

# **МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

Національний університет «Запорізька політехніка»

ТЕКСТИ (конспект лекцій) з дисципліни

## **"Автоматизоване проектування елементів автотранспортних засобів та засобів їх діагностування"**

для студентів спеціальності 133 "Галузеве машинобудування"

("Колісні та гусеничні транспортні засоби"),  
усіх форм навчання

### **Частина 4 - змістовий модуль 2.**

Створення деталей, складань і креслень.

Методи поверхневого моделювання.

Використання розрахункових модулів

**2019**

ТЕКСТИ (конспект лекцій) з дисципліни "Автоматизоване проектування елементів автотранспортних засобів та засобів їх діагностування" для студентів спеціальності 133 "Талузеве машинобудування" ("Колісні та гусеничні транспортні засоби") усіх форм навчання. Частина 4 - змістовий модуль 2. Створення деталей, складань і креслень. Методи поверхневого моделювання. Використання розрахункових модулів / Укл. : О. М. Артюх, О. В. Дударенко, А. Ю. Сосик, А. В. Щербина. Запоріжжя : НУ "Запорізька політехніка", 2019. 92 с.

Укладачі: О.М. Артюх, доцент, канд.техн.наук;  
О.В. Дударенко, доцент, канд.техн.наук;  
А.Ю. Сосик, доцент, канд.техн.наук;  
А.В. Щербина, доцент, канд.техн.наук

Рецензенти: О.С. Слюсаров, доцент, канд.техн.наук;  
С.М. Турпак, професор, д-р.техн.наук

Відповідальний за випуск: А.Ю. Сосик, доцент, канд.техн.наук

Затверджено  
на засіданні кафедри "Автомобілі"  
Протокол № 2  
від « 2 » грудня 2019.

Рекомендовано для видання  
НМК Транспортного факультету  
Протокол № 84  
від « 12 » грудня 2019.

**ЗМІСТ****Частина 4**

|                                                     |     |
|-----------------------------------------------------|-----|
| Вступ .....                                         | 284 |
| Тематичний план лекційних занять .....              | 286 |
| Лекція № 10. Робота зі зварними конструкціями ..... | 289 |
| Лекція № 11. Створення складань деталей .....       | 317 |
| Рекомендована література .....                      | 367 |
| Базова .....                                        | 367 |
| Допоміжна .....                                     | 367 |
| Інформаційні ресурси .....                          | 372 |

## ВСТУП

Сьогодні визначальними факторами успіху в промисловому виробництві є зменшення часу виходу продукції на ринок, підвищення якості, зниження її вартості. Практична реалізація цих вимог вимагає модернізації проектно-технологічних і виробничих процесів. Проектування є не що інше, як перетворення вихідного опису об'єкта, сформульованого в технічному завданні, в остаточний опис. Остаточний опис являє собою комплект технічної документації, необхідний для виробництва необхідного об'єкта в заданих виробничих умовах. Таким чином, проектування - це перетворення вихідного опису об'єкта в остаточний опис, тобто процес перетворення інформації.

Для перетворення інформації давно почали застосовувати обчислювальну техніку. Найбільш потужним засобом перетворення інформації при проектуванні технічних об'єктів є системи автоматизованого проектування (САПР). Їхня інтеграція в єдину багатофункціональну систему, що охоплює всі цикли життя промислового виробу, дозволяє суттєво скоротити час перетворення інформації, відповідної до кожного циклу. До теперішнього часу системи САПР застосовувані в машинобудуванні, базуються на самих складних програмно-методичних комплексах і потужних технічних засобах.

Даний лекційний курс присвячений питанням впровадження в навчальний процес САПР Solidworks, оскільки протягом останніх десяти років саме ця система впевнено присутня серед найбільш затребуваних САПР у машинобудуванні. Сфера його застосування безупинно розширюється за рахунок суміжних галузей: приладобудування, будівництва, розробки товарів побутового призначення.

Головна причина такої популярності Solidworks - розвинена базова функціональність у сукупності із простим і зручним інтерфейсом, простотою конфігурування, прийнятною ціною й невисокими вимогами до апаратної частини комп'ютерів. Solidworks безупинно розбудовується, причому рух відбувається й за рахунок розвитку наявних можливостей, і через розширення кола розв'язуваних завдань: власне моделювання й проектування, оформлення документації, керування проектами, опису технологічних процесів, підготовки керуючих програм для устаткування із програмним керуванням тощо.

Про актуальність застосування в навчальному процесі саме САПР Solidworks, говорить наявність у ній інтегрованих розрахунко-

вих модулів сімейства Simulation: власне Simulation (раніше - CosmosWorks); Flow Simulation (раніше - CosmosFlowworks) і Solidworks Motion (раніше CosmosMotion) - які дозволяють виконувати складні розрахунки й аналіз проєктованих систем на всіх етапах створення автомобіля. А застосування 3D-моделювання вже на початковому етапі проєктування, при проведенні проєктно-конструкторських і дослідницьких робіт, має незаперечні переваги перед плоским моделюванням (2D). Саме сприйняття інформації із тривимірного простору не тільки більш точне, але й значно полегшує розуміння студентом сутності проєктної роботи.

У даному курсі лекцій також розглянуті основні можливості сучасних систем проєктування й виконання розрахунків, застосовуваних у машинобудуванні. Описані методи роботи в Solidworks у плані проєктування деталей, виконання складань і креслень.

