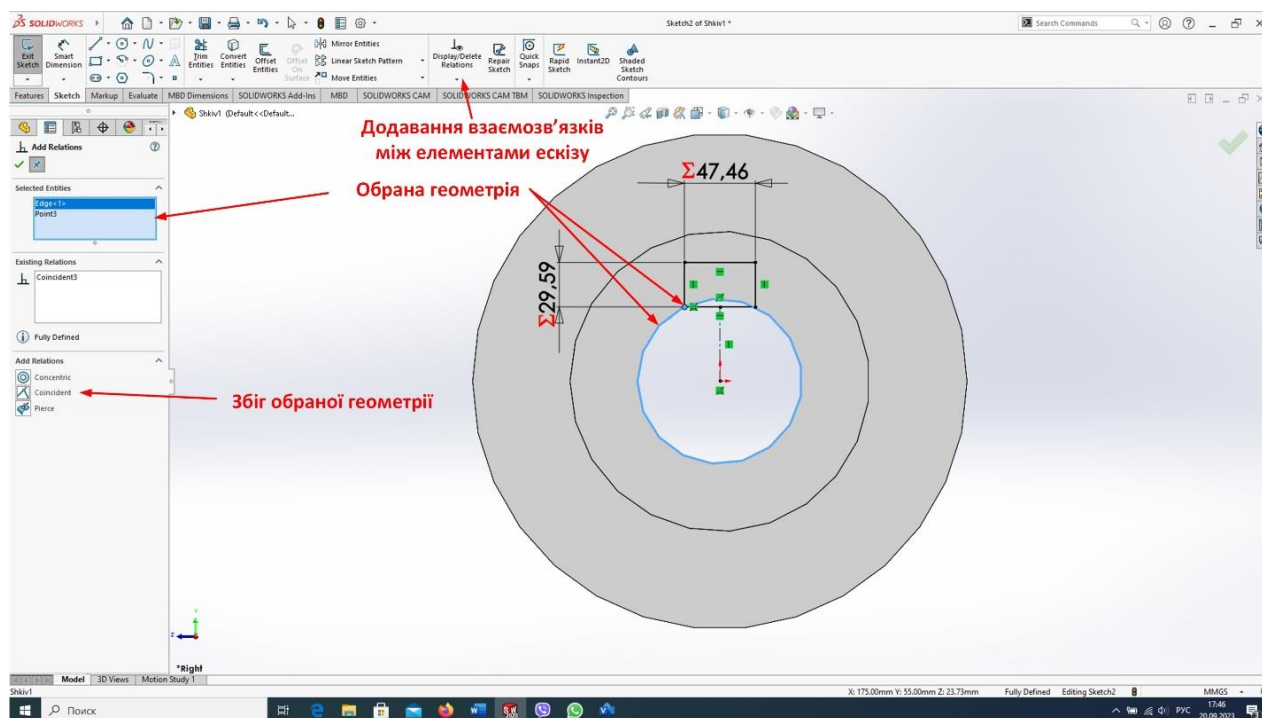


Рис. 2.9. Формування шпонкового пазу 2 етап

Для остаточного визначення ескізу використовують два розміри – ширину і висоту прямокутника, зав'язавши їх на дві змінні (рис. 2.10):  $h_{sp\_паза}$  (висота шпонкового паза), аналогічно вводиться  $b_{sp\_паза}$  (ширина шпонкового паза).

У вкладці «Features» вибирають «Extruded Cut». Зліва, у розділі «Direction 1» необхідно вибрати «Through All» (рис. 2.10). Натискається зелена галочка та паз виконаний.

Далі необхідно вирізати одну канавку для клинового паса. Канавка виконується інструментом «Revolved Cut». Для цього необхідно створити ескіз в площині обертання. Вибирається площина, ставиться за нормаллю до екрану та виконується ескіз. Елементи ескізу виконуються симетричними, зв'язуючи центри горизонтальних відрізків осьовою лінією та налагоджуючи на неї взаємозв'язок «Vertical» (рис. 2.11).

Формується осьова лінія, яка необхідна для того, щоб вказати розрахунковий діаметр шківів.

