

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

**до лабораторних робіт
з курсів «Основи САПР»,
«Основи CAD/CAM CIM»,
«САПР металорізального обладнання»
для студентів машинобудівних спеціальностей**

Затверджено
редакційно–видавничою
радою університету,
протокол №1 від 04.06.2014

Харків
НТУ «ХПІ»
2014

Методичні вказівки до лабораторних робіт з курсів «Основи САПР», «Основи CAD/CAM CIM», «САПР металорізального обладнання» для студентів машинобудівних спеціальностей / укладачі С.С. Добротворський, О.М. Ушаков, Є.В. Басова. – Х.: НТУ «ХПІ», 2014. – 60 с.

Укладачі: С.С. Добротворський,
О.М. Ушаков,
Є.В. Басова

Рецензент: А.А. Сізий

Кафедра технології машинобудування та металорізальних верстатів

Вступ

Сучасне машинобудування розвивається в рамках цифрових технологій і потребує постійного моніторингу новітніх систем автоматизованого проектування деталей для забезпечення високої якості та низької собівартості продукції. Розробити якісну та конкурентоспроможну технологію виготовлення точних деталей із виключенням похибок обробки та пошуку оптимальних технологічних режимів на етапі виготовлення виробу сьогодні можливо лише за умови використання передових САПР, тобто систем, що реалізують проектування деталей в умовах якого всі проектні рішення або їх частини отримані в результаті розрахунків та створення математичних моделей на ПК (персональному комп'ютері).

Система автоматизованого проектування (САПР) або CAD (англ. Computer–Aided Design) – програмний пакет, призначений для створення креслень, конструкторської та/або технологічної документації та/або 3D моделей. Сучасні системи автоматизованого проектування (CAD) зазвичай використовуються спільно з системами автоматизації інженерних розрахунків та аналізу CAE (англ. Computer–Aided Engineering). Дані з CAD–систем передаються в САМ (англ. Computer–Aided Manufacturing) – системи автоматизованої розробки програм обробки деталей для верстатів з ЧПК або ГАВС (гнучких автоматизованих виробничих систем). Зазвичай охоплює створення геометричних моделей виробів (твердотільних, тривимірних, складань), а також генерацію креслень виробів та їх супровід. Слід зазначити, що термін «САПР» по відношенню до промислових систем має більш широке тлумачення, ніж «CAD» – він включає в себе як CAD, так і САМ, і CAE.

Лабораторна робота 1

Проектування твердотільних тривимірних моделей деталі у середовищі SolidWorks

Мета роботи : опанувати навички проектування твердотільних тривимірних моделей деталі, створення складання і двовимірних креслень в середовищі SolidWorks.

Вступ до роботи.

Система автоматизованого проектування деталей машин і механізмів SolidWorks є сучасним засобом проектування і моделювання, яка дозволяє значно збільшити ефективність роботи конструкторів і проектувальників. За допомогою SolidWorks можна створювати тривимірні твердотільні моделі і двовимірні креслення. Твердотільні тривимірні деталі можна використати для створення тривимірних складань. SolidWorks – це система, що працює за принципом завдання розмірів. Можна задавати розміри і геометричні залежності між елементами деталі. При зміні розмірів змінюються розмір і форма деталі, але зберігається загальний задум проекту. SolidWorks дозволяє створювати тривимірну модель з окремих конструктивних елементів (вирізів, отворів та ін.). Елементами можуть бути і операції (скруглення, фаски, оболонки), які комбінуються для побудови деталей. Більшість елементів будуються на основі створення на першому етапі ескізів. Ескіз – це двовимірний профіль або поперечний переріз. Для створення елементів ескізи можуть бути витягнуті, повернені, розітнуті складним чином або зміщені по контуру.

Завдання і порядок виконання

Створення тривимірних моделей деталі

Для того щоб створити основу для нової деталі необхідно: натиснути кнопку **Создать** → натиснути кнопку **Эскиз** і накреслити прямокутник (на верхній площині), починаючи з вихідної точки → визначити розміри прямокутника, активувавши команду **Автоматическое нанесение размеров**

(розміри прямокутника дорівнюють $a \times a$ відповідно до табл. 1.1). Усі сторони прямокутника мають бути визначеними (рис. 1.1) → ОК.

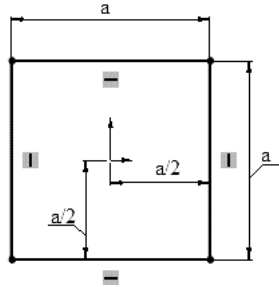


Рисунок 1.1

На панелі інструментів «Элементы» оберіть **Вытянутая бобышка** і витягніть ескіз від середньої поверхні на відстань L мм → на верхній грані новоствореного твердотільного об'єкта накресліть прямокутник розміром $b \times b$ (табл. 1.1) і округліть його кути на величину рівну R за допомогою панелі інструментів «Эскиз», а саме команди **Скругление** шляхом наведення курсору на кут між двома сторонами (рис. 1.2) → ОК.

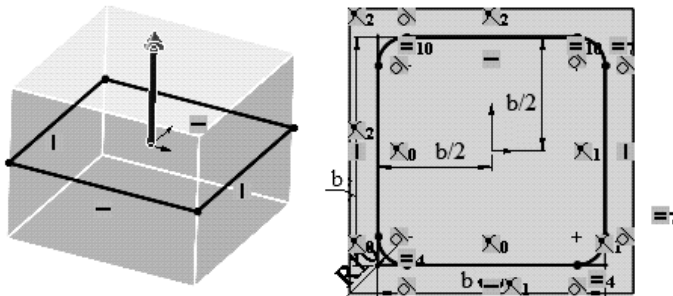


Рисунок 1.2

На панелі інструментів «Элементы» оберіть **Вытянутый вырез** і видавіть ново накреслений ескіз на відстань рівну $(L-20)$ мм → за допомогою панелі інструментів «Поверхности» і команди **Скругление** округліть

зовнішні бічні ребра на величину рівну R (рис. 1.3) → ОК (основа готова) → збережіть модель.

Наступним етапом створюємо кришку нової деталі:

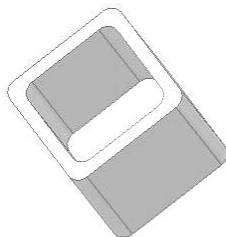


Рисунок 1.3

Аналогічно до алгоритму побудови основи деталі креслимо у новому документі ескіз на верхній площині розмірами $a \times a$. На панелі інструментів «Елементи» оберіть **Вытянутая бобышка** і витягніть ескіз на задану відстань $L1$ мм → на нижній грані новоствореного твердотільного об'єкта накресліть прямокутник розміром $b \times b$ (табл. 1.1) і округліть його кути на величину рівну R за тим же принципом, як і у попередньому випадку → ОК → на панелі інструментів «Елементи» оберіть **Вытянутый вырез** і видавіть новонакреслений ескіз на відстань рівну $L2$ мм → на верхній площині твердотільного об'єкта накресліть коло радіусом $R1$ і окресліть контур моделі (рис. 1.4) → за допомогою панелі інструментів «Елементи» і безпосередньо команди **Вытянутый вырез** витягніть виріз на вибраній площині вниз на відстань рівну $L3$ мм (рис. 1.4). Усі дії при моделюванні твердотільного об'єкта в середовищі CAD модуля мають відповідати реальному технологічному процесу виготовлення прототипу деталі в реальному виробництві. Ланцюг побудови має велике значення при транспортуванні геометрії деталі з CAD системи до CAM системи, що відповідає за розрахунок керуючої програми для верстата.

На торцевій грані бобишки накресліть коло радіусом $R2$ і за допомогою команди **Вытянутый вырез**, на панелі інструментів «Елементы», витягніть виріз на повну довжину → за допомогою панелі інструментів «По-

верхности» і команди **Скругление** округлить зовнішні бічні ребра на величину рівну R (рис. 1.5) → ОК → збережіть модель.

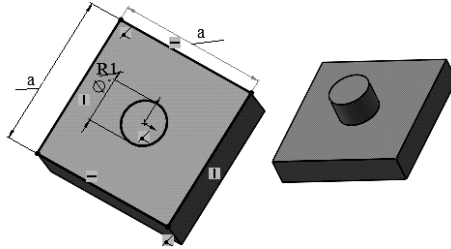


Рисунок 1.4

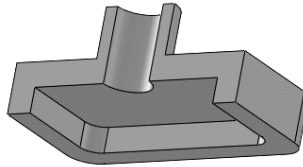


Рисунок 1.5

Створення складання

Для створення складання необхідно натиснути кнопку **Открыть** на панелі інструментів «Стандартная» → натиснути кнопку **Создать** на панелі інструментів «Стандартная», а потім вибрати **Сборка** → ОК.

Для того щоб вставити компоненти до складання необхідно у PropertyManager у вкладці **Деталь/сборка для вставки** вибрати як компоненти основу і кришку нової деталі. Компоненти вставити можна ще й за допомогою панелі інструментів «Сборка» команди **Вставить компоненты**.

Для створення зв'язків між компонентами складання необхідно на панелі інструментів «Сборка» вибрати команду **Условия сопряжения** і зв'язати кришку і основу деталі по торцевих гранях, де розташовані прямокутні вирізи із округленими кутами (рис. 1.6), така дія забезпечує закріплення обох компонентів складання в одній площині.

Для того щоб компоненти зібрати у єдине складання, достатньо закріпити їх у трьох площинах. Наступною дією необхідно створити умови з'єднання між двома парами бічних граней кришки і стінки деталі (рис. 1.7).

ОК → збережіть складання.

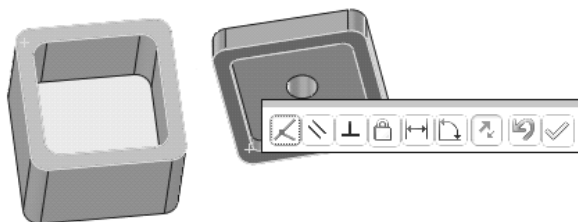


Рисунок 1.6

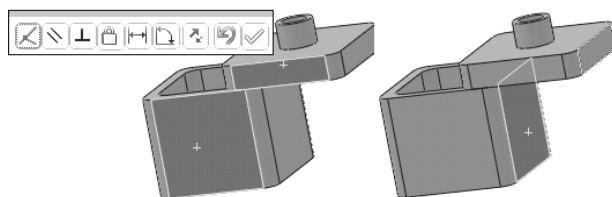


Рисунок 1.7

Створення двовимірного креслення в середовищі SolidWorks

Для створення креслення необхідно натиснути кнопку **Открыть** на панелі інструментів «Стандартная» → натиснути кнопку **Создать** на панелі інструментів «Стандартная», а потім вибрати **Чертёж** формату А3 → ОК.

У кресленні необхідно відобразити складання у трьох проекціях, а також додати ізометричний вигляд і декілька варіантів перерізів.

Для того, щоб додати вигляди складання до креслення, необхідно у PropertyManager у вкладці **Деталь/сборка для вставки** вибрати як об'єкт складання та розмістити на креслярському листі три проекції і ізометрію складання.

Для того щоб створити переріз одного з видів складання, на панелі інструментів «Расположение вида» оберіть **Разрез** і переріжте один з видів, переріз винесіть на вільне місце на креслярському листі. Для того щоб вирівняти розміщення перерізу на листі, необхідно звільнити вигляд перерізу від з'єднань з проекцією складання → натисніть праву кнопку маніпулятора «миша» → оберіть команду «Выровнять» → оберіть «Освободить выравнивание» → і перенесіть переріз у необхідне місце (рис. 1.8) → збережіть креслення.

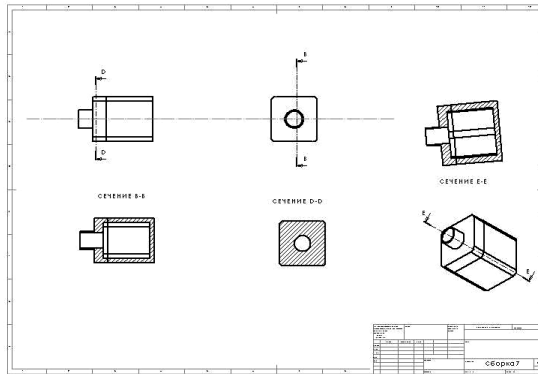


Рисунок 1.8

Контрольні запитання

1. Що являють собою конструктивні елементи при створенні твердотільних об'єктів у середовищі SolidWorks?
2. Що таке ескіз?
3. Що являє собою складання?
4. Опишіть загальний алгоритм створення складання у середовищі SolidWorks.
5. Чому операції побудови твердотільної моделі мають бути максимально наближеними до реального технологічного процесу виготовлення деталі?
6. Опишіть загальний алгоритм створення креслення із складання.
7. Яким чином можна створити переріз одного з виглядів деталі, при створенні креслення, у середовищі SolidWorks?