У лекційному курсі спочатку розглянуте проєктування простих об'єктів, потім елементів складальних одиниць, на закінчення показані принципи створення складних поверхонь в Solidworks, якими є поверхні кузова автомобіля, а також можливість використання розрахункових модулів Solidworks для дослідження аеродинаміки автомобіля.

Завершальним етапом освоєння даного курсу є виконання курсової роботи, що дає студентові можливість самостійно застосувати отримані знання й навички при вирішенні конкретного проєктного завдання по реальній тематиці.

## ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН ЛЕКЦІЙНИХ ЗАНЯТЬ

Загальний об'єм курсу становить 30 годин і складається з двох змістових модулів. Даний конспект лекцій дисципліни "Автоматизоване проектування елементів автотранспортних засобів та засобів їх діагностування" складається з двох частин, і розроблений відповідно до:

**Робоча програма з дисципліни "Автоматизоване проектування елементів автотранспортних засобів та засобів їх діагностування"** для студентів за напрямом підготовки 6.050503 – "Машинобудування", спеціальністю 133 - Галузеве машинобудування (Колісні та гусеничні транспортні засоби), усіх форм навчання. Запоріжжя : ЗНТУ, 2019. 25 с.

Нижче наведено назву змістового модуля дисципліни "Автоматизоване проектування елементів автотранспортних засобів та засобів їх діагностування", найменування тем лекційних занять в модулі і вказано кількість годин аудиторних занять, для студентів денної форми навчання, окремо для кожної лекції.

Для кожної теми лекції вказано перелік питань які треба розглянути під час даної лекції. Слід враховувати те, що в даному конспекті лекцій приведено лише стислий огляд питань кожної лекції. Крім того навчальним планом дисципліни передбачено активну самостійну роботу студентів за вказаними темами курсу.

Вкінці кожної лекції наведено перелік питань для самоперевірки. Для самостійної роботи студенту слід користуватися рекомендованою літературою для вивчення дисципліни, перелік якої наведено в кінці даного конспекту лекцій, а також використовувати розроблені методичні вказівки:

**Методичні вказівки з вивчення дисципліни "Автоматизоване проектування елементів автотранспортних засобів та засобів їх діагностування"** та виконання контрольних завдань, для студентів спеціальності 133 "Галузеве машинобудування" ("Колісні та гусеничні транспортні засоби"), усіх форм навчання / Укл. : О. М. Артюх, О. В. Дударенко, А. Ю. Сосик, А. В. Щербина. Запоріжжя : НУ "Запорізька політехніка", 2019. 62 с.

**Змістовий модуль 2.** Створення деталей, складань і креслень. Методи поверхневого моделювання. Використання розрахункових модулів.

### **Тема 8. Робота з конфігураціями деталей (2 год.)**

Основні відомості про конфігурацію деталей. Створення нової конфігурації. Редагування конфігурацій. Створення конфігурацій: вручну, за допомогою таблиці параметрів та за допомогою діалогового вікна.

### **Тема 9. Створення деталей з листового матеріалу (2 год.)**

Основні способи побудови деталей з листового матеріалу. Створення деталей з листового матеріалу. Перетворення твердого тіла в деталь із листового матеріалу. Конструювання деталі із твердого тіла й перетворення в деталь із листового матеріалу.

### **Тема 10.Робота зі зварними конструкціями (2 год.)**

Основні принципи створення зварних конструкцій. Створення зварної конструкції із тривимірного ескізу. Створення власних профілів. Створення зварної конструкції за допомогою багатотільної деталі.

### **Тема 11.Створення складань деталей (2 год.)**

Основні принципи створення складань. Побудова складання "знизу-нагору". Побудова складання "зверху-униз".

### **Тема 12.Робота з ливарними формами (2 год.)**

Основні принципи створення ливарних форм. Оформлення порожнини ливарної форми. Проста ливарна форма. Оформлення ливарної форми зі складним розніманням. Проектування ливарної форми.

### **Тема 13.Оформлення креслень (2 год.)**

Основні принципи оформлення креслень в Solidworks. Створення додаткових видів. Додавання приміток. Настроювання розмірних ліній. Настроювання відображення тексту розміру. Оформлення скла-

дального креслення. Оформлення специфікації.

#### **Тема 14. Розробка зовнішніх форм кузова автомобіля (2 год.)**

Підготовка вихідних матеріалів і створення видових ескізів проєктованого автомобіля. Проєктування елементів моделі кузова автомобіля методом поверхневого моделювання. Проєктування коліс автомобіля методами твердотільного моделювання. Складання моделі кузов-колеса-дорога.

#### **Тема 15. Аеродинамічні дослідження моделі кузова автомобіля (2 год.)**

Введення вихідних даних, налаштування розрахункових програм і послідовність аеродинамічних розрахунків. Аналіз графічних результатів дослідження отриманої 3D-моделі. Розрахунки коефіцієнта аеродинамічного опору. Дослідження впливу елементів дизайну автомобіля на величину коефіцієнта аеродинамічного опору.

## **ЛЕКЦІЯ № 10. РОБОТА ЗІ ЗВАРНИМИ КОНСТРУКЦІЯМИ**

**План лекції.** Основні принципи створення зварних конструкцій. Створення зварної конструкції із тривимірного ескізу. Створення власних профілів. Створення зварної конструкції за допомогою багатотільної деталі.

**Література:** [1] - [3], [6], [10], [15].

За допомогою інструментів зварних деталей в SolidWorks можливе проектування рамних або фермових конструкцій по довільному набору плоских або тривимірних ескізів у файлі деталі, а також використання специфічних конструкційних елементів, таких як оброблення під зварювання, кінцеві заглушки, косинки й елементи зварювального шва.