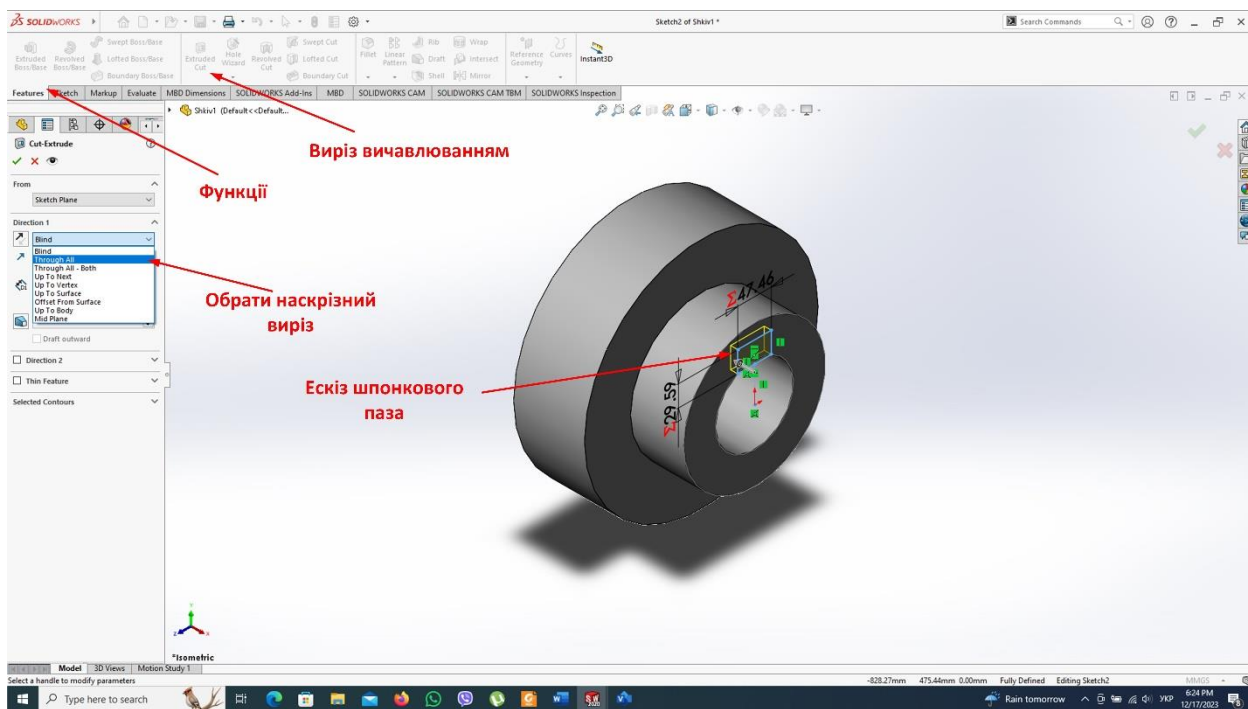


Рис. 2.10. Формування шпонкового пазу 3 етап

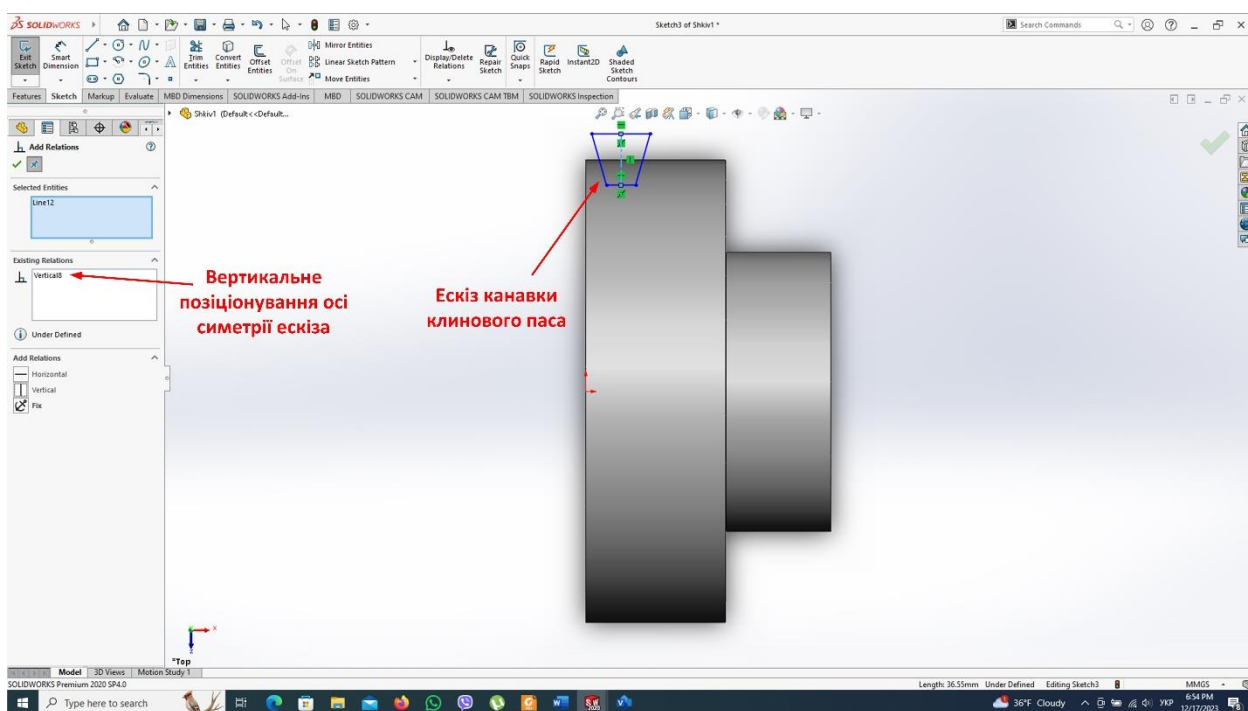


Рис. 2.11. Формування ескізу канавки для клинового паза

Ескіз канавки необхідно параметризувати (рис. 2.12), вводячи змінні « $f$ » (відстань між віссю канавки та торцем шківa), « $W_p$ » (розрахункову ширину канавки), « $\alpha$ » (кут розкриття канавки) та « $h$ » (глибина канавки нижче за

розрахункову ширину). Відстань від твірної до розрахункового діаметра – це змінна «b», яка вже є у розділі «Global Variables».