Таблиця 1.1 – Варіанти початкових даних

Варіант	Початкові дані								
	a	L	b	R	L1	L2	R1	L3	R2
1	100	80	80	10	40	10	15	20	10
2	90	80	64	7	40	8	20	25	15
3	80	60	60	9	35	8	22	15	18
4	110	86	84	12	44	15	30	18	22
5	96	78	70	10	46	12	24	16	22
6	120	100	100	15	60	20	50	30	40
7	115	90	86	15	50	25	52	20	44
8	108	82	84	11	50	15	18	25	12
9	94	84	74	9	44	12	22	22	18
10	85	65	65	11	40	12	15	18	11
11	115	80	85	11	45	20	25	15	20
12	130	130	100	18	55	20	55	20	45
13	70	50	50	7	30	10	25	10	20
14	60	50	40	7	30	12	15	8	10
15	122	88	100	10	45	15	35	25	28
16	95	85	70	10	32	10	28	12	22
17	88	70	66	8	44	15	24	15	18
18	75	55	55	11	35	11	20	12	17
19	66	58	45	7	25	8	14	9	10
20	125	125	75	14	58	18	50	15	44
21	92	82	66	9	38	8	15	8	11
22	83	63	63	11	33	8	20	7	16
23	118	118	90	12	45	10	40	15	34
24	110	100	80	11	40	12	28	8	23
25	72	70	52	5	28	8	20	10	15
<i>Примітка:</i> таблиця відповідає рис. 1.1–1.2, 1.4.									

Лабораторна робота 2

Креслення тривимірного ескізу в середовищі SolidWorks

Мета роботи : опанувати навички самостійного креслення тривимірних ескізів (креслення відносно систем координат, нанесення розмірів в тривимірному просторі, дзеркальне відображення елементів) в середовищі SolidWorks.

Вступ до роботи.

За допомогою SolidWorks можна створювати тривимірні ескізи. Тривимірний ескіз можна використати в якості напряму елементу по траєкторії, напрямної кривої для елементів по перерізах або по траєкторії, осьової лінії для елементу по перерізах, а також в якості одного з основних об'єктів в системі маршрутування. Тривимірні ескізи можуть застосовуватися при проектуванні систем маршрутування.

Завдання і порядок виконання

Креслення тривимірного ескізу

Починаємо роботу зі створення тривимірного ескізу зовнішньої рамки дротяної полиці духовки вибравши «Создать» на панелі інструментів **Деталь** → на панелі інструментів «Эскиз» оберіть **Эскиз 3D** → вісь **Изометрия** → на панелі інструментів «Эскиз» оберіть **Линия** і накресліть від вихідної точки лінію довжиною L1 на площині XY (табл. 2.1) → лінію необхідно зробити повністю визначеною, визначити розмір можливо вибравши **Автоматическое нанесение размеров**.

Якщо кінцева точка не знаходиться у вихідній точці ескізу, то натисніть на кнопку **Выбор элемента** (панель інструментів «Стандартная») і оберіть початкову точку лінії:

- в розділі **Параметры** встановіть значення параметрів **Координата X, Y, Z** на 0;

- оберіть **Зафиксировать** в розділі **Добавить взаимосвязи**.

З цього моменту точка повністю визначена.

На панель інструментів «Эскиз» → натисніть кнопку **Линия** і продовжіть креслення інших ліній з кінцевої точки лінії завдовжки L1 («+» управо). Всякий раз, коли починається креслення кожної нової лінії, на її початку відображається вихідна точка для поточної системи координат, яка допомагає орієнтуватися. → Накресліть лінію по осі Y («←» вниз) завдовжки L2 → накресліть лінію, паралельну осі X («+» управо), завдовжки L3 (рис. 2.1).

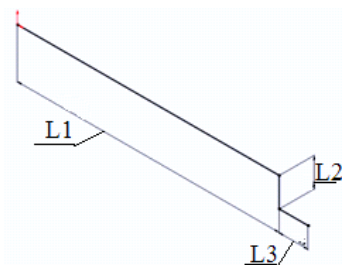


Рисунок 2.1

Натисніть клавішу **Tab** для зміни площини ескізу на площину YZ → накресліть лінію, паралельну осі Z («+» від себе), завдовжки L4 → натисніть клавішу **Tab** двічі, щоб знову встановити площину XY в якості площини ескізу → накресліть лінію, паралельну осі X («←» уліво), завдовжки L3 → накресліть лінію вгору по осі Y завдовжки L2 → накресліть лінію, паралельну осі X («←» уліво), завдовжки L1.

На панелі інструментів «Эскиз» → оберіть команду **Скругление** і округліть кожен перетин двох прямих на значення r (табл. 2.1) → вийдіть з ескізу та збережіть деталь (рис. 2.2).

Витягування об'єкта за заданою траєкторією

Щоб закінчити основу об'єкта, витягніть коло за напрямком тривимірного ескізу.

Оберіть праву площину в дереві конструювання FeatureManager → на панелі інструментів «Эскиз» натисніть на команду **Эскиз**, щоб відкрити двовимірний ескіз на цій площині → накресліть коло від вихідної точки діамет-

ром D мм (табл. 2.1), коло має стати визначеним об'єктом → вийдіть з ескізу (ОК).

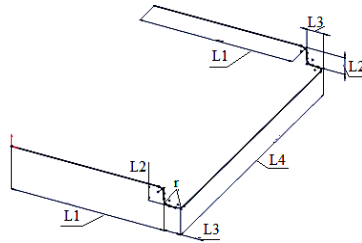


Рисунок 2.2

На панелі інструментів «Элементы» оберіть **Бобышка / Основание по траектории** → У PropertyManager у вікні, що відповідає за профіль та напрямок при моделюванні твердотільного об'єкта, оберіть: по-перше, коло як профіль та, по-друге, тривимірний ескіз як напрямок для кола → ОК (рис. 2.3).

Створіть опору, витягнувши ескіз кола між кадрами: Оберіть Передню площину в дереві конструювання FeatureManager → на панелі інструментів «Элементы» оберіть «**Вытянутая бобышка/основание**» → на панелі інструментів «Стандартные виды» натисніть «**Перпендикулярно**» → накресліть коло на передбачуваній межі рамки (передня площина знаходиться в центрі дроту рамки).

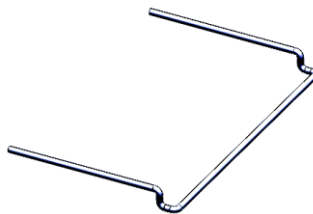


Рисунок 2.3

Зверніть увагу на лінії формування, які вказують на те, що центр кола горизонтальний що до вихідної точки (коло має бути визначеним) → вка-

жіть розмір $L4$ мм від центру кола до вихідної точки → вкажіть діаметр кола, рівний $D1$ (рис. 2.4) → ОК.

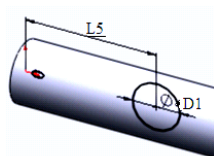


Рисунок 2.4

На панелі інструментів «Стандартные виды» натисніть кнопку **Триметрия** → на панелі інструментів «Элементы» оберіть **Вытянутая бобышка/основание** і витягніть коло діаметром $D1$ на відстань рівну $L4$ → ОК (рис. 2.5).

Оберіть **Вид** → **Временные оси** для увімкнення відображення усіх тимчасових осей. Осі мають бути видимими, тому що їх необхідно вибрати для створення масиву.

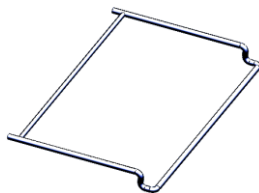


Рисунок 2.5

Формування лінійного масиву витягування

У дереві конструювання FeatureManager оберіть **Бобышка–Вытянутая** → на панелі інструментів «Элементы» оберіть **Линейный массив**. У вікні PropertyManager у розділі **Элементы для массива** відобразиться **Вытянуть 1**.

Оберіть тимчасову вісь на межі рамки, де виконувалося креслення кола. У графічній області з'явиться попередній вид масиву, а на правому кінці осі з'явиться стрілка, яка відповідає за напрямок масиву. В PropertyManager у полі **Направлении массива** з'явиться **Ось <1>**.

У розділі **Направление 1** необхідно перевірити попередній вигляд витягувань, щоб переконатися, що вони представлені в масиві у напрямку зов-

нішньої крайки, як показано на рис. 2.6. За необхідності натисніть **Реверс напрямлення**, щоб змінити напрямок масиву → для параметра **Інтервал** встановіть значення k → для параметра **Кількість екземплярів** установіть значення n (рис. 2.6) → ОК. Створення масиву витягування завершено.



Рисунок 2.6

Дзеркальне відображення об'єктів

Використайте функцію **Зеркальное отражение** для завершення дрютяної полиці.

Оберіть **Вид** → **Временные оси**, щоб приховати тимчасову вісі → на панелі інструментів «Элементы» оберіть команду **Зеркально отразить** → поверніть половину полиці і оберіть торцеву межу рамки. В PropertyManager в полі **Зеркально отразить грань/плоскость** буде відбиватися **Грань <1>** → натисніть **Зеркально отразить тела**, а потім натисніть у будь-якому місці полиці → ОК.

За допомогою панелі інструментів «Стандартные виды» надайте створеній моделі ізометричного вигляду і збережіть її.

Контрольні запитання

1. Яке призначення має тривимірний ескіз?
2. Яким чином при створенні тривимірного ескізу можна змінити напрям площини?
3. Якими діями із плоского тривимірного ескізу можна отримати об'ємну твердотільну модель?
4. Яке призначення мають тимчасові осі?
5. Яким чином в середовищі SolidWorks можна створити лінійний масив?

Таблиця 2.1 – Варіанти початкових даних

Варіант	Початкові дані									
	L1	L2	L3	L4	r	D	L5	D2	k	n
1	135	15		240	5	5	11	4	22	6
2	150	20	23	230	7	6	10	5	20	7
3	155	23	22	245	6	5	12	4	24	6
4	145	18		235	6	6	8	5	12	12
5	100	18	15	150	5	5	7	4	14	7
6	130	22		220	6	5	9	4	18	7
7	120	20		200	7	7	10	6	20	6
8	125	18	17	220	6	6	11	5	22	5
9	140	19		210	7	7	12	76	24	5
10	155	20	22	230	8	7	10	6	20	7
11	165	23		250	8	8	13	6	26	6
12	125	15	16	220	5	5	10	4	20	6
13	150	20	21	200	6	6	11	5	22	6
14	140	20	22	230	7	7	10	6	20	7
15	135	20		220	6	6	10	5	20	6
16	160	25	22	210	7	6	9	5	18	8
17	145	21	22	200	6	6	8	4	16	9
18	120	15	16	180	5	5	12	4	24	5
19	150	22		250	7	7	10	6	20	7
20	155	22	20	175	7	6	11	5	22	7
21	110	15		140	5	5	8	4	16	6
22	100	18		100	7	6	9	5	18	5
23	125	16		165	5	5	7	4	14	8
24	135	17		170	6	6	10	5	20	6
25	120	18	16	200	6	6	9	5	18	6

Примітка: таблиця відповідає рис. 2.1–2.2, 2.4.

Лабораторна робота 3

Створення типової тривимірної моделі з листового металу в середовищі твердотільного моделювання SolidWorks

Мета роботи: навчитися створювати деталь з листового металу. Набути навичок: моделювання базової крайки; додавання крайки під кутом; дзеркального відображення елементів і додавання нових згинів; моделювання елементу ребро–крайка і редагування його профілю в ескізі; дзеркального відображення елементу; додавання і згинання виступу; додавання вирізу по згину; згортання і розгортання згину; створення закритого кута; створення креслення деталі з листового металу [1].

Вступ до роботи.