### **Основні принципи створення зварних конструкцій.**

У даний час зварені з'єднання є найпоширенішими в порівнянні з іншими типами нероз'ємних з'єднань. Цьому сприяє висока міцність з'єднань, технологічність і економічність. Розроблена технологія зварювання конструкційних сталей, чавуну, мідних, алюмінієвих, титанових та інших сплавів кольорових металів, а також деяких пластмас.

При проектуванні зварених з'єднань слід враховувати їхні недоліки:

- зварювання приводить до зміни механічних властивостей основного металу у бік погіршення через нагрівання місця шва;
- через неоднорідність нагрівання виникають залишкові напруження і як наслідок цього, залишкові деформації;
- зварені з'єднання можуть мати істотну анізотропію властивостей у звареному шві;
- у зварених з'єднаннях виникають місцеві напруження, які суттєво впливають на міцність, особливо в умовах змінного навантаження;
- висока концентрація напруг та інші несприятливі фактори приводять до малої довговічності зварених з'єднань, особливо в умовах ударного навантаження;

- контроль якості звареного шва досить складний і не завжди економічно виправданий.

Конструкція деталей що зварюються, залежить від способу стикування деталей і зварного шва, спочатку ми розглянемо коротку класифікацію основних типів зварних з'єднань. По виду взаємного розташування деталей що зварюються, зварні з'єднання виконуються:

- **стиковими** - коли деталі приварюються торцевими поверхнями. Вони є найбільш раціональними, тому що їхня міцність дорівнює міцності основного металу. Для практичної реалізації цих з'єднань, залежно від товщини, необхідно обробити відповідним чином крайки деталей що з'єднуються (рис. 10.1). При цьому форма оброблюваних крайок сприяє більш успішному формуванню звареного шва, який збігається за формою з торцевим перетином деталей що зварюються;
- **напускними** - коли бічні поверхні частково перекривають один одного. З'єднання цього типу виконуються кутовими швами, які мають форму, близьку до рівнобедреного трикутника (рис. 10.2). Залежно від розташування щодо зовнішньої сили шви бувають фланговими (рис. 10.2, а), лобовими (рис. 10.2, б), косими (рис. 10.2, в) і комбінованими (рис. 10.2, г);
- **тавровими** - коли елементи що з'єднуються, перпендикулярні або, що досить рідко, похилі (рис. 10.3). Таврові з'єднання можуть бути виконані кутовим швом (рис. 10.3, а) з однієї сторони або по обидва боки, стиковим швом (рис. 10.3, б, в);
- **кутовими** - коли елементи що з'єднуються, перпендикулярні один до одного й приварюються крайками (рис. 10.4). Таке зварене з'єднання є різновидом таврового.

Особливість зварених конструкцій така, що вони складаються начебто з окремих деталей, але усі деталі з'єднані в одне ціле за допомогою зварювання. І розглядати таку деталь із погляду розрахунків на міцність і твердість треба як єдине ціле, з урахуванням ослаблення зварених швів.

В SolidWorks зварні конструкції можна створювати двома способами:

- використовуючи тривимірні ескізи, створюється зварений виріб із профілів, обраних з бібліотечної бази або створених самостійно. При цьому можливе відсікання зайвих частин профілів і установка торцевих пробок;

- зварена деталь створюється з декількох твердих тіл, як багатотільний об'єкт. При цьому можливе округлення кутів, підготовка крайок для зварювального шва, формування зварювального шва й установка кутових з'єднань.

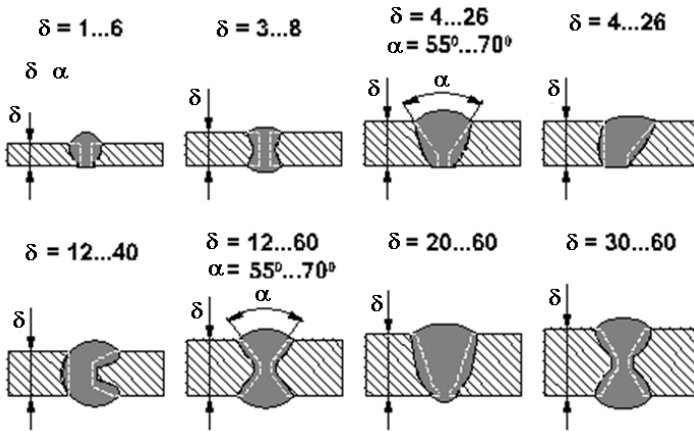


Рисунок 10.1 - Стикові типи зварних з'єднань

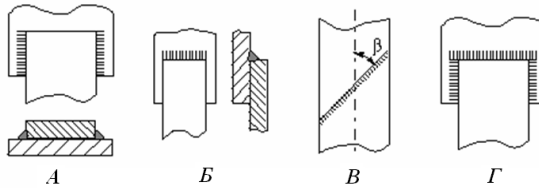


Рисунок 10.2 - Напускні типи зварних з'єднань

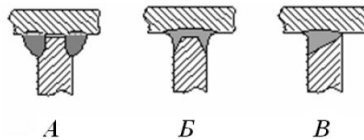


Рисунок 10.3 - Таврові типи зварних з'єднань

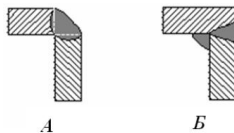


Рисунок 10.4 - Кутові типи зварних з'єднань

До основних команд інструментальної панелі «Сварные детали» відносяться наступні команди:

- «Сварная деталь» для створення елемента звареної деталі;
- «Конструкция»;
- «Угловое соединение»;
- «Торцевая пробка»;
- «Скругленный шов»;
- «Отсечь/вытянуть»;
- «Сварной шов».