Використовуючи функцію «Revolved Cut» на поверхні шківів створюється канавка для клинового паса (рис. 2.13).

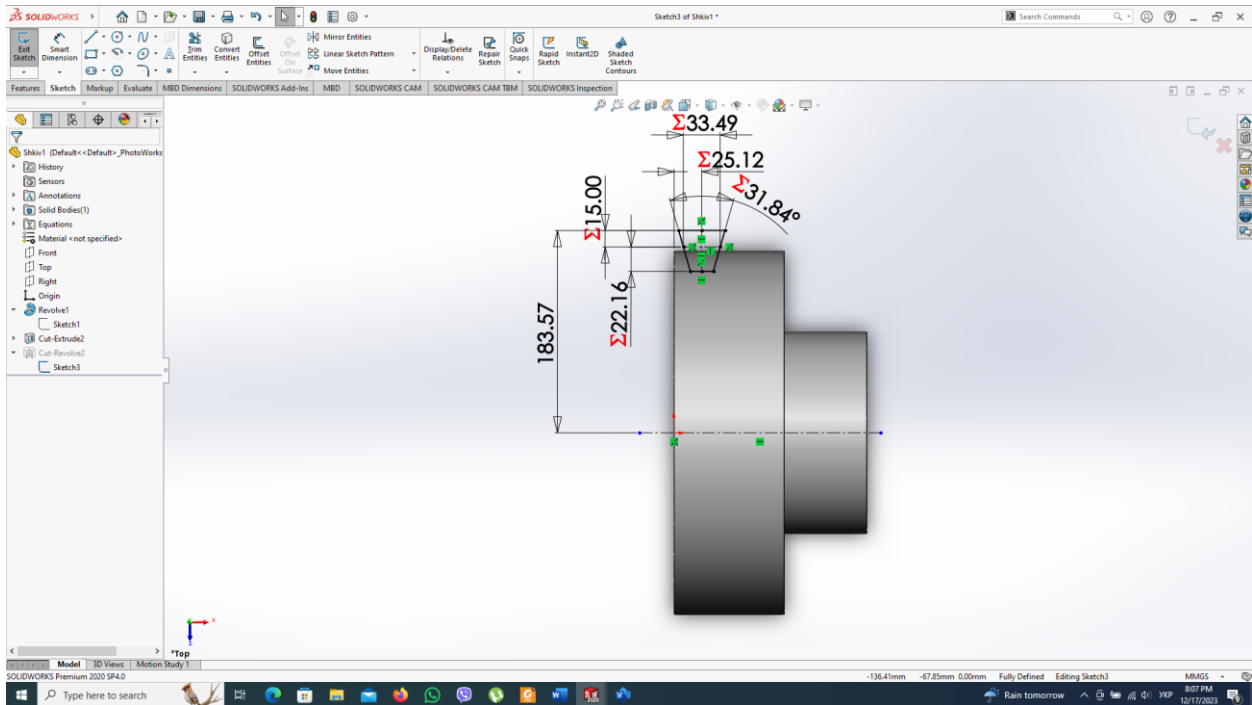


Рис. 2.12 Параметризація ескізу канавки для клинового паса

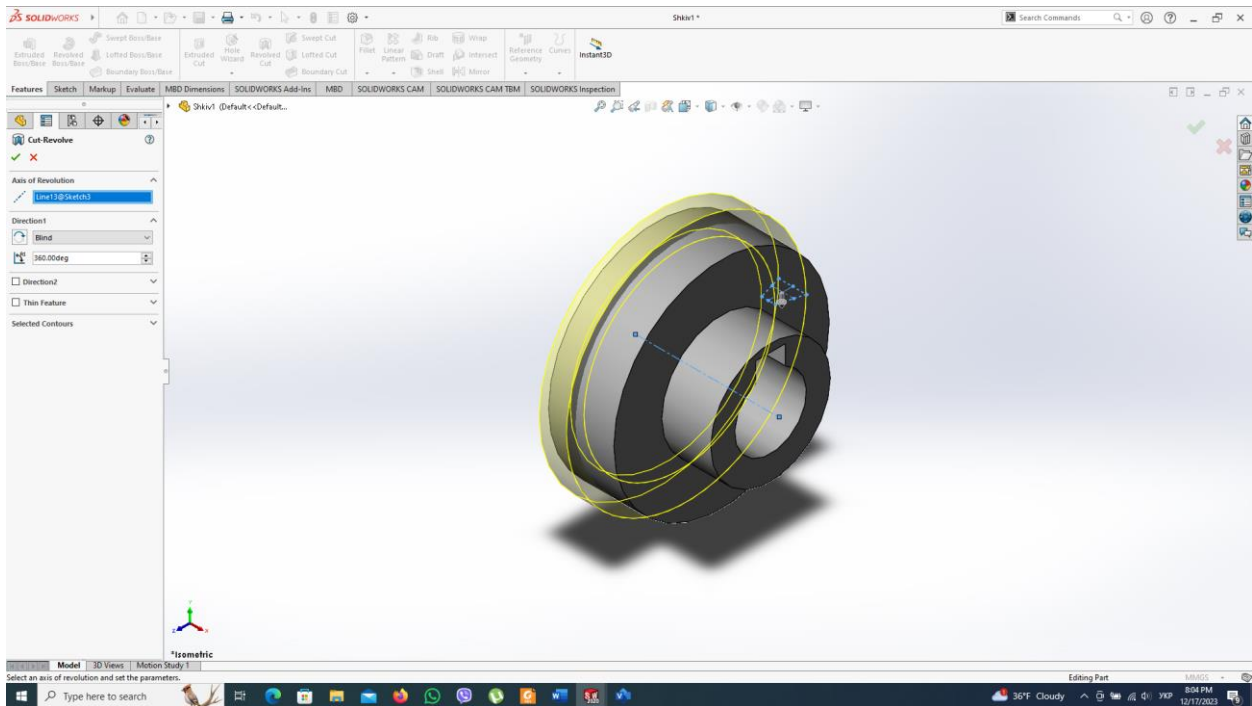


Рис. 2.13. Створення кругової канавки для клинового паса на поверхні шківів

Після того, як на поверхні шківів сформована канавка для клинового паса стає можливим створити лінійний масив цих канавок. На вкладці «Features» обирається піктограма «Reference Geometry», у меню вибирається «Axis». Вісь створюється після вибору циліндричної поверхні (рис. 2.14).

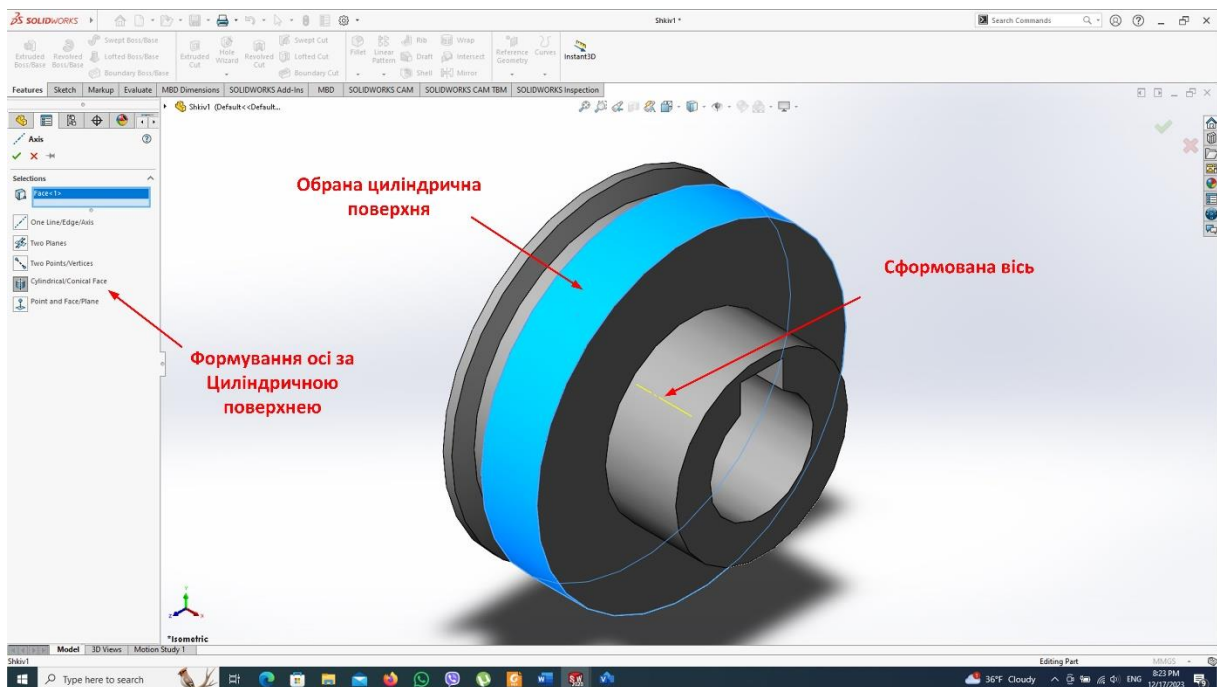


Рис. 2.14. Вибір допоміжної геометрії для побудови масиву канавок

На вкладці «Features» використовується функція «Linear Pattern» та створюється масив із канавок. Робочим елементом для масиву є операція «Revolved Cut», за підсумками якої раніше сформована канавка (рис. 2.15).