Гнуттям називається операція, в результаті якої заготовка набуває необхідної форми (конфігурації) і розміру за рахунок розтягування зовнішніх шарів металу і стискання внутрішніх. І тільки шари металу, які знаходяться уздовж осі заготовки, зберігають після вигинання свої первинні розміри. Гнуття листового металу, виконане за допомогою листозгинальних механізмів, дозволяє обійтися без зварювального шва при виробництві об'єкта. Сучасні комп'ютеризовані згинальні комплекси дозволяють отримувати листові деталі складної форми з великою кількістю згинів. Згинання листового металу дозволяє виготовити профілі складного перерізу завдовжки 2 000 мм. Проте для підготовки виробництва виробу складної конфігурації потрібне попереднє розроблення моделі запланованого об'єкта.

Завдання і порядок виконання

Створення базової крайки

При створенні деталі з листового металу зазвичай проектується деталь в згорнутому стані. Це дозволяє зберегти загальний задум проекту і розміри готової деталі.

Для створення деталі з листового металу накресліть незамкнутий профіль і скористайтесь елементом «базова крайка» для створення тонкостінного елемента і згинів.

1. Відкрийте нову деталь.
2. На панелі інструментів «Листоной металл» натисніть кнопку **Базовая крайка/выступ**.
3. Оберіть передню площину з метою відображення ескізу на ній.
4. Накресліть профіль і нанесіть на нього розміри (рис. 3.1) відповідно до свого варіанта (табл. 3.1). Накресліть осьову лінію через центр (початкову точку) ескізу. Додайте взаємозв'язок між трьома вертикальними лініями: «Ескіз» → **Добавить взаимосвязь** → **Симметричность**.

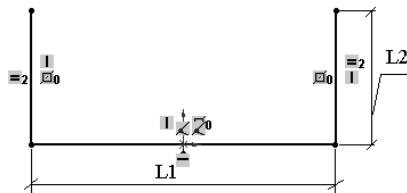


Рисунок 3.1

5. Вийдіть із ескізу і збережіть його.
6. У PropertyManager в розділі **Направление 1**:
 - оберіть **На заданное расстояние** для параметра **Граничное условие**;
 - для параметра **Глубина** встановіть значення L3.
7. У вікні групи **Настройки листового металла**:
 - для параметра **Толщина** встановіть значення n (табл. 3.1);
 - для параметра **Радиус сгиба** встановіть значення r (табл. 3.1).
8. Натисніть на кнопку ОК і збережіть побудову.

Дерево конструювання FeatureManager

Елемент «Базовая кромка» створює наступні нові елементи в дереві конструювання FeatureManager:

- **Листовой металл** – містить параметри згину за умовчанням, включаючи радіус згину, допуск згину і тип зняття напруження. Щоб редагувати, натисніть правою кнопкою миші на **Листовой металл** і в контекстній панелі інструментів оберіть **Редактировать элемент**;

- **Базовая кромка** – означає перший твердотілий елемент деталі з листового металу. Щоб відредагувати параметри елемента «Базовая кромка», натисніть правою кнопкою миші на елемент **Базовая кромка** і в контекстній панелі інструментів оберіть **Редактировать элемент**;

- **Плоский массив** – розпрямляє деталь з листового металу. «Плоский массив» за умовчанням погашений, оскільки деталь знаходиться в зігнутому стані. Щоб розпрямити деталь, натисніть правою кнопкою миші на елемент **Плоский массив** і в контекстній панелі інструментів оберіть **Высветить**.

Додавання крайки під кутом

1. Натисніть кнопку **Вытянутый вырез** (на панелі інструментів «Элементы») і оберіть нижню грань.

2. Накресліть коло і нанесіть на нього розмір R (табл. 3.1). Центр кола має співпадати з середньою точкою крайки (рис. 3.2).

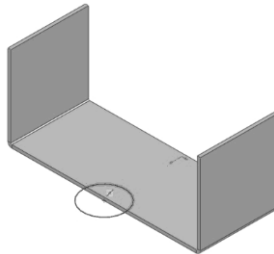


Рисунок 3.2

3. Закрийте ескіз.
4. У PropertyManager оберіть **Связать с толщиной** в розділі **Направление 1** → ОК (рис. 3.3, а).
5. Оберіть «Вид» → **Каркасное изображение** (рис. 3.3, б).

6. Оберіть «Листовой металл» → **Кромка под углом.**

7. Оберіть внутрішню вертикальну кромку, щоб створити площину ескізу, перпендикулярну вибраній крайці, з вихідною точкою в найближчій кінцевій точці крайки. Переконайтеся, що була вибрана верхня частина крайки.

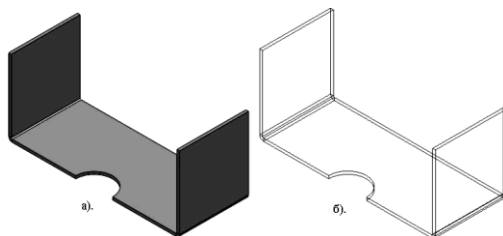


Рисунок 3.3

8. Оберіть «Стандартные виды» → **Снизу.**

9. Оберіть **Увеличить элемент вида** (панель інструментів «Вид») і збільшить масштаб вихідного ескізу.

10. Починаючи від вихідної точки, створіть ескіз відповідно до рис. 3.4:

а) за допомогою панелі інструментів «Эскиз» накресліть горизонтальну лінію довжиною L4 (табл. 3.1);

б) за допомогою панелі інструментів «Эскиз» накресліть дотичну дугу радіусом R1 (табл. 3.1);

в) накресліть пряму лінію довжиною L5 дотичну до дуги радіусом R1.

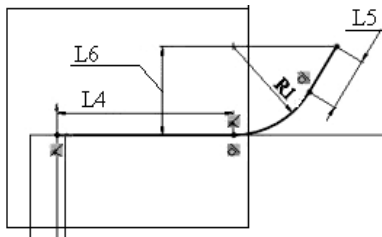


Рисунок 3.4

Нанесіть розміри на новостворений ескіз: **Размеры/Взаимосвязи** → **Автоматическое нанесение размеров**.

За допомогою панелі інструментів «Вид» оберіть для об'єкта каркасне зображення.

Моделюємо кромку під кутом, для цього необхідно вийти з ескізу (рис. 3.5).

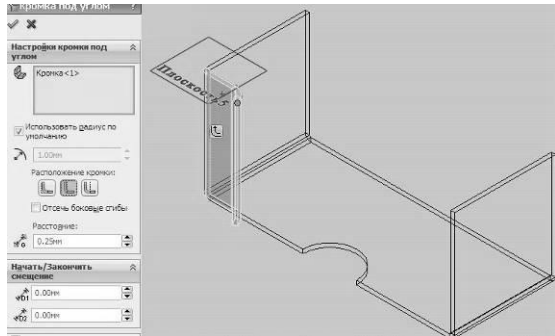


Рисунок 3.5

11. У вікні **Кромка под углом** визначте елемент, який необхідно розповсюдити (новостворений ескіз) → при улаштуванні крайки під кутом у вікні **Расположение кромки** оберіть **Материалом наружу** → ОК. Крайка під кутом буде поширена по зв'язаних крайках (межах) до прорізу (рис. 3.6) (такий результат можна отримати і при натисканні на кнопку моделювання, що зображена на рис. 3.6).

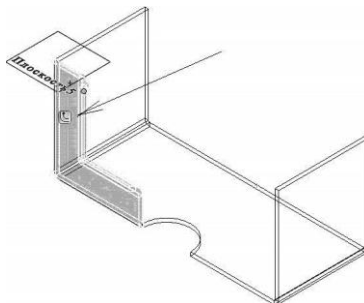


Рисунок 3.6

За допомогою панелі «Вид» зафарбуйте модель (**Закрасить с кромками**).

12. Збережіть модель.

Дзеркальне відображення згинів деталей з листового металу

При дзеркальному відображенні деталі з листового металу також відбиваються багато згинів.

Поставте деталь у положення **Вид ззади** → збільшіть масштаб правого кута задньої грані моделі → на панелі інструментів «Эскиз» активуйте кнопку **Зеркально отразить** → і для дзеркального відображення площини/грані визначте одну з тильних плоских граней (рис. 3.7) → у вікні «Копировать тела» укажіть тіло з листового металу (рис. 3.8) → ОК.



Рисунок 3.7

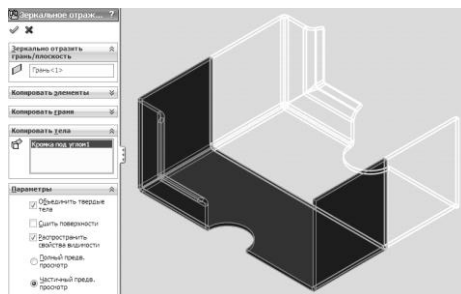


Рисунок 3.8

Розгорніть **Mirror** в дереві конструювання FeatureManager, щоб проглянути нові згини для дзеркально відбитої геометрії.

Створення ребра–крайки

Створіть ребро–крайку, використовуючи параметри редакції профілю ескізу і зміщення: на панелі інструментів «Листоной металл» натисніть кнопку **Ребро–кромка** → оберіть кромку відповідно до рис. 3.9 → перетягніть ребро–крайку і натисніть на неї.

У вікні PropertyManager виконайте такі дії:

- у розділі **Длина фланца** вкажіть для довжини значення рівне k (табл. 3.1).
- у розділі **Расположение фланца** оберіть матеріал назовні та змістіть кромку на величину рівну m (табл. 3.1).
- у вікні групи **Настройки кромки** оберіть **Редактировать профиль кромки**, щоб відобразилося діалогове вікно «Ескиз профілю».

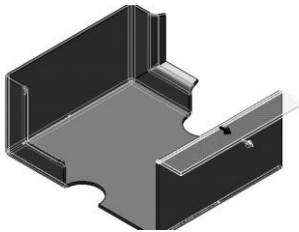


Рисунок 3.9

Оберіть кінцеві точки на базовій кромці (внутрішньому ребрі) і перетягніть їх до центру, як показано на рис. 3.10. → натисніть кнопку **Автоматическое нанесение размеров** (панель інструментів «Размеры/Взаимосвязи») і нанесіть розміри на ребро–крайку (відстань від крайнього ребра моделі до грані ребра–крайки з кожної сторони має дорівнювати f (табл. 3.1)) → ОК.

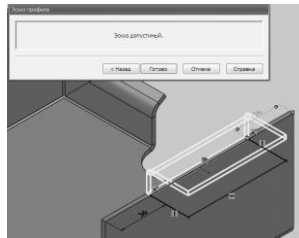


Рисунок 3.10

Дзеркальне відображення деталі з листового металу

Можна створити дзеркальне відображення тіл з листового металу і вибраних елементів листового металу. Для дзеркального відображення елемента ребро–крайка використаємо праву площину (рис.3.11).

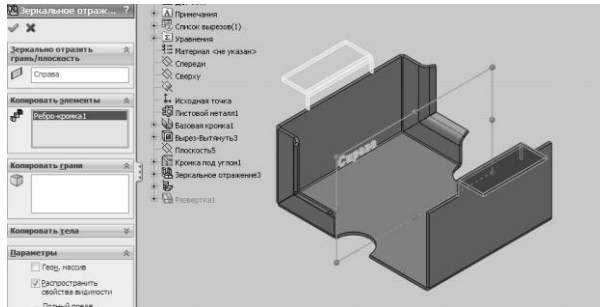


Рисунок 3.11

На панелі інструментів «Елементи» → натисніть кнопку **Зеркально отразить** → розгорніть дерево конструювання FeatureManager і виконайте в ньому такі операції:

- у розділі **Зеркально отразить грань/плоскость** для дзеркального відображення оберіть праву площину;
- у розділі **Копировать элементы** оберіть у дереві **Ребро–кромка1** для дзеркального відображення елементів.

ОК.

Додавання виступу

1. Оберіть крайку, як показано на рис. 3.12, а. Потім на панелі інструментів «Листовой металл» натисніть кнопку «**Базовая крайка/Выступ**» → на обраній грані відкриється ескіз.

2. Накресліть чотирикутник так, щоб одна з його граней співпала з верхньою гранню ребра–крайки (рис. 3.12, б).

3. Нанесіть розміри на чотирикутник так, щоб бічні грані знаходилися на відстані w (табл. 3.1) від ребра–крайки і були v мм у довжину (рис. 3.13).