Щоб додати панель «Сварные детали» на екран, пройдіть шлях «Инструменты | Настройка | Команды | Плавающие панели инструментов» і перемістіть мишею в диспетчер команд кнопку - «Сварные детали».

### Створення зварної конструкції із тривимірного ескізу.

Розглянемо спосіб створення зварної конструкції із тривимірного ескізу. В якості прикладу скористаємося ескізом естакади (файл деталі Естакада.sldprt). Якщо панелі «Сварная деталь» немає на екрані монітора, то викличте її через «Инструменты | Настройка» й на вкладці «Панель инструментов» встановить прапорець «Сварные детали» (рис. 10.5).

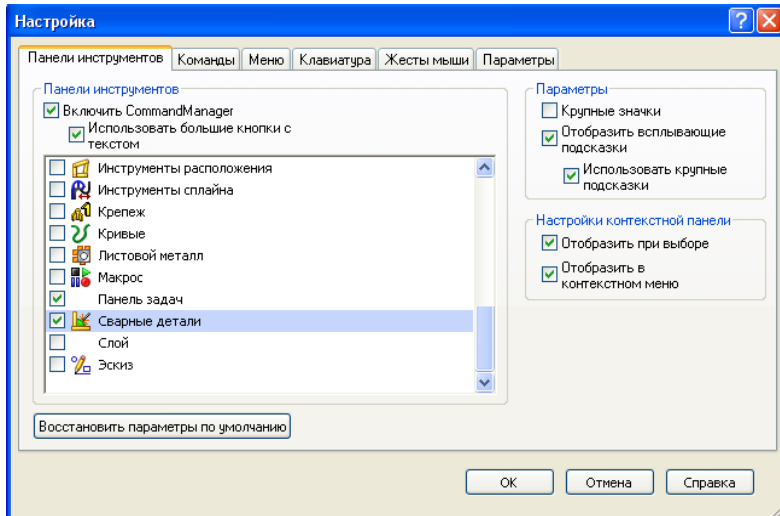


Рисунок 10.5 - Настройка панелі «Сварная деталь»

Зверніть увагу, що в інструментальній панелі «Сварные детали» є команда - «Трехмерный эскиз». Це та ж сама команда, що й на панелі інструментів «Эскиз». Тому якщо ви створюєте тільки одну зварну деталь, то немає необхідності виносити кнопку команди «Трехмерный эскиз» в інструментальну панель «Эскиз», а можна скористатися відповідною кнопкою в інструментальній панелі «Сварные детали».

Після того як інструментальна панель з'явилася на екрані, можна приступити до створення зварної конструкції на основі завантаженого тривимірного ескизу. Натиснемо кнопку - «Сварная деталь». У дереві конструювання повинен з'явитися елемент «Сварная деталь». Тепер скористаємося кнопкою - «Конструкция» для витяжки профілів уздовж зазначених траєкторій у тривимірному ескизі. У менеджері властивостей відкриється діалогове вікно «Конструкция» (рис. 10.6).

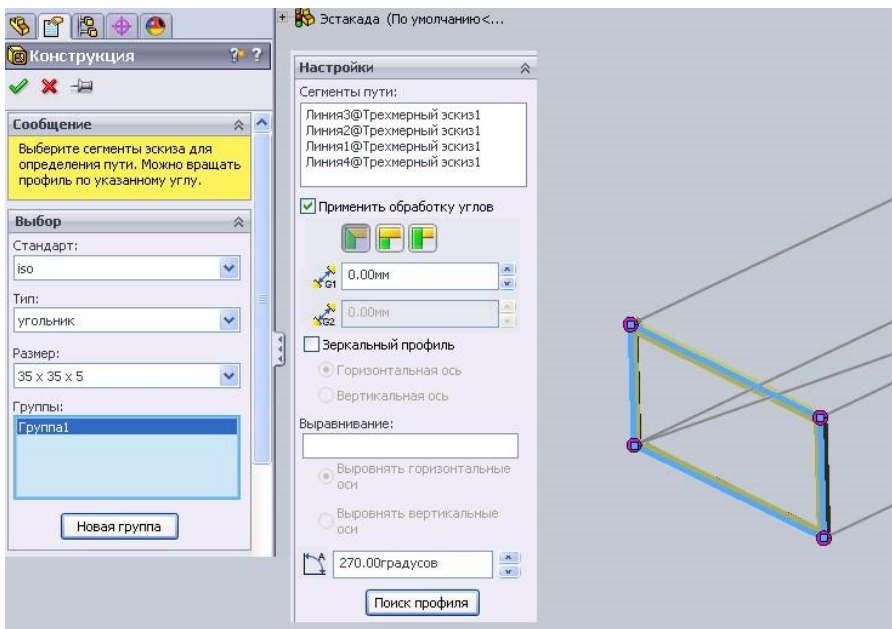


Рисунок 10.6 - Процесс створення зварної конструкції

У полі «Стандарт» виберемо із двох стандартів метричний **iso**. У полі «Тип» можна вибрати профіль з існуючих, наприклад, коси-

нець. Надалі ми покажемо, як створювати власні профілі. У полі «**Размер**» можна вибрати розміри існуючих профілів, скажемо, косинець розміром  $35 \times 35 \times 5$  мм, що означає: ширина полиць косинця - 35 мм, а товщина металу - 5 мм. Тепер залишилося задати в полі «**Группы**» елементи ескізу, які будуть оформлені обраним типом профілю, наприклад, елементи переднього прямокутника (рис. 10.6).