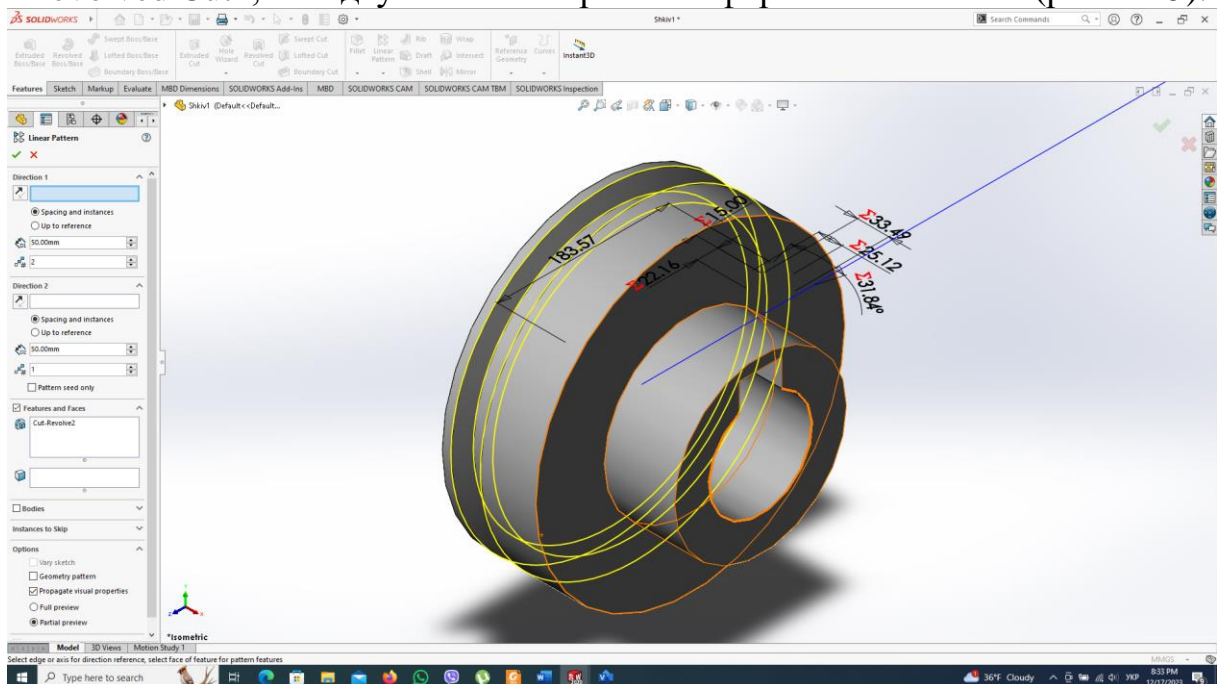


Рис. 2.15. Формування масиву канавок

Далі напрямком вибирається автоматично по побудованій осі, крок та кількість утворюються змінними «e» та «N» відповідно.

На рис. 2.16 наведено загальний вигляд готової параметричної моделі шківів.

Остаточно налаштовуються взаємозв'язки введених параметрів (рис. 2.17). В дереві побудови обирається елемент «Equations», далі за допомогою правої клавіші миші обирається меню та в ньому пункт «Manage Equation» – розділи «Global Variables». Доповнюються глобальні змінні та коментарі до них, коригуються їх розміри у розділі «Value/Equation». Ставиться галочка поряд з опцією «Automatic solve order», при якому в початкових ескізах можуть використовуватись змінні, створені пізніше.

Параметрична модель шківів готова. Змінюючи глобальні змінні та натискаючи кнопку «Rebuild» (піктограма у вигляді світлофора) або «OK», формується готова модель за заданими розмірами. Наприклад, з використанням ДСТУ ISO 255:2009 «Пасові приводи. Шківів для клинових пасів (система, базована на розрахунковій ширині). Перевірянням геометрії канавок (ISO 255:1990, IDT)» можна задати геометричні параметри нового шківів.