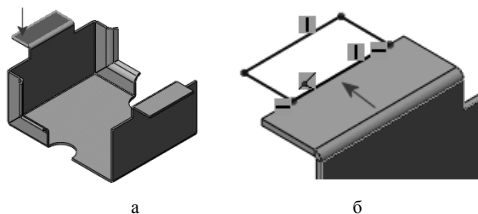


Рисунок 3.12

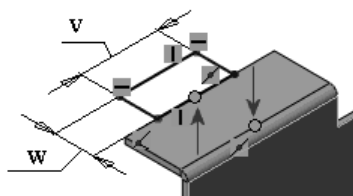


Рисунок 3.13

4. Додайте взаємозв'язок типу збігу між середньою точкою однієї з довгих ліній чотирикутника і ребром–крайкою:

- натисніть правою кнопкою миші на одну з довгих ліній прямокутника, потім натисніть на **Выбрать среднюю точку**;
- на панелі інструментів «Размеры/Взаимосвязи» → натисніть кнопку **Добавить взаимосвязь**;
- натисніть правою кнопкою миші на довгу крайку дзеркально відбитого ребра–крайки і оберіть параметр **Выбрать среднюю точку**;
- у PropertyManager у вікні групи **Добавить взаимосвязи** оберіть **Горизонтальность** → ОК.

Вийдіть з ескізу і збережіть новостворені елементи.

Згинання виступу

Розглянемо спосіб згинання виступу:

1. На панелі інструментів «Листовой металл» → оберіть верхню грань виступу → оберіть **Нарисованные линии сгибов** → накресліть горизонтальну лінію будь-якої довжини. Нанесіть розміри, відповідно до рис. 3.14. → ОК.

2. У вікні PropertyManager у вікні групи **Настройки сгиба**:

- оберіть грань з ескізом під лінією згину як зафіксовану грань (рис. 3.15);
- оберіть параметр **Материалом наружу**;
- встановіть в параметрі **Угол сгиба** значення рівне 90° ;
- оберіть **Использовать радиус по умолчанию**.

ОК.

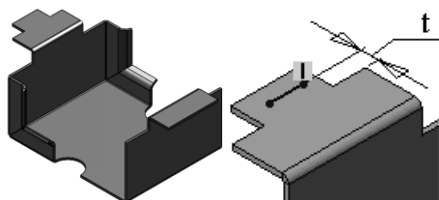


Рисунок 3.14

Збережіть усі нові перетворення.

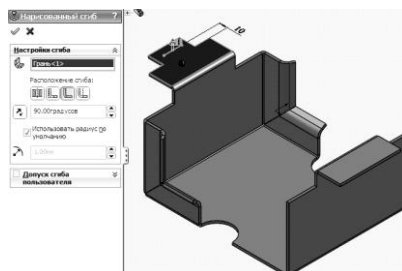


Рисунок 3.15

Додавання вирізу по згину

Щоб зробити виріз по згину, необхідно розгорнути тільки той згин, по якому планується моделювання вирізу. Розгортання тільки одного згину приведе до кращої швидкодії системи.

1. На панелі інструментів «Листовой металл» → оберіть кнопку **Разогнуть** → у графічній області оберіть грань і згин, як показано на рис. 3.16, для параметрів **Зафиксированная грань** та **Разогнуть** → ОК.

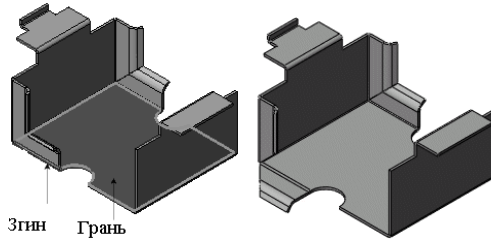


Рисунок 3.16

Далі буде створений виріз по згину.

2. На панелі інструментів «Элементы» → натисніть кнопку **Вытянутый вырез** → оберіть грань показану на рис. 3.17, і натисніть на панелі інструментів «Стандартные виды» → **Перпендикулярно**.

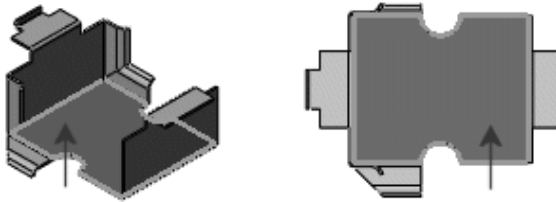


Рисунок 3.17

Накресліть чотирикутник і нанесіть на нього розміри, потім додайте колінеарний зв'язок між кромкою чотирикутника і ребром-кромкою, як показано на рис. 3.18 → ОК.

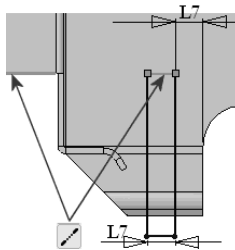


Рисунок 3.18

В PropertyManager в розділі **Направление 1** оберіть наскрізний тип граничної умови → ОК → назначте деталі ізометричне положення → знову зігніть згин у згорнутий стан.

На панелі інструментів «Листовой металл» натисніть кнопку **Согнуть** → щоб додати усі незігнені згини до списку **Согнуть сгибы**, необхідно у вікні PropertyManager натиснути **Найти все сгибы** → ОК → збережіть деталь (рис. 3.19).

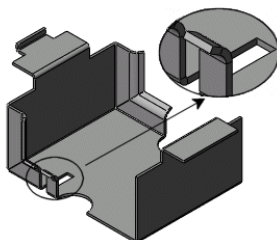


Рисунок 3.19

Створення закритих кутів

Розглянемо, як додати закритий кут до однієї із сторін базової крайки. Закритий кут витягує крайку так, щоб відстань між двома крайками зменшилася.

Щоб створити закритий кут, спочатку додайте ребро–кромку до базової крайки → на панелі інструментів «Листовой металл» натисніть кнопку **Ребро–кромка** → у вікні PropertyManager оберіть:

- у розділі «Настройка кромки» – крайку, як показано на рис. 3.20;

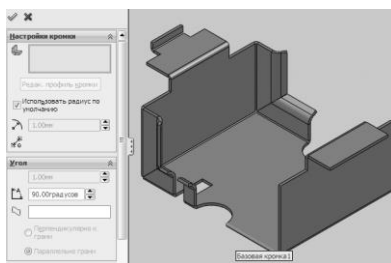


Рисунок 3.20

- у розділі **Угол** укажіть значення кута крайки рівне 75° ;
- у розділі **Длина фланца** для параметрів граничної умови встановіть значення **На заданное расстояние**, якщо попередній перегляд обернений до низу, оберіть «**Реверс направления**»; розрахуйте параметр довжини ребра-крайки так, щоб проєктоване ребро утворило прямий кут з ребром L2 (рис. 3.21).

Розташуйте крайку матеріалом назовні.

Оберіть **Тип снятия напряжения пользователя** і переконайтеся, що у відповідному полі вибраний прямокутний тип → ОК.

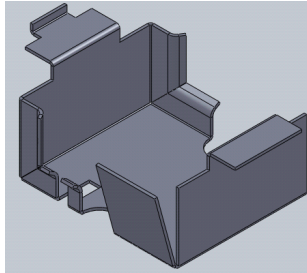


Рисунок 3.21

Додайте закритий кут шляхом витягування грані, суміжної з новоствореним ребром-крайкою під кутом: на панелі інструментів «Листовой металл» натисніть кнопку **Закритий угол (Угол)** → оберіть ребро базової крайки (рис. 3.22) для операції **Удлинить грани** → задайте тип кута **Стык** → ОК.

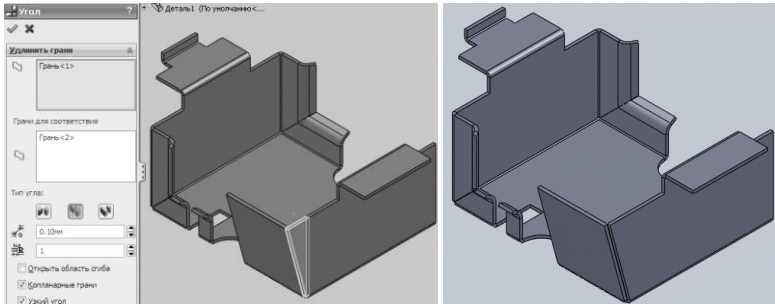


Рисунок 3.22

Розпрямлення і згортання усієї деталі

Можна розгорнути відразу усі згини на деталі з листового металу.

Переконайтеся, що смуга відкоту розташована в самому кінці, і на панелі інструментів «Листовой металл» оберіть **Развертка** – це рівнозначно відображенню елемента «Плоский–Массив», який був створений за допомогою елемента «Базовая кромка» → з’явиться розгорнута деталь з листового металу з відображенням усіх ліній згину (рис. 3.23).

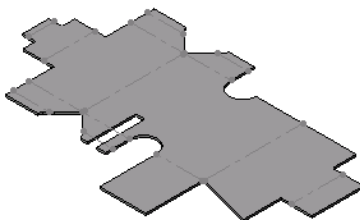


Рисунок 3.23

Щоб знову зігнути деталь, натисніть кнопку **Развертка** ще раз → збережіть деталь.

Створення креслення деталі з листового металу

Щоб створити креслення деталі з листового металу, розпочнемо з ізометричного вигляду згорнутої моделі, а потім додамо вигляд розгорнутої моделі.

На панелі інструментів «Стандартная» натисніть кнопку **Параметры** → у вкладці **Настройки пользователя** оберіть **Чертежи**, **Тип отображения** → у вікні групи **Линии перехода в новых чертежных видах** оберіть **Отображать линии перехода** → ОК.

Для того щоб відкрити лист креслення, на панелі інструментів «Стандартная» натисніть кнопку **Создать чертеж из детали/сборки** → ОК.

Перетягніть ізометричний вигляд з палітри виглядів у верхній правий кут креслярського листа (рис. 3.24) → у вікні PropertyManager у полі масштабу оберіть **Использовать масштаб пользователя**, в налаштуваннях користувача в списку введіть значення 1:3 → ОК.

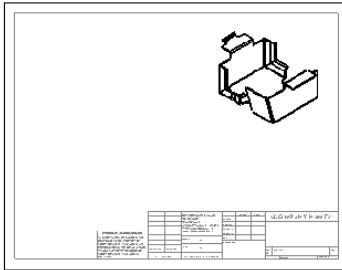


Рисунок 3.24

Далі додайте вигляд розгорнутої моделі. При створенні деталі з листового металу до списку **Ориентация вида** автоматично додається вигляд плоского масиву.

На панелі інструментів «Чертеж» натисніть **Вид модели** → у вікні PropertyManager виконайте такі дії: активуйте палітру виглядів; у розділі «Ориентация», а саме у полі додаткових видів, оберіть **(A) Плоский массив (Снизу)**; у полі масштабу вкажіть масштаб користувача. Оберіть **Настройка пользователя** у списку і вкажіть значення 1:3 → натисніть у будь-якому місці креслярського листа для нанесення розмірів на зображення (рис. 3.25) → ОК → збережіть всі нові перетворення.

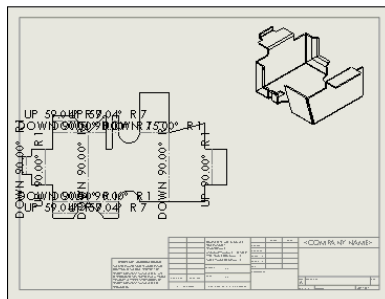


Рисунок 3.25

Оберіть **Сохранить все**, коли вікно повідомлення попередить Вас про те, що модель, на яку спирається креслення, була змінена – ця дія дозволить зберегти креслення та оновлену модель.

Контрольні запитання

1. Чому при створенні деталі з листового металу зазвичай її проектують у згорнутому стані?
2. За допомогою яких дій в середовищі SolidWorks створюють тонкостінні елементи і згини?
3. Які елементи формуються у дереві конструювання FeatureManager при використанні елемента «базовая кромка»?
4. Опишіть алгоритм додавання крайки під кутом.
5. Яким чином можна дзеркально відобразити згини деталей з листового металу?
6. Які дії необхідно виконати для створення ребра–крайки у середовищі SolidWorks?
7. Опишіть алгоритм додавання виступу на деталі з листового металу.
8. Яким чином можна реалізувати згинання виступу деталі з листового металу у середовищі SolidWorks?
9. Яка існує особливість при моделюванні вирізу по згину деталі з листового металу?
10. Опишіть алгоритм додавання закритого кута до однієї із сторін базової крайки.
11. Чи можна розгорнути відразу усі згини на деталі з листового металу? Обґрунтуйте відповідь за допомогою прикладу.
12. Чи можна автоматично створити креслення, спираючись на твердотільний об'єкт у середовищі SolidWorks? Обґрунтуйте відповідь.