У полі що з'явилося, «**Настройки**» можна вибрати спосіб обробки кутів, установивши прапорець «**Применить обработку углов**» і нажавши одну із кнопок: - «**Кромка под углом**», - «**Стыковое соединение1**» або - «**Стыковое соединение2**», а також, при необхідності, повернути профіль на  $270^\circ$ . Після всіх установок натисніть кнопку **ОК**.

Аналогічним образом задайте профілі для внутрішнього прямокутника. У цьому випадку також задайте параметр - «**Угол поворота**» рівним  $270^\circ$ , щоб друга полиця косинця дивилася усередину паралелепіпеда (рис. 10.7).

Тепер установимо профілі по інших горизонтальних ребрах паралелепіпеда. Треба відзначити, що для кожного ребра буде потрібна окрема команда, тому що кожний косинець необхідно орієнтувати в просторі шляхом добору параметра - «**Угол поворота**» так, щоб зовнішні полиці косинця дивилися ззовні паралелепіпеда, а також зробити обрізку зайвих кінців косинця. На прикладі верхнього правого ребра покажемо оброблення профілю для звареної конструкції.

Знову викличте з інструментальної панелі «**Сварные детали**» команду - «**Конструкция**» й установіть профіль, задавши параметр - «**Угол поворота**» рівним  $90^\circ$  (рис. 10.8).

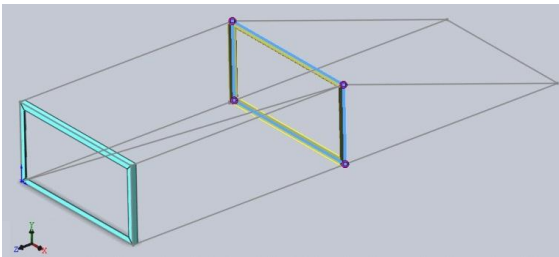


Рисунок 10.7 - Оформлення ескізу обраним типом профілів

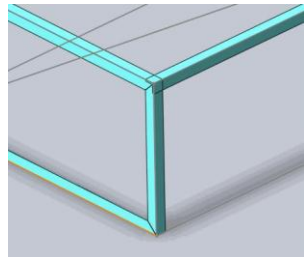


Рисунок 10.8 - Поворот косинця усередину

Подивіться уважно на рис. 10.8, і ви побачите, що відбулося на-

кладення кінця тільки що побудованого горизонтального куточка на кінці двох інших куточків. Щоб видалити дане накладення, необхідно скористатися командою - **«Отсечь/вытянуть»** з інструментальної панелі **«Сварные детали»**. Дана команда дозволяє відтинати або витягати елементи деталі до поверхонь інших елементів так само, як інструменти обрізки. У цьому випадку нам необхідно відігнути кінець горизонтального профілю.

Натисніть в інструментальній панелі кнопку - **«Отсечь/вытянуть»**, клацніть мишею в полі **«Обрезаемое тело»** й укажіть вставлений профіль. Тепер клацніть мишею в полі **«Граница отсечения»** й установіть режим **«Тела»**, а потім укажіть два залишені косинця (рис. 10.9). Можна також установити прапорець **«Зазор сварки»** й задати величину зазору для звареного шва.

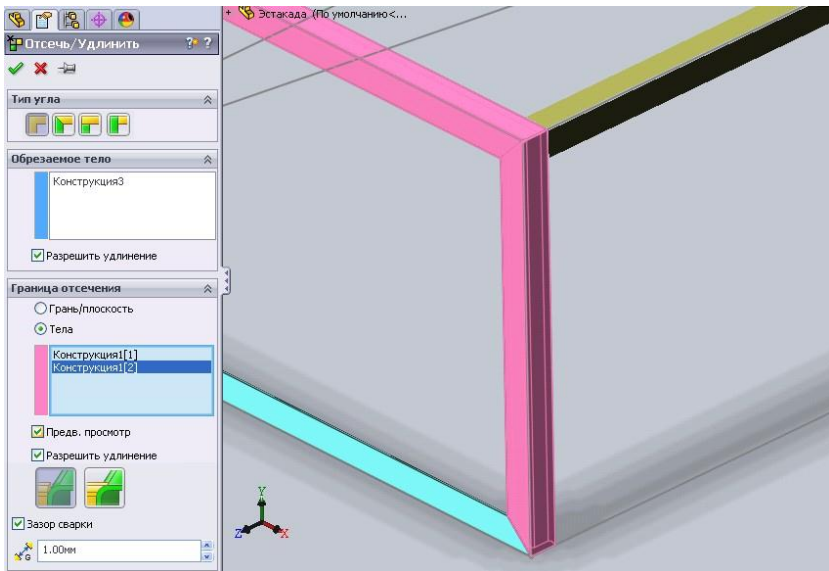


Рисунок 10.9 - Видалення накладень косинців

Перевірте по рис. 10.9, чи правильно все встановлено, і натисніть кнопку **ОК**. У результаті повинна вийти конструкція, показана на рис. 10.10. Те ж саме необхідно проробити й із другим кінцем горизонтального профілю. Аналогічним образом проробіть із наступними трьома горизонтальними профілями для завершення побудови зваре-

ної конструкції паралелепіпеда. У підсумку у вас повинна вийти конструкція, показана на рис. 10.11.