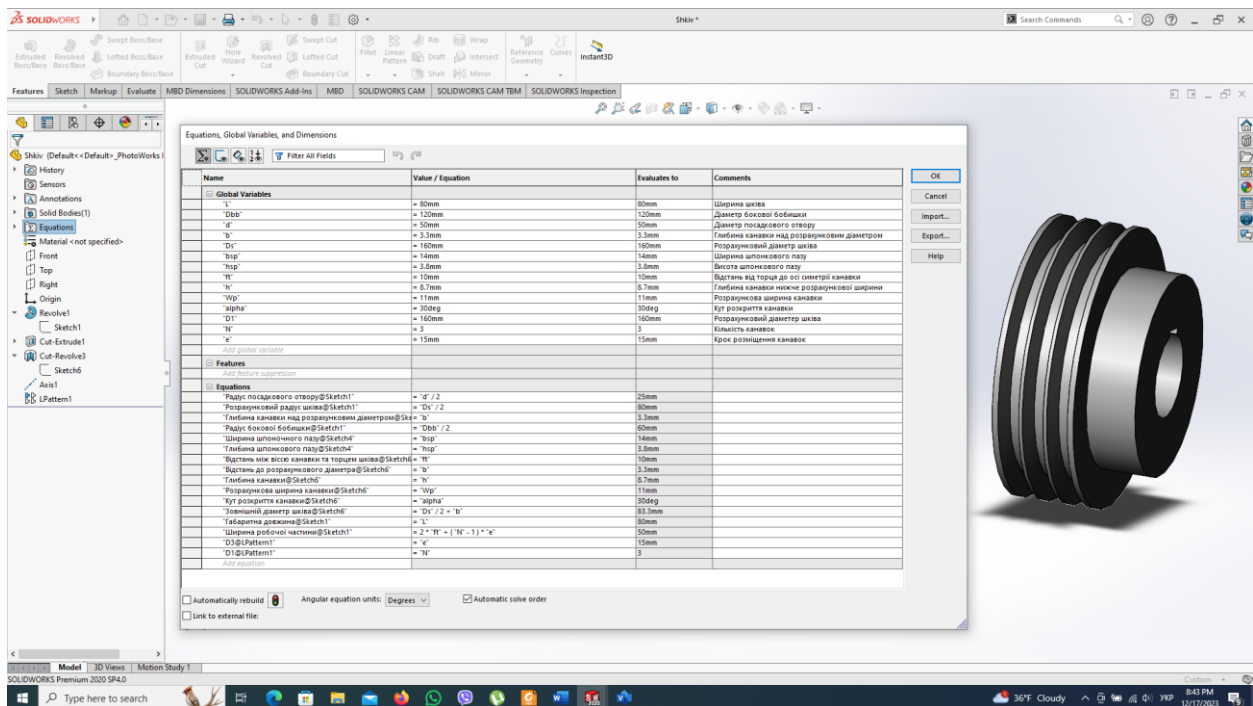


Рис. 2.16. Загальний вигляд готової параметричної моделі шківів

Equations, Global Variables, and Dimensions

Filter All Fields

Name	Value / Equation	Evaluates to	Comments
<b>Global Variables</b>			
"L"	= 80mm	80mm	Ширина шків
"Dbb"	= 120mm	120mm	Діаметр бокової бобишки
"d"	= 50mm	50mm	Діаметр посадкового отвору
"b"	= 3.3mm	3.3mm	Глибина канавки над розрахунковим діаметром
"Ds"	= 160mm	160mm	Розрахунковий діаметр шків
"bsp"	= 14mm	14mm	Ширина шпонкового пазу
"hsp"	= 3.8mm	3.8mm	Висота шпонкового пазу
"ft"	= 10mm	10mm	Відстань від торця до осі симетрії канавки
"h"	= 8.7mm	8.7mm	Глибина канавки нижче розрахункової ширини
"Wp"	= 11mm		Розрахункова ширина канавки
"alpha"	= 30deg	30deg	Кут розкриття канавки
"D1"	= 160mm	160mm	Розрахунковий діаметр шків
"N"	= 3	3	Кількість канавок
"e"	= 15mm	15mm	Крок розміщення канавок
<i>Add global variable</i>			
<b>Features</b>			
<i>Add feature suppression</i>			
<b>Equations</b>			
"Радіус посадкового отвору@Sketch1"	= "d" / 2	25mm	
"Розрахунковий радіус шків@Sketch1"	= "Ds" / 2	80mm	
"Глибина канавки над розрахунковим діаметром@Sketch1"	= "b"	3.3mm	
"Радіус бокової бобишки@Sketch1"	= "Dbb" / 2	60mm	
"Ширина шпоночного пазу@Sketch4"	= "bsp"	14mm	
"Глибина шпоночного пазу@Sketch4"	= "hsp"	3.8mm	
"Відстань між віссю канавки та торцем шків@Sketch6"	= "ft"	10mm	
"Відстань до розрахункового діаметра@Sketch6"	= "b"	3.3mm	
"Глибина канавки@Sketch6"	= "h"	8.7mm	
"Розрахункова ширина канавки@Sketch6"	= "Wp"	11mm	
"Кут розкриття канавки@Sketch6"	= "alpha"	30deg	
"Зовнішній діаметр шків@Sketch6"	= "Ds" / 2 + "b"	83.3mm	
"Габаритна довжина@Sketch1"	= "L"	80mm	
"Ширина робочої частини@Sketch1"	= 2 * "ft" + ("N" - 1) * "e"	50mm	
"D3@LPattern1"	= "e"	15mm	
"D1@LPattern1"	= "N"	3	
<i>Add equation</i>			

Automatically rebuild    Angular equation units: Degrees     Automatic solve order  
 Link to external file:

OK    Cancel    Import...    Export...    Help

Рис. 2.17. Вікно редагування глобальних змінних, розмірів та рівнянь

### 3. ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО ВИКОНАННЯ

З використанням матеріалів, викладених в другому розділі даних методичних вказівок, виконати параметричне проектування шківів клинопасової передачі. Вхідні дані для проектування наведено на рис. 3.1 та в табл. 3.1, 3.2.