Таблиця 3.1 –Варіанти початкових даних

Варі- ант	Початкові дані																
	L1	L2	L3	n	r	R	L4	R1	L5	L6	k	m	f	w	v	t	L7
1	180	80	75	3	1	15	20	10	6	10	30	15	36	20	40	10	14
2	200	100	80	3	1	22	25	12	8	12	35	18	38	25	60	12	16
3	210	100	85	4	2	25	28	14	8	14	40	20	42	28	56	14	18
4	190	100	70	4	1	20	22	11	7	11	33	13	34	23	50	11	15
5	170	70	75	3	1	20	18	9	5	9	28	17	35	22	45	11	12
6	240	120	90	4	2	30	30	18	10	18	48	20	43	35	70	17	23
7	150	65	60	2	1	15	15	8	4	8	25	10	20	18	37	9	10
8	185	83	78	3	1	18	20	10	7	10	33	17	38	22	41	11	13
9	205	105	85	4	1	25	25	13	7	13	38	20	40	30	62	15	17
10	210	95	83	3	2	24	26	14	6	14	42	20	38	28	50	14	16
11	186	98	72	3	1	23	22	12	7	12	30	15	30	25	46	12	14
12	174	74	74	3	1	21	17	9	5	9	29	18	35	24	45	12	13
13	230	110	80	4	2	30	25	15	10	15	45	20	43	34	60	17	22
14	155	68	58	2	1	17	15	8	6	8	26	12	22	20	36	10	10
15	182	82	72	3	1	18	20	10	7	10	38	18	34	24	42	12	12
16	200	90	80	3	1	23	23	12	7	12	36	17	37	26	50	13	15
17	215	95	75	3	1	26	25	11	8	11	38	18	40	30	54	15	17
18	165	78	65	2	1	20	14	8	4	8	24	11	22	24	38	12	11
19	175	72	70	3	1	23	20	10	7	10	31	16	33	28	40	14	12
20	220	100	70	4	2	33	23	14	11	14	44	22	45	36	58	18	20
21	180	80	75	3	1	15	20	10	6	10	30	15	36	20	40	10	14
22	185	84	78	3	1	18	20	10	7	10	33	17	38	22	41	11	13
23	210	97	83	3	2	24	26	14	6	14	42	20	38	28	50	14	16
24	172	72	72	3	1	21	17	9	5	9	29	18	35	24	45	12	13
25	155	66	57	2	1	17	15	8	6	8	26	12	22	20	36	10	10

Примітка: таблиця відповідає рис. 3.1, 3.4, 3.13–3.14, 3.18.

Лабораторна робота 4
**Моделювання глобоїдної черв'ячної передачі в середовищі
SolidWorks**

Мета роботи: опанувати навички самостійного моделювання складнопрофільного об'єкту в середовищі SolidWorks. Освоїти прийоми застосування додаткових площин і побудови складних траєкторій для створення складнопрофільних поверхонь.

Вступ до роботи.

Різновид черв'ячної передачі, в якій твірна черв'яка має глобоїдну (увігнуту) форму.

Глобоїдна передача – зубчасто–гвинтова передача, набуває все більшого поширення завдяки високій навантажувальній здатності, що обумовлена одночасним зачепленням великого числа зубів (4–7) і сприятливим розташуванням ліній контакту. При роботі глобоїдної передачі створюється рідинний або напіврідинний режим тертя, при якому контактні поверхні зубів колеса і витків черв'яка повністю або більшою частиною розділені стійким шаром мастила. Середні і потужні глобоїдні передачі за однакових розмірів зі звичайною черв'ячною передачею здатні передавати в 3–5 разів більшу потужність і, навпаки, за такої самої передаваної потужності розміри і маса глобоїдної передачі виявляються значно меншими. До недоліків глобоїдної передачі належать: складне виготовлення і складання порівняно зі звичайними черв'ячними передачами; робота в напруженому тепловому режимі і необхідність у штучному охолодженні. Найефективніше застосування такої передачі – робота з великими навантаженнями, при розробленні компактного та легкого обладнання [2].

Завдання і порядок виконання

***Створення глобоїдної черв'ячної передачі в середовищі 3D CAD–
модуля***

1. Відкрийте нову деталь.

2. Оберіть передню площину.
3. Оберіть на панелі інструментів «Эскиз» → **Линия** і накресліть контур проєктованої моделі (рис. 4.1).

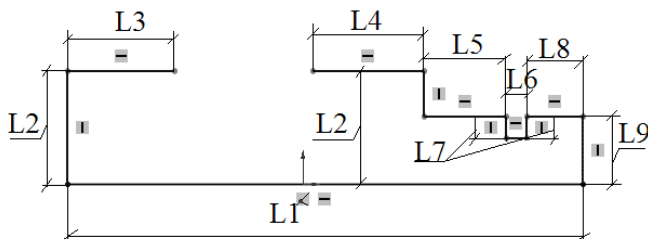


Рисунок 4.1

4. Нанесіть розміри на профіль відповідно до свого варіанта (табл. 4.1).
5. Оберіть на панелі інструментів «Эскиз» → **Дуга через три точки** (радіус дуги див. у табл. 4.1) і замкніть профіль.
6. Оберіть на панелі інструментів «Элементы» → **Повёрнутая бо-бышка/ Основание**.
7. В PropertyManager у вікні **Параметры элемента–повернуть** → оберіть лінію основи профілю як напрямну → ОК (рис. 4.2).

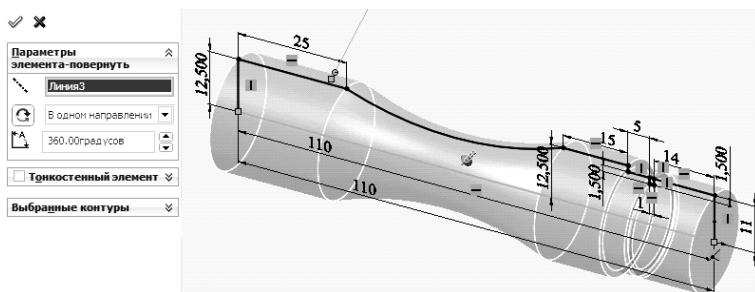


Рисунок 4.2

8. Оберіть на панелі інструментів «Элементы» → **Скругление** → **Фаска** і нанесіть фаску на торець більшого радіуса з розмірами: кут = 45 град., відстань 3 мм.

9. Оберіть на панелі інструментів «Элементы» → **Скругление** → **Фаска** і нанесіть фаски на торець меншого діаметра → в PropertyManager у вікні **Настройки фаски** оберіть грань, на яку необхідно нанести фаски з розмірами: кут = 45 град., відстань = 1 мм → ОК.

10. У дереві побудови оберіть передню площину → **Эскиз** → **Линия** і проведіть лінію, як показано на рис. 4.3 → ОК (вийти з ескізу).



Рисунок 4.3

11. У дереві побудови оберіть передню площину → **Эскиз** → **Линия** і проведіть перпендикулярну лінію довжиною 25 мм, як показано на рис. 4.4 → вийти з ескізу.

12. Оберіть на панелі інструментів «Поверхности» → **Поверхность по траектории**.

13. У PropertyManager у вікні **Профиль и направление**:

- Оберіть лінію довжиною 25 мм як профіль.
- Оберіть горизонтальну лінію як напрямок.

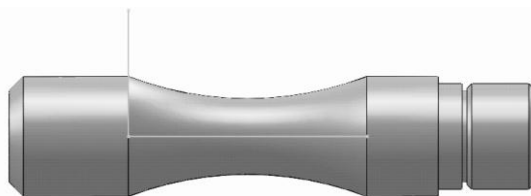


Рисунок 4.4

У PropertyManager у вікні **Параметры** оберіть **Скручивание вдоль маршрута** на 10 обертів (спробуйте варіювати цим параметром) (рис. 4.5).

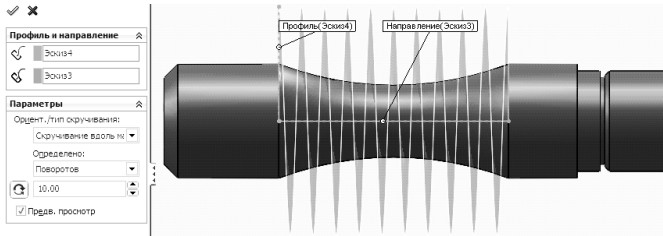


Рисунок 4.5

14. Оберіть на панелі інструментів «Эскиз» → **Преобразование объектов** → **Эскиз вдоль линии пересечения тел** → в PropertyManager у вікні **Выбрать объекты** оберіть грані, як показано на рис. 4.7 → ОК → ОК.

15. Оберіть на панелі інструментом «Эскиз» → **3D эскиз** → і приховуйте гвинтову грань (рис. 4.6).

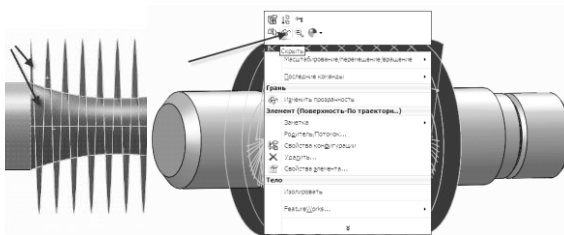


Рисунок 4.6

16. Виділіть грань, на якій моделювали фаску на відстань 3 мм → на панелі інструментів «Поверхности» оберіть → **Справочная геометрия** → **Плоскость** → назначаємо нову площину (що з'явилася в результаті перетворень) в початкову точку спірального контура (рис. 4.7) → ОК.

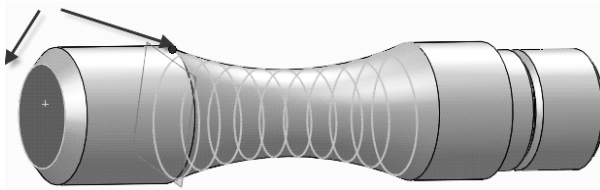


Рисунок 4.7

17. Знову виділяємо ту саму грань і назначаємо площину в кінцеву точку спірального контуру (рис. 4.8).

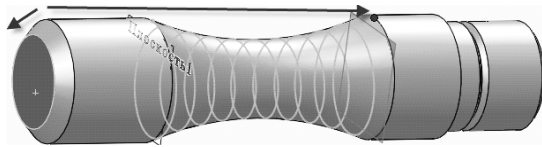


Рисунок 4.8

18. Назначте положення деталі **Слева** → в дереві побудови оберіть **Ескиз 3D** → на панелі «Ескиз» оберіть **Ескиз** → оберіть **Площадь 1** для створення ескизу і поверніть деталь в положення **Слева** → оберіть команду **Сплайн** → з пропонуваної точки проводимо відрізок, викривляємо його і додаємо по черзі вертикальний і горизонтальний взаємозв'язок (рис. 4.9).

Запам'ятайте, що новостворена евольвента має бути продовженням гвинтової лінії, а не перетинати її.

Нанесіть розміри на ескиз відповідно до рис. 4.10 → вийти з ескизу.

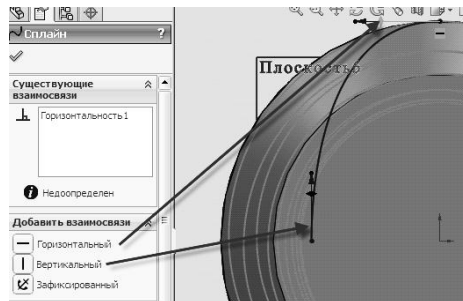


Рисунок 4.9

19. Поверніть деталь в положення ізометрії → оберіть **Площадь 2** → **Ескиз** → виділіть евольвенту на площині 1 → на панелі елементів «Ескиз» оберіть **Преобразование объектов** → на панелі елементів «Ескиз» оберіть **Осевая линия** і проведіть перпендикуляр до верхньої точки евольвенти накресленої на площині 2 → поверніть деталь в положення **Слева**

і на панелі елементів «Эскиз» оберіть команду **Зеркально отразить объекты**.

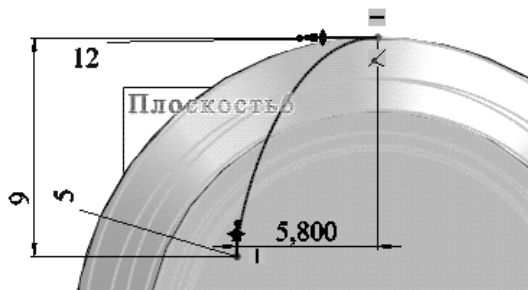


Рисунок 4.10

20. У PropertyManager у вікні **Параметры**:

- оберіть евольвенту як об'єкт для дзеркального відображення;
- оберіть перпендикулярну осьову лінію як лінійний об'єкт, відносно якого необхідно зробити дзеркальне відображення (рис. 4.11).