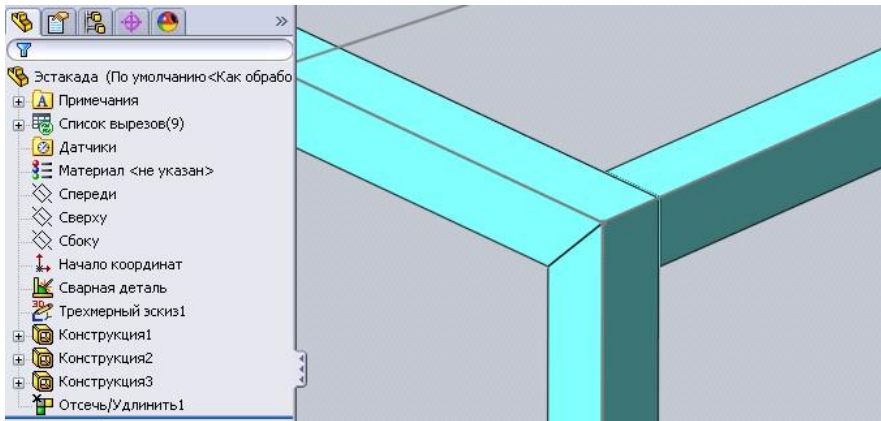


Рисунок 10.10 - Кінцевий вигляд конструкції

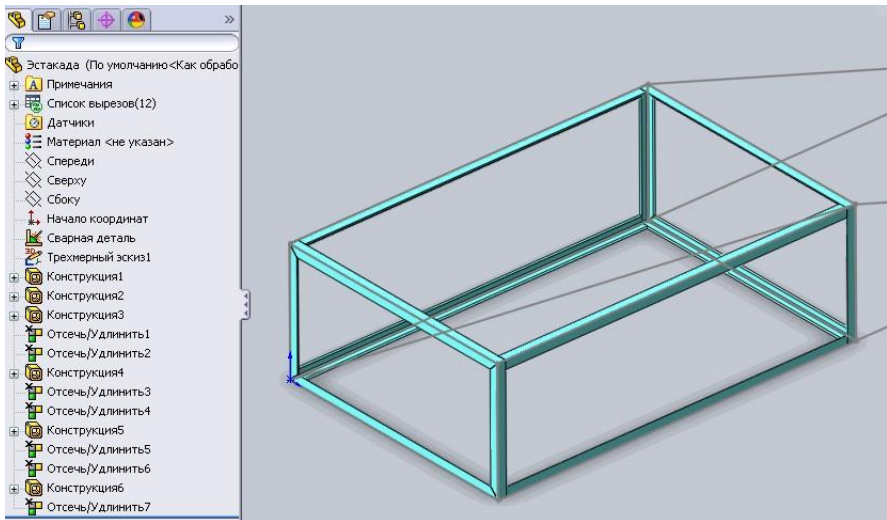


Рисунок 10.11 - Завершення побудови звареної конструкції паралелепіпеда

Командою - **«Отсечь/вытянуть»** з інструментальної панелі **«Сварные детали»** можна одночасно обробити обидва кінці профілю.

Тепер перейдемо до створення пандуса эстакады. Поперечный

профіль пандуса будемо виготовляти з іншого профілю - квадратної труби. Для цього викличте знову на панелі інструментів «Сварные детали» команду - «Конструкция» й установіть в полі «Тип» профіль «квадратная труба», а в полі «Размер» задайте 40×40×4. У полі «Сегменты пути» вкажіть мишею поперечну лінію пандуса тривимірного ескізу (рис. 10.12) і натисніть кнопку **ОК**.

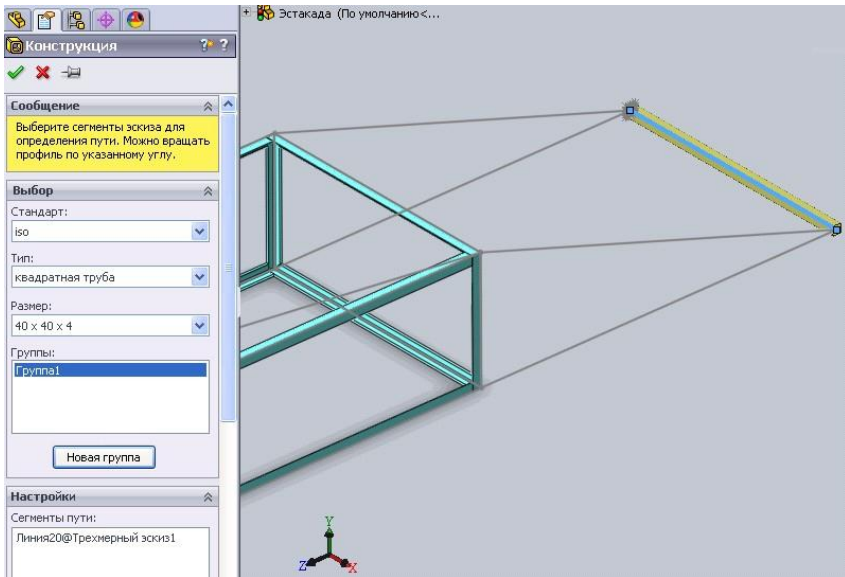


Рисунок 10.12 - Процесс створення пандуса естакады

Інші елементи пандуса тривимірного ескізу побудуйте таким же косинцем, яким був виконаний увесь корпус естакади. При завданні параметрів у діалоговому вікні «Настройки» обов'язково встановіть прапорець «Применить обработку углов» і задайте граничну умову - «Стыковое соединение1». Натисніть кнопку **ОК** - і в результаті повинна вийти наступна зварна конструкція (рис. 10.13).