Таблиця 3.1

Геометричні характеристики шківів клинопасової передачі

1.	Ширина шківів	$L$
2.	Діаметр бокової бобишки	$D_{bb}$
3.	Діаметр посадкового отвору	$d$
5.	Глибина канавки над розрахунковим діаметром	$b$
6.	Розрахунковий діаметр шківів	$D_s$
7.	Ширина шпонкового пазу	$b_{sp}$
8.	Висота шпонкового пазу	$h_{sp}$
9.	Відстань від торця до осі симетрії канавки	$f_t$
10.	Глибина канавки нижче розрахункової ширини	$h$
11.	Розрахункова ширина канавки	$W_p$
12.	Кут розкриття канавки	$\alpha$
13.	Кількість канавок	$N$
14.	Крок розміщення канавок	$e$

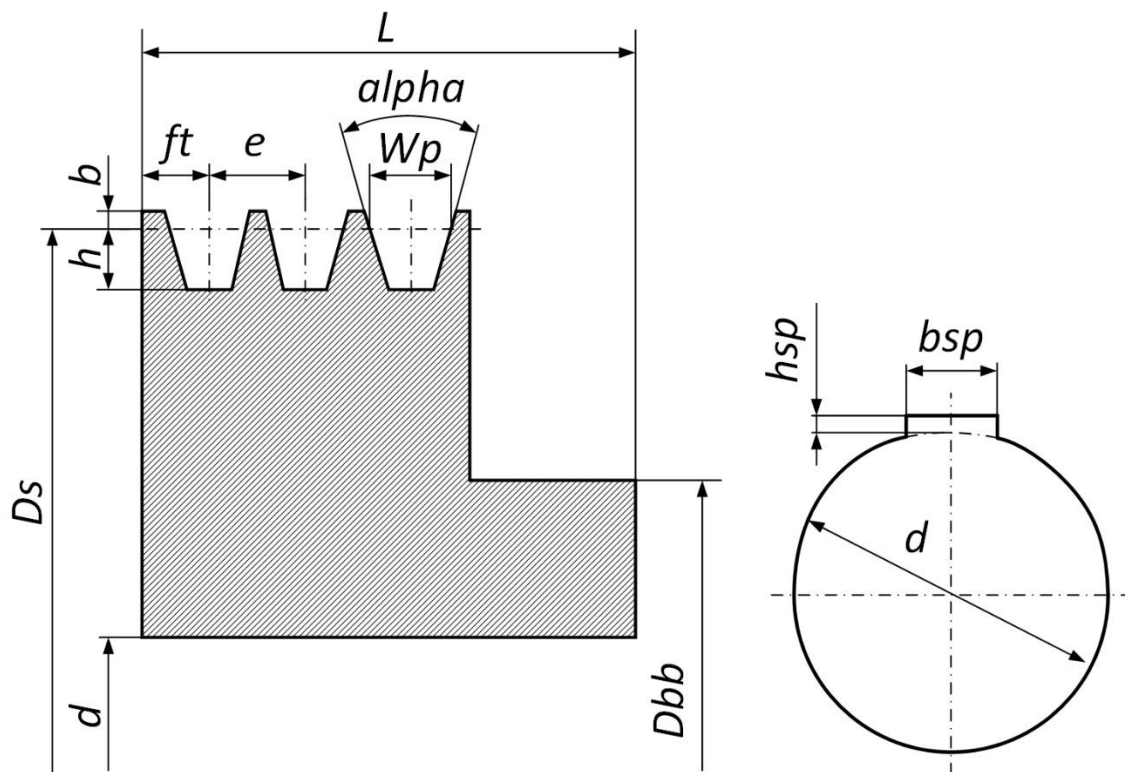


Рис. 3.1. Геометричні характеристики шківів клинопасової передачі

Таблиця 3.2

## Геометричні характеристики для проектування шківів, мм

№ вар.	L	Dbb	d	b	Ds	bsp	hsp	ft	h	Wp	alpha	N	e
1	50,0	32,5	25,0	2,75	63,0	8,0	3,3	10,0	11,05	11,0	34,0	2	15,0
2	65,0	40,0	28,0	2,75	71,0	8,0	3,3	10,0	11,05	11,0	34,0	3	15,0
3	85,0	60,0	37,0	2,75	100,0	10,0	3,3	10,0	11,05	11,0	34,0	4	15,0
4	100,0	122,0	42,0	2,75	100,0	12,0	3,3	10,0	11,05	11,0	34,0	5	15,0
5	89,0	175,0	85,0	2,75	1000,0	25,0	5,4	12,0	11,05	11,0	35,0	3	15,0
6	114,0	242,0	100,0	2,75	1000,0	28,0	6,4	12,0	11,05	11,0	35,0	5	15,0
7	95,0	97,0	50,0	3,50	140,0	28,0	6,4	12,0	9,50	14,0	40,0	3	20,0
8	150,0	107,0	65,0	3,50	150,0	18,0	4,4	12,0	9,50	14,0	40,0	6	20,0
9	75,0	117,0	55,0	3,50	160,0	16,0	4,3	12,0	9,50	14,0	40,0	3	20,0
10	85,0	127,0	65,0	3,50	170,0	18,0	4,4	13,5	9,50	14,0	40,0	3	20,0
11	115,0	137,0	60,0	3,50	180,0	18,0	4,4	13,5	9,50	14,0	40,0	4	20,0
12	145,0	267,0	125,0	4,8	1000,0	32,0	7,4	12,5	13,2	19,0	38,0	3	25,0
13	115,0	65,0	35,0	4,8	140,0	10,0	3,3	12,5	13,2	19,0	38,0	3	25,0
14	125,0	95,0	38,0	4,8	150,0	10,0	3,3	10,0	13,2	19,0	38,0	4	25,0
15	150,0	82,0	50,0	4,8	180,0	14,0	3,8	10,0	13,2	19,0	38,0	5	25,0
16	165,0	145,0	85,0	4,8	200,0	22,0	5,4	10,0	13,2	19,0	38,0	5	25,0
17	100,0	90,0	50,0	2,0	118,0	16,0	4,3	10,0	6,0	8,5	35,0	5	12,5
18	60,0	40,0	28,0	2,0	63,0	8,0	3,3	10,0	6,0	8,5	35,0	3	12,5
19	65,0	51,0	32,0	2,0	80,0	10,0	3,3	10,0	6,0	8,5	35,0	3	12,5
20	100,0	83,0	50,0	2,0	112,0	16,0	4,3	10,0	6,0	8,5	35,0	5	12,5

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Shah J. J. Assessment of features technology. *Computer-Aided Design*. 1991. Vol. 23, Is. 5. P. 331-343.
2. Roller D. An approach to computer-aided parametric design. *Computer-Aided Design*. 1991. Vol. 23, Is. 5. P. 385-391.