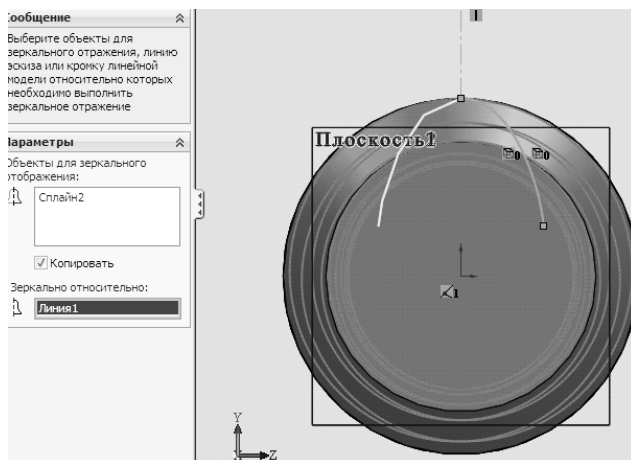


Рисунок 4.11

ОК.

21. На панелі інструментів «Эскиз» оберіть **Отсечь объекты** (відповідно до рис. 4.12), в PropertyManager у вікні **Параметры** переконайтесь, що виставлена функція автообрізання → ОК → вихід з ескизу.

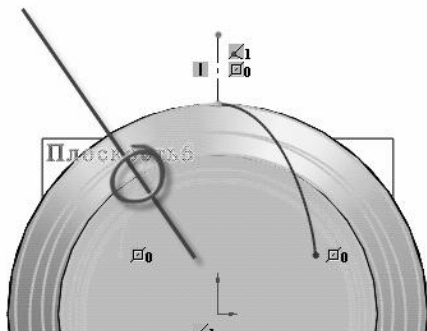


Рисунок 4.12

22. Поверніть деталь в положення ізометрії → оберіть на панелі інструментів «Поверхности» → **Кривые** → **Объединенная кривая** → PropertyManager у вікні «Соединить объекты» оберіть евольвенту на площині 1, евольвенту на площині 2 і гвинтову лінію (як показано на рис. 4.13) → ОК → Приховайте додаткові площини 1 і 2 (у дереві побудов).

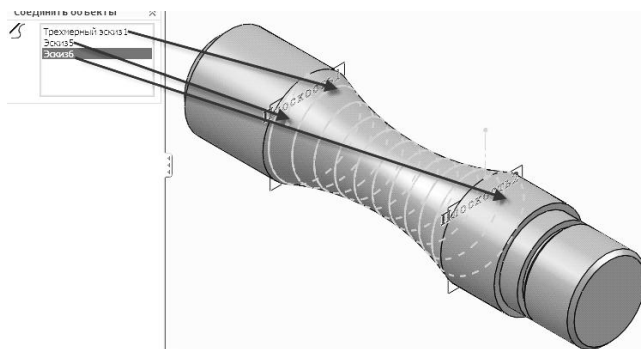


Рисунок 4.13

23. Оберіть на панелі «Поверхности» → **Справочная геометрия** → **Плоскость**.

В PropertyManager у вікні **Первая Справочная** оберіть евольвенту, накреслену на площині 2 → з’явиться площина, яку необхідно перетворити в горизонтальне положення шляхом натиснення на крайню точку евольвенти (рис. 4.14) → ОК.

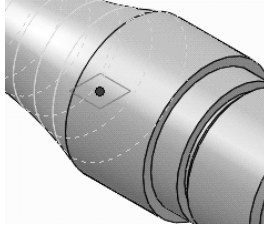


Рисунок 4.14

24. У дереві побудови оберіть новостворену площину і перетворіть її в перпендикулярне положення (правою кнопкою миші).

25. На панелі інструментів «Ескиз» → оберіть **Ескиз** → **Линия** → накресліть ескіз, як показано на рис. 4.15 → в PropertyManager у вікні **Параметры** виставте довжину = 1 мм, кут = 180° → ОК → після того, як ескіз був створений, оберіть верхню точку (рис. 4.15) → в PropertyManager у вікні **Параметры** введіть такі параметри X = 0, Y = 3, у вікні **Существующие взаимосвязи** автоматично відображено збіги, вручну додаємо взаємозв’язок **Зафиксированный** → ОК.

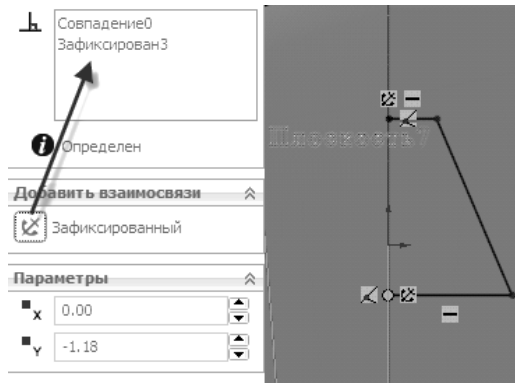


Рисунок 4.15

26. Проведіть аналогічні дії з нижньою точкою ескізу $X = 0; Y = -1,18$ (рис. 4.16).

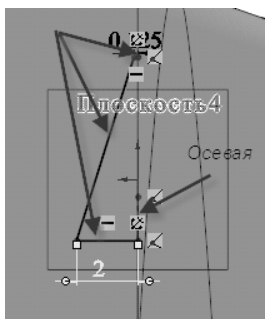


Рисунок 4.16

Відповідно до рис. 4.16 нанесіть розміри 2 і 0,125 мм.

27. На панелі інструментів «Ескиз» → **Зеркально отразить объекты** → в PropertyManager у вікні **Объекты для зеркального отражения** вкажіть три прямі лінії новоутвореного ескізу, у вікні **Зеркально относительно** вкажіть осьову лінію на ескізі (див. рис. 4.16) → ОК → вихід з ескізу.

28. Поверніть деталь в положення ізометрії → на панелі інструментів «Элементы» оберіть **Бобышка/Основание по траектории** → в PropertyManager у вікні **Профиль и направление** оберіть новоутворений ескіз як профіль, а об'єднаний профіль як напрямок; у вікні **Параметры** оберіть тип вирівнювання маршруту за напрямком вектору в дереві конструювання оберіть праву площину (рис. 4.17) → ОК.

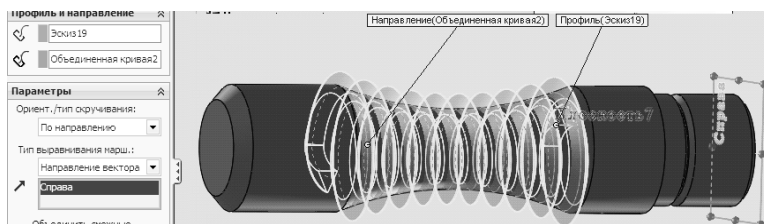


Рисунок 4.17

29. Створіть ескіз на грані циліндра меншого діаметра. Для цього поверніть деталь в положення «Справа» → в дереві конструювання оберіть додаткову площину (площина 3) → виділіть грань (зробіть її активною) → оберіть **Создать Эскиз** → побудуйте вертикальну осьову лінію, що проходить через центр кола → накресліть коло діаметром ($L9-2$ мм) → за межами деталі накресліть коло $R = 2,3$ мм → перенесіть коло на торцеву грань деталі → на панелі інструментів «Эскиз» оберіть **Зеркально отразить объекты** і відбийте перенесене коло відносно осі (відстань між центрами малих кіл $5,5$ мм, відстань між центрами кіл діаметром ($L9-2$ мм) і колом радіусом $R = 2,3$ дорівнює ($L9-1,5$ мм) → накресліть ще одне коло (центр – вісь XY) з центра діаметром ($L9+1,5$ мм) (рис. 4.18).

На панелі інструментів «Эскиз» оберіть **Отсечь объекты** → Перетворіть ескіз до такого вигляду (рис. 4.19).

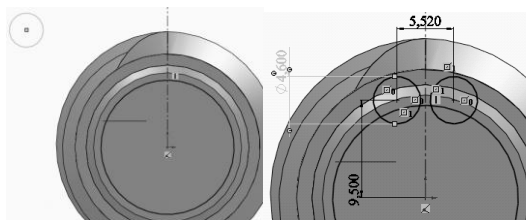


Рисунок 4.18

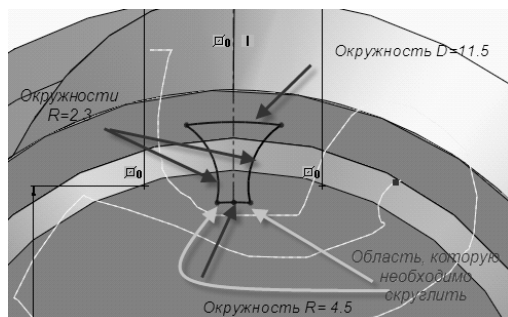


Рисунок 4.19

Додайте скруглення величиною 0,2 мм → після чого через праву кнопку миші оберіть команду **Полностью определить эскиз** → ОК → поверніть деталь в положення ізометрії → на панелі інструментів «Элементы» оберіть **Вытянутый вырез** на глибину L8 мм → ОК → оберіть **Круговой массив** (у реверсі напрямку вкажіть циліндричну поверхню, кількість екземплярів z з табл. 4.1) → ОК.

30. На панелі завдань **Внешние виды/Сцены** оберіть матеріал виробу (сталь з насічками) (рис.4.20).

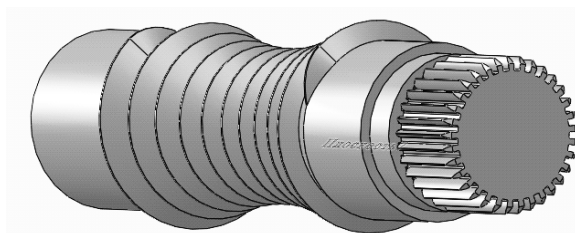


Рисунок 4.20

Збережіть модель.

Контрольні запитання

1. У чому, на Ваш погляд, полягає перевага «обертання» профілю деталі над багатоопераційним перетворенням моделі при проектуванні складнопрофільного об'єкта?

2. Яким чином у середовищі SolidWorks можна створити гвинтову поверхню?

3. Яка роль додаткових площин у проектуванні складнопрофільних об'єктів у середовищі SolidWorks?

4. Чому при проектуванні профілю глобоїдної передачі необхідно об'єднати гвинтову лінію і евольвенти?

5. Опишіть алгоритм конструктивного моделювання профілю прямого зуба передачі.

Таблиця 4.1 – Варіанти початкових даних

Варіант	Початкові дані										
	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	R	z
1	110	12,5	25	15	5	1	1,5	14	11	70	33
2	100	13	20	13	3	1	2	12	9	65	30
3	105	12	23	14	4	1	1,7	13	10	68	31
4	107	12,5	21	14	3	2	2	10	10	65	32
5	95	13	12	11	3	1,5	1	11	10	60	30
6	125	13,5	30	20	7	1,5	2	12	12,5	75	34
7	120	14	22	18	6	1,5	1,5	15	13	78	40
8	115	14	20	20	5	1	2	13	12	70	34
9	90	12	10	10	4	1	1	10	11	65	33
10	103	13,5	18	12	2	1	1,5	11	13	67	35
11	112	12,5	26	16	5	1	1,5	13	10	71	33
12	102	13	21	13	3	1	2	11	9	67	31
13	107	12	24	13	4	1	1,7	12	9	67	32
14	109	12,5	22	14	3	2	2	11	11	63	33
15	97	13	13	13	3	1,5	1	10	10	62	30
16	123	13,5	29	20	7	1,5	2	10	12	72	33
17	122	14,5	24	17	6	1,5	1,5	15	13,5	75	39
18	117	14	21	21	5	1	2	11	11	64	34
19	94	12,5	12	10	4	1	1	10	11,5	65	33
20	106	14,5	19	13	2	1	1,5	11	12,5	67	35
21	102	13	18	15	3	1	2	12	9	65	30
22	128	13,5	28	22	7	1,5	2	12	12,5	75	34
23	94	12	12	12	4	1	1	10	11	64	33
24	100	13	20	14	3	1	2	11	9	67	31
25	108	12,5	19	16	3	2	2	10	10	65	32

Примітка: таблиця відповідає рис. 4.1, 4.18–4.19.