Проробіть аналогічну операцію із другою стороною естакади, обріжте зайві кінці профілів і одержите готову зварну конструкцію естакади (рис. 10.14).

Залишилося внести останній штрих - додати пробки на відкриті кінці квадратного профілю. Для цього з інструментальної панелі «Сварные детали» викличте команду - «Торцевая кнопка». Укажіть

мишею грань квадратного профілю, де повинна розміщатися торцева пробка, задайте товщину пробки **T1**, наприклад, 5 мм і встановіть прапорець **«Углы фаски»**, щоб зробити фаски на пробці.

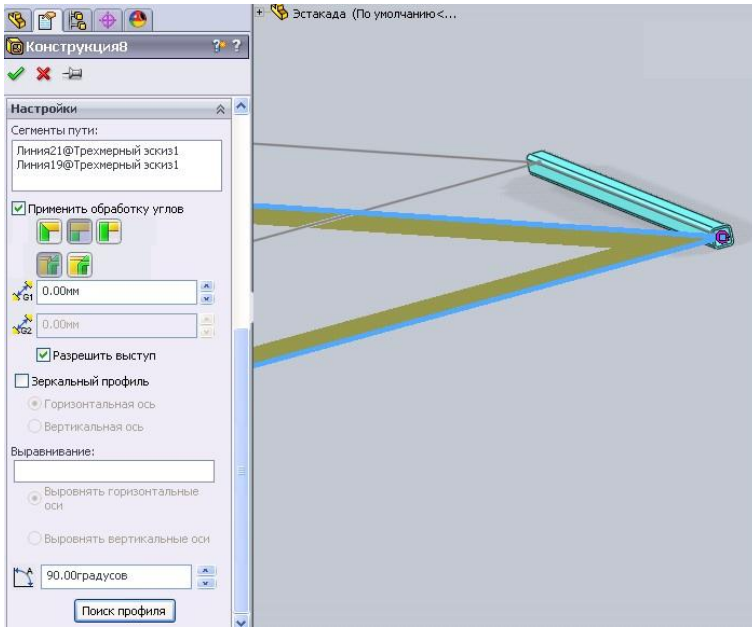


Рисунок 10.13 - Створення пандуса

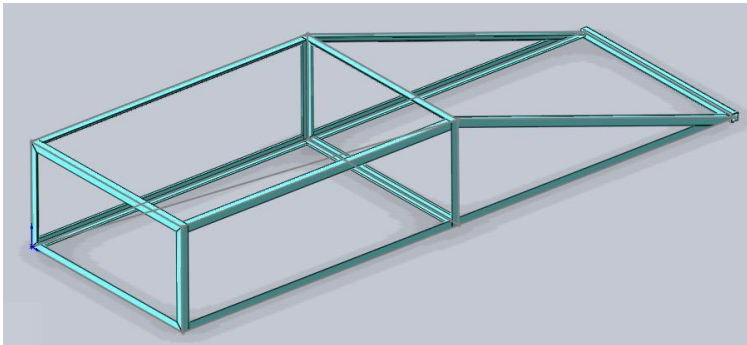


Рисунок 10.14 - Готова зварна конструкція естакади

Перевірте по рис. 10.15 завдання параметрів і натисніть кнопку **ОК**. Якщо все зроблено правильно, то у звареній конструкції на кінці

квадратного профілю з'явиться пробка, що закриває внутрішню порожнину профілю. Аналогічним образом створіть пробку на другому кінці профілю. Таким чином, проектування естакади як цільної зварної деталі закінчено. Збережіть деталь, нажавши кнопку **«Сохранить»**.

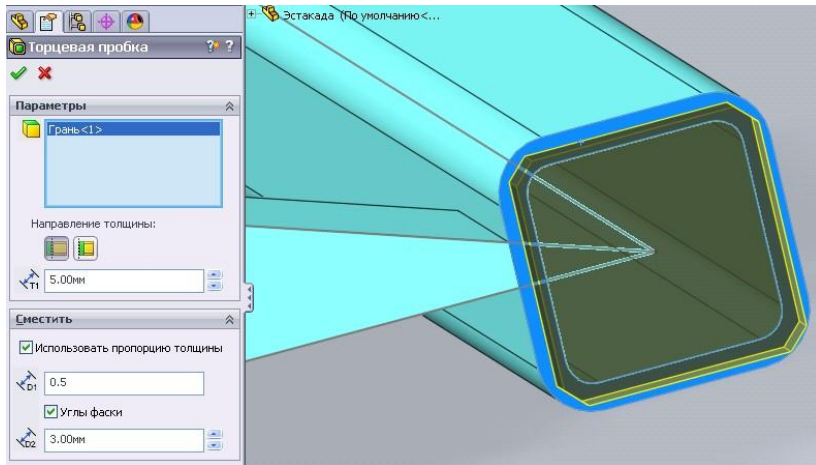


Рисунок 10.15 - Додавання пробки на відкриті кінці квадратного профілю

### Створення власних профілів.

Отже ми розглянули створення зварної деталі естакади на основі профілів, які наявні у базі SolidWorks. Але користувач програми може створити свій власний профіль як деталь бібліотечного елемента, потім помістити його в певну папку, щоб потім його можна було вибрати надалі.