3. Anderl R., Mendgen R., Modelling with constraints: theoretical foundation and application. *Computer-Aided Design*. 1996. Vol.28, Is. 3. P. 155-168.
4. Rynne A., Gaughran W. Cognitive modeling strategies for optimum design intent in parametric modeling (PM). *Computers in Education Journal*. 2007. Vol. 18, Is. 3. P. 55-68.
5. VDI2209, 3D Product Modelling - Technical and Organizational Requirements - Procedures, Tools, and Applications - Cost-effective Practical Use, Verein Deutscher Ingenieure (VDI), Dusseldorf, 2006.
6. Bodein Y., Rose B., Caillaud E. "Explicit Reference Modeling Methodology in Parametric CAD System". *Computers in Industry*. 2014. Vol. 65, Is. 1. P. 136-147.
7. Aleixos N., Company P., Contero M. Integrated modeling with top-down approach in subsidiary industries. *Computers in Industry*. 2004. Vol. 53, Is. 1. P. 97-116.
8. Hartman N.W. Defining expertise in the use of constraint-based CAD tools by examining practicing professionals. *Engineering Design Graphics Journal*. 2005. Vol. 69, No. 1. P. 6-15.
9. Bluntzer J. B., Gomes S., Sagot J. C. From functional analysis to specific parameters: description of knowledge based CAD model. In: SITIS 2008-proceedings of the 4th international conference on signal image technology and Internet based systems. Bali, 2008. P. 665-671.
10. Approach for developing coordinated rubrics to convey quality criteria in MCAD training / P. Company et al. *Computer-Aided Design*. 2015. Vol. 63. P. 101-117.

Навчально-методичне видання

**Білодіденко** Сергій Валентинович,  
**Баюл** Костянтин Васильович,  
**Гануш** Василь Іванович

**ОСНОВИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЄКТУВАННЯ  
ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ  
ПАРАМЕТРИЧНЕ ПРОЄКТУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН**

Навчально-методичні рекомендації  
до практичних занять

В авторській редакції  
Комп'ютерна верстка В. І. Гануш

Експертний висновок склав канд. техн. наук, доц. Дмитро Кононов

Зареєстровано НМВ УДУНТ (№ 670 від 28.12.2023)

Формат 60x84  $\frac{1}{16}$ . Ум. друк. арк. 1,51. Обл.-вид. арк. 0,61.  
Зам. № 110

Видавець: Український державний університет науки і технологій.  
вул. Лазаряна, 2, ауд. 2216, ауд. 263, м. Дніпро, 49010.  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 7709 від 14.12.2022

Адреса видавця та дільниці оперативної поліграфії:  
вул. Лазаряна, 2, Дніпро, 49010