Лабораторна робота 5

Моделювання зубчастої циліндричної прямозубої передачі в середовищі SolidWorks

Мета роботи : опанувати навички самостійного моделювання зубчастої циліндричної прямозубої передачі в середовищі SolidWorks, закріпити вміння створення складань в середовищі SolidWorks, навчитися передавати механічний рух від одного об'єкту до іншого.

Вступ до роботи.

Циліндрична прямозуба зубчаста передача належить до передач зачеплення безпосереднього контакту. Застосовується при окружних швидкостях $v \leq 2м/с$.

Зубчасті передачі призначені для передачі обертального руху між валами, зміни швидкості і моменту. Прямозубі циліндричні передачі широко використовуються в різних механізмах і машинах. Їх легко виготовляти, мають низьку вартість, але при їх роботі виникає високий шум, вони створюють вібрацію і через це швидше зношуються.

Завдання і порядок виконання

Побудова посадочного місця для зубчастих коліс

Побудуйте упорну стінку з посадочними валами для планованої зубчастої передачі (рис. 5.1) з розмірами відповідними до варіанта.

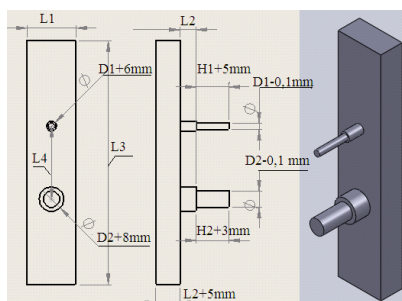


Рисунок 5.1

Збережіть деталь.

Побудова пари коліс зубчастої передачі

Після побудови упорної стінки починаємо побудову коліс.

1. У новому вікні побудуйте ведене колесо радіусом $R1$, завтовшки $H1$ і з посадочним отвором діаметром $D1$ (рис. 5.2).

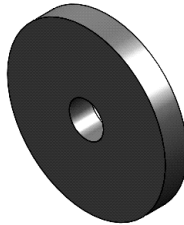


Рисунок 5.2

Поставте деталь в положення **Спереди**.

2. Для конструктивної побудови профілю зуба прямозубого циліндричного колеса накресліть ескізи двох кіл: $R3 = (R2 - 2 \text{ мм})$, $R4 = (R2 + 1 \text{ мм})$, проведіть перпендикулярну осьову лінію з центра колеса і накресліть коло $R5$ мм для конструктивного визначення кривизни евольвенти. Дзеркально відобразите коло $R5$ відносно осьової лінії, скориставшись панеллю інструментів **Ескиз** → **Зеркально отразить**. Вирівняйте розміри ескізу відповідно до рис. 5.3.

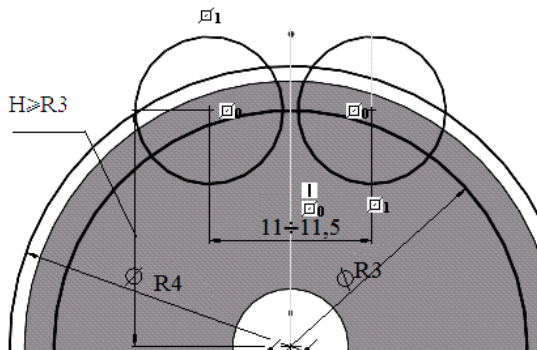


Рисунок 5.3

3. Відсічіть зайві контури, скориставшись панеллю інструментів Ескиз → **Отсечь объекты**. Округліть перехід між трохоїдою і евольвентою на величину рівну $0,1 \div 0,3$ мм (рис. 5.4).

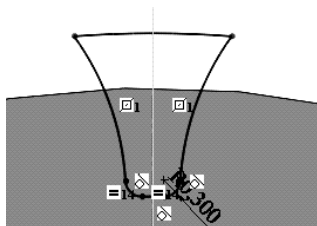


Рисунок 5.4

4. За допомогою команди **Вытянутый вырез** на панелі інструментів Элементы зробіть витискування створеного контуру наскрізь. Оберіть **Круговой массив** → у реверсі напрямку вкажіть циліндричну поверхню, кількість екземплярів = $z1$ (табл. 5.1) → ОК. Збережіть колесо (рис. 5.5).

5. Аналогічно побудуйте ведуче зубчасте колесо радіусом $R2$ мм, завширшки $H2$ мм і посадочним отвором діаметром $D2$ мм. Кількість зубів дорівнює $z2$ (табл. 5.1).

Збережіть колесо.

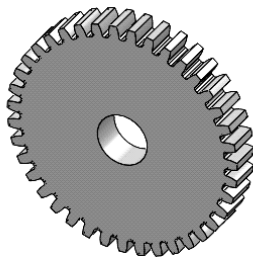


Рисунок 5.5

Складання механізму

Створіть новий документ **Сборка**. За допомогою команди **Сборка** → **Вставить компоненты** вибираємо усі створені об'єкти. Там же оберіть команду **Условия сопряжения** і як об'єкти для сполучення оберіть:

- поверхню посадочного отвору і відповідну поверхню вала;
- торцеву поверхню зубчастого колеса (вигляд ззаду) і торцеву поверхню упорної площини на валу (для кожного колеса) (рис. 5.6).

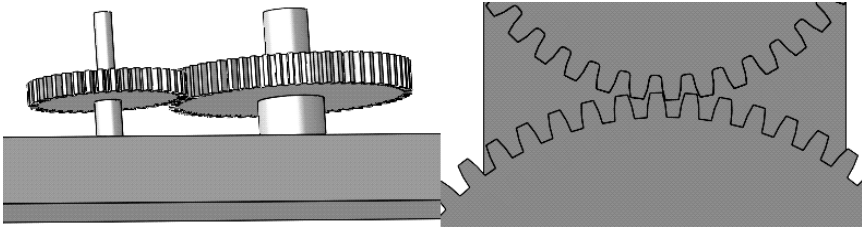


Рисунок 5.6

Накладення взаємозв'язків для передачі механічного руху від одного елемента механізму до іншого

Для того щоб зубчасті колеса передавали рух від одного іншому, необхідно створити ряд взаємозв'язків.

У дереві побудови приховайте елемент (стінку), на яку кріпляться прямозубі зубчасті колеса (рис. 5.7).

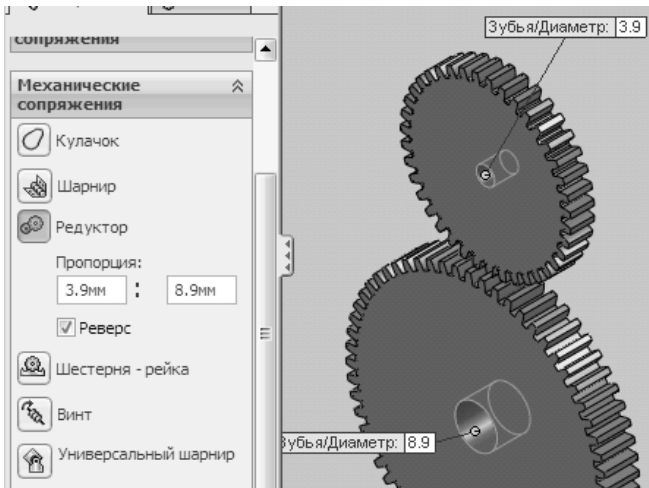


Рисунок 5.7

На панелі інструментів «Сборка» оберіть команду **Условия сопряжения**. У PropertyManager у вікні «**Механические сопряжения**» оберіть сполучення редуктора і вкажіть по черзі посадочні отвори ведучого і веденого колеса → ОК. Тепер колеса передають обертальний рух.

На панелі завдань «Внешние виды/Сцены» оберіть матеріал виробу відповідно до технологічного процесу виготовлення зубчастих коліс і корпусів, у механізмах яких застосовуються зубчасті колеса. У цій роботі матеріал прямокутних циліндричних коліс – шліфувана сталь, матеріал стінки – алюміній з насічками.

Збережіть складання.

Дослідження руху зубчастої передачі шляхом створення анімації

У останніх версіях SolidWorks анімація виконується в модулі **Исследование Движения**.

Для дослідження правильності руху в моделі складання необхідно додати взаємозв'язок між бічною (торцевою) гранню стінки і площиною **Сверху** ведучого колеса з умовою стандартного сполучення під кутом 0° (рис. 5.9).

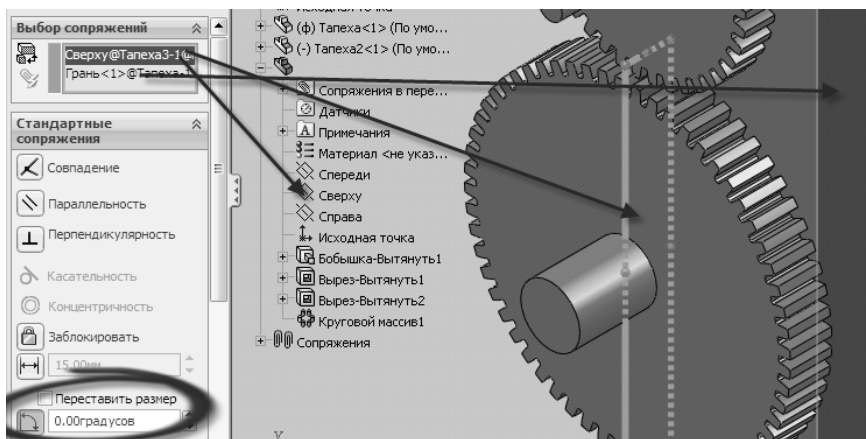


Рисунок 5.9

Відеоряд ми робитимемо за допомогою вкладки **Исследование движения**, розташованою ліворуч унизу графічного вікна.

Основну частину цієї вкладки займає лінійка часу з відмітками в секундах: «0 сек», «2 сек»,... На лінійці часу сірою лінією відмічено, в якій місці нашої анімації ми знаходимося. Перейшовши у вкладку **Исследование Движения** розпочинаємо роботу з прапорцем, що відповідає ведучому колесу і пересуваємо його на відмітку, що відповідає шістнадцятій секунді, саме за цей час ведуче колесо робитиме повний оберт (360°).

Для завдання кута повороту колеса розпочинаємо роботу з кутовою умовою сполучення. На кожні дві секунди задаємо рівне значення кута повороту шляхом пересування прапорця відповідного сполучення під кутом (рис. 5.10).



Рисунок 5.10

Запускаємо анімаційний ролик.

Контрольні запитання

1. Чи можливо у середовищі SolidWorks отримати рівномірне розповсюдження одного елемента по всій заданій поверхні?
2. Яким чином у середовищі SolidWorks можна забезпечити передачу руху від одного елемента до іншого?
3. Які механічні сполучення можна змодельовати у середовищі SolidWorks?
4. З якою метою в середовищі SolidWorks проводять дослідження руху елементів у механізмах?
5. Яке значення має кутова умова сполучення при дослідженні руху двох компонентів?

Таблиця 5.1 – Варіанти початкових даних

Ва- ріант	Початкові дані											
	L1	L2	L3	L4	D1	D2	R1	R2	H1	H2	Z1	Z2
1	30	10	150	44,5	4,1	10,1	18	27,5	5	7	39	60
2	15	10	100	50	6	8	20	32	15		55	87
3	40	15	90	40	4,2	10,2	18	24	8		40	60
4	50	20	80	48	5	7	20	30	10		51	83
5	20	9	55	30	3	6	14	18	7		17	25
6	30	8	98	50	8	10	19	31	12		55	87
7	25	15	96	50	8	12	20	32	10	12	54	86
8	50	9	100	46	6	9	18	29	5	7	38	59
9	33	7	63	35	3	5	16	21	6		17	25
10	40	15	120	55	7	12	25	32	12	12	61	87
11	30	12	70	51	5	7	21	32	9		56	88
12	35	8	94	44,5	4,6	10,8	20	25,5	7	7	40	61
13	33	11	77	40	4,5	11	19	23	8		43	62
14	20	9	110	49	4	6	18	31	12		54	86
15	40	8	120	50	8	13	20	32	11,5		55	87
16	55	14	135	55	9	15	23	34	14		61	92
17	30	15	65	40	6	10	18	24	8	10	45	60
18	35	12	100	48	5	8	20	30	10	12	52	85
19	45	8,5	88	45	7	10	19	26	10		39	60
20	27	14	93	42	6	12	20	24	9	9	49	80
21	28	10	140	44,5	4,1	10,1	18	27,5	5	7	38	60
22	17	11	90	50	6	8	20	32	15		55	87
23	18	8	60	30	3	6	14	18	7	7	17	25
24	38	16	110	55	7	12	25	32	12	12	61	87
25	40	15	80	40	4,2	10,2	18	24	8	8	40	60
<i>Примітка:</i> таблиця відповідає рис. 5.1–5.5.												

Лабораторна робота 6

Моделювання твердого багатотільного об'єкту типу «вушко» в середовищі SolidWorks і розрахування конструкції в пакеті CosmosWorks

Мета роботи : опанувати навички створення твердого багатотільного об'єкта типу «вушко» в середовищі SolidWorks, навчитися розраховувати конструкції в пакеті CosmosWorks.

Теоретична частина.

Тверді багатотільні об'єкти мають місце, коли в одному файлі деталі є декілька твердих тіл. Дуже часто метод багатотільного об'єкта корисний при розробці деталей, в яких потрібне розділення елементів і поміщення їх на певну відстань один від одного. З такими тілами можна працювати індивідуально і уносити зміни окремо в кожне тіло, а потім об'єднувати ці тіла в єдине тверде тіло.

Тверді багатотільні об'єкти можна створювати декількома способами. За допомогою перерахованих нижче команд на основі одного елемента можна створити декілька твердих тіл:

- витягнуті бобишки і вирізи (включаючи тонкостінні);
- повернені бобишки і вирізи (включаючи тонкостінні);
- вирізи по перерізах;
- потовщені вирізи;
- порожнини.

Найшвидшим способом створення твердого багатотільного об'єкта є зняття прапорця **Результат слияния** для певних бобишек і вирізів.

Завдання і порядок виконання

Моделювання твердого багатотільного об'єкта типу «вушко» в середовищі SolidWorks

Створення твердого багатотільного об'єкта розпочнемо з побудови стінок вушка на передній площині відповідно до вашого варіанта (рис. 6.1).

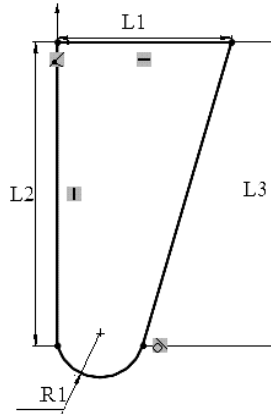


Рисунок 6.1

Примітка: розмір дотичної дуги R1 будується автоматично.

За допомогою команди **Вытянутая бобышка** будемо твердотільний об'єкт в двох напрямках від ескізу на відстань рівну L4 мм (у кожний бік) → ОК.

На перпендикулярній площині рисуємо прямокутний ескіз (положення деталі **Слева**) з центром, що співпадає з центром ескіза стінок «вухка». Розмір більшої сторони прямокутника має приблизно дорівнювати $\sim((L2+R1) \times 2,2)$ мм. Відстань від торцевої грані стінки до більшої сторони прямокутника має дорівнювати L5 (рис. 6.2).

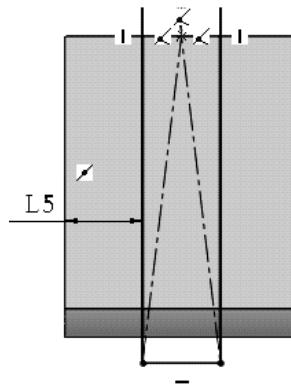


Рисунок 6.2

За допомогою команди **Вытянутый вырез** розрізаємо створену твердотільну модель на дві (напрямов вирізу **Насквозь**) (рис. 6.3).

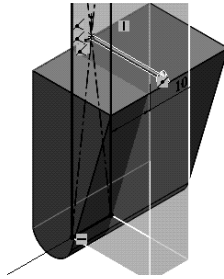


Рисунок 6.3

Відносно перпендикулярної площини однієї зі знову створених моделей креслимо ескіз кола з первинного центра координат радіусом рівним $R = 2L4$ і створюємо наступний твердотільний об'єкт за допомогою команди **Вытянутая бобышка** довжиною $L6$.

По циліндричній грані знову створеного твердотільного об'єкта необхідно призначити округлення величиною рівною 3 мм (для варіантів 4, 8, 12, 15 скруглення дорівнює 1 мм) (табл. 6.1), інші грані скругляти на величину рівну 1 мм (для усіх варіантів завдань) (рис. 6.4).

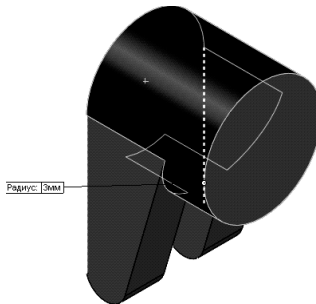


Рисунок 6.4

На торцевій грані однієї зі стінок «вухка» необхідно змоделювати кріпильний отвір радіусом $R2$, стінки отворів округляти на величину рівну 1 мм (рис. 6.5).

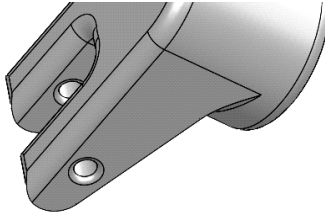


Рисунок 6.5

Для створення шліцьової охоплюючої поверхні модельованої деталі відносно торцевої грані циліндричного елемента необхідно створити наскрізний витягнутий виріз величиною R3 (рис. 6.6).

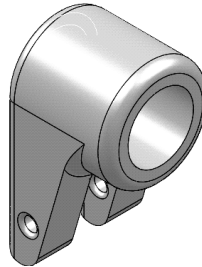


Рисунок 6.6

Відповідно до методики створення зубів зубчастих коліс (вивченої під час виконання лабораторних робіт 4–5) конструктивно створюємо шліцьову охоплюючу поверхню (рис. 6.7) з кількістю шліців рівною n .

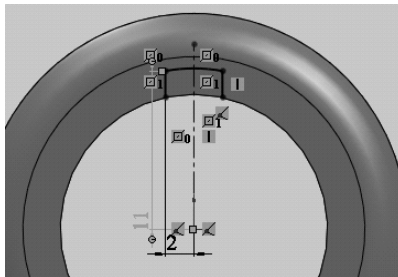


Рисунок 6.7

Розрахунок конструкції в додатку SimulationXpress

У базову конфігурацію SolidWorks входить модуль експрес-аналізу міцності – SimulationXpress. SimulationXpress є «полегшеною» версією пакета SolidWorks Simulation і призначений, в першу чергу, для інженерів-проектувальників, які не мають глибоких знань в теорії кінцево-елементного аналізу. Проте, SimulationXpress дозволяє проектувальникові визначити, де розташовані концентратори напруги, оцінити «перевантажені» елементи конструкції, з яких може бути видалений надмірний матеріал з метою зниження ваги і, відповідно, вартості майбутнього виробу.

Можливості експрес-аналізу і кінематики механізмів: визначення напруження, деформацій, розрахунок коефіцієнта запасу міцності (SimulationXpress), імітація роботи механізмів, пошук взаємопроникнень і аналіз колізій між ланками; контактні взаємодії, гравітація, пружини, кулачки.

Розпочинаємо роботу з призначення матеріалу. У дереві побудови деталі типу «вушко» призначаємо матеріал досліджуваної деталі, наприклад сталь легована 16 ХГН.

За допомогою кнопки **Массовые характеристики** на панелі інструментів «Анализировать» отримаємо усі автоматично розраховані характеристики деталі для подальших досліджень.

Для моделювання необхідних досліджень потрібно підключити бібліотеки Simulation за допомогою панелі управління: *Инструменты* → *Добавления* → *SolidWorks Simulation* и *Toolbox* (поставити прапорець). При роботі з помічником виконання аналізу SimulationXpress, що рекомендується на період навчання, прапорець не потрібний.

Для проведення експрес-аналізу необхідно відкрити вкладку **Новое исследование** на панелі «Анализировать» і вибрати тип дослідження, що цікавить. В ході лабораторної роботи виконаємо статичне дослідження, для проведення якого необхідно визначити нерухомі поверхні і задати зовнішні навантаження відповідно до передбачуваних умов експлуатації.

Примітка: для отримання демонстраційного результату вирішимо таке завдання (рис. 6.8): тяги сполучені між собою за допомогою штиря,

вставленого в їх вушки, прикладені навантаження мають протилежні напрямки. Визначити допустиму величину сили F , що розтягує тяги, при таких значеннях допустимих напружень: на розтягнення $\sigma_p = 120 \text{ Н/мм}^2$, на зріз $\tau_{zp} = 80 \text{ Н/мм}^2$, на зминальність $\sigma_{zm} = 210 \text{ Н/мм}^2$. Допустиме навантаження з'єднання визначається з розрахунку тяги на розтягнення, штиря на зріз, стінок отворів у тязі на зминальність і країв вушка на зріз (виколування). В результаті кожного з вказаних розрахунків у загальному випадку виходять різні значення допустимого навантаження. Розв'язком задачі є така величина навантаження, при якій забезпечена міцність усіх елементів конструкції, тобто найменша з отриманих за результатами окремих розрахунків.

В результаті розрахунку отримали наступну допустиму величину навантаження $[F] = [F_p]_{II}^2 = 28,8 \cdot 10^3 \text{ Н} = 28,8 \text{ кН}$.

Необхідно запам'ятати, що завжди слід прагнути до того, щоб усі елементи конструкції мали рівну міцність – це забезпечить найбільш раціональне використання її матеріалу.

Після того, як усі параметри задані, у вкладці **Simulation** необхідно здійснити запуск вирішувальної програми для поточного дослідження. Переглянути результати, що цікавлять, можна в PropertyManager за допомогою правої кнопки маніпулятора «миша».

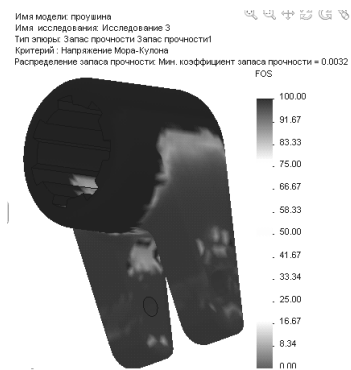


Рисунок 6.8

Таблиця 6.1 – Варіанти початкових даних

Варіант	Початкові дані									
	L1	L2	L3	L4	L5	L6	R1	R2	R3	n
1	20	35	35	15	10	30	5,1	4	9	7
2	22	38	38	19	13	31	5,1	3,8	13	13
3	33	55	55	20	11	50	7	6	14	14
4	18	30	30	16	12	25	4	3	9,5	9
5	31	51	51	21	11,5	46	6,5	5,5	12	15
6	25	34	34	15	10	40	5	3,5	9	8
7	32	43	43	20	13	48	6	7	13	16
8	25	25	25	15	7	33	5,5	3,5	9,5	8
9	20	36	36	17	11	29	5,1	4,1	9	7
10	23	40	40	20	15	33	5,1	4,5	15	14
11	23	33	33	18	8	40	4,8	5	12	15
12	19	28	28	14	10	26	3,5	3,5	10,5	12
13	32	53	53	22	12	49	8	7	13	15
14	25	36	36	16	12	38	6,5	5,5	9,5	9
15	17	29	29	15	10,5	24	4,5	3	10	11
16	23	27	27	15	8	31	5,8	4	9,5	7
17	28	23	23	15	9	38	5	3	9	9
18	19	31	31	15	10	27	5,5	4,5	11	13
19	30	40	40	18	7	45	7	6	12	15
20	50	55	55	25	16	60	9	8	17	18
21	21	35	35	15	10	30	5,1	4	9	7
22	34	55	55	20	11	50	7	6	14	14
23	20	30	30	16	12	25	4	3	9,5	9
24	26	34	34	15	10	40	5	3,5	9	8
25	24	34	34	18	8	40	4,8	5	12	15

Примітка: таблиця відповідає рис. 6.1–6.6.

Контрольні запитання

1. Що являє собою метод багатотільного об'єкта?
2. Якими способами можна створювати тверді багатотільні об'єкти?
3. Яке призначення модуля SimulationXpress і які його можливості?
4. Як назначити марку матеріала проектованої деталі у середовищі SolidWorks?
5. Яким чином у середовищі SolidWorks можна отримати розрахункові характеристики змодельованого об'єкта?
6. Чому усі елементи багатотільного об'єкта мають характеризуватися однаковою міцністю?

Джерела інформації

1. Справка SolidWokks.
2. Зак П.С. Глобоидная передача Текст. / П.С. Зак. – М. : Машгиз, 1962. –256 с.: ил.