При створенні ескізів власних профілів потрібно враховувати наступне:

- при створенні елемента конструкції зварної деталі за допомогою створюваного профілю за замовчуванням вихідна точка ескізу стає точкою пробиття;
- при створенні елемента конструкції зварної деталі можна вибрати будь-яку вершину на ескізів як альтернативної точки пробиття;
- при створенні елемента конструкції зварної деталі можна додати точки ескізу в ескіз і вибрати їх як альтернативні точки пробиття.

Точка пробиття визначає місце розташування профілю щодо сегмента ескізу, який використовується для створення елемента конструкції. Точка пробиття за замовчуванням - це вихідна точка ескізу в деталі бібліотечного елемента профілю.

У якості точки пробиття можна також використовувати будь-яку вершину або точку ескізу, зазначену в профілі. На рис. 10.16 показаний той самий профіль, але з різними точками пробиття. Для створення профілю зварної деталі відкрийте ескіз нової деталі. У якості профілю давайте створимо ескіз двотавра (рис. 10.17).

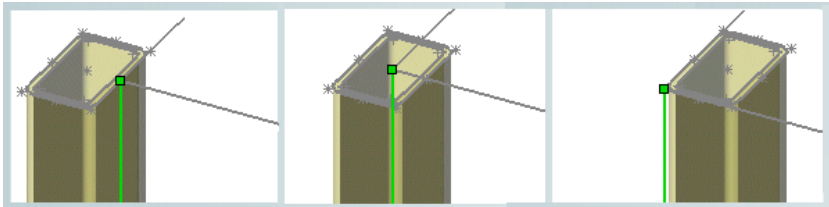


Рисунок 10.16 - Різні точки пробиття в профілі

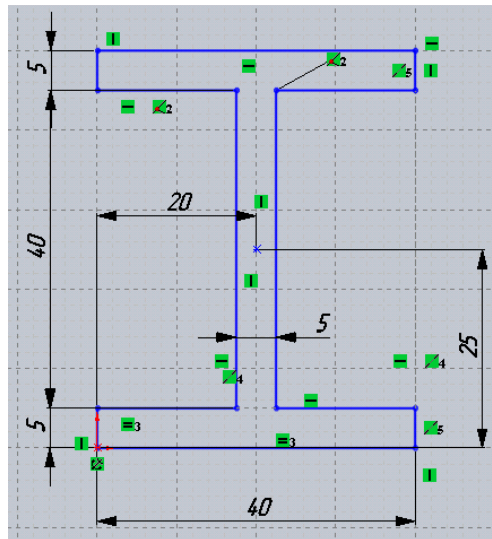


Рисунок 10.17 - Ескіз двотавра

Посередині двотавра за допомогою інструмента ескізу - «Точечний» створіть точку в центрі ескізу і задайте її положення щодо ви-

хідної точки. Ця точка надалі нам буде потрібна в якості точки пробиття профілю. У побудованому ескізі вихідна точка збігається з нижнім лівим кутом профілю, відповідно за замовчуванням вона буде точкою пробиття. Відразу відзначимо, що це не зовсім вдалий вибір, тому що для симетричних деталей точку пробиття краще вибирати посередині ескізу. Далі ми покажемо, як можна швидко змінити точку пробиття.

Закрийте побудований ескіз двотавра й клацніть у дереві конструювання по елементу «Ескиз1». Тепер виберіть «Файл | Сохранить» як і у вікні «Тип файла» виберіть **Lib Feat Part (Детали библиотечных элементов) (\*.sldlfp)**. Потім у полі «Имя файла» введіть ім'я ескізу **Двотавр 40x50x10.sldlfp** і натисніть кнопку «Сохранить».

Значок деталі поруч із назвою деталі в дереві конструювання зміниться на значок бібліотечного елемента (рис. 10.18). Закрийте файл деталі. Зараз бібліотечний елемент зберігся в поточній папці, де зберігаються поточні робочі файли SolidWorks.

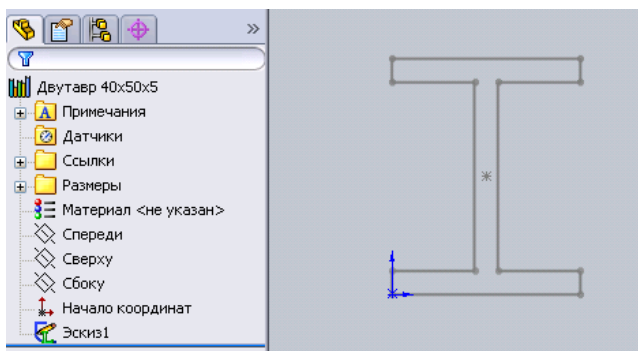


Рисунок 10.18 - Значок бібліотечного елемента двотавра

Для того щоб можна було постійно користуватися власними профілями, деталь бібліотечного елемента профілю необхідно помістити у відповідну папку, тоді її можна буде вибрати у вікні «Конструкция», що з'являється в менеджері властивостей (рис. 10.19).

Профілі зварних деталей перебувають у папці за замовчуванням: **<каталог установки SolidWorks>\ SolidWorks Corp\ SolidWorks\data\ weldment profiles**. Структура підпапок у папці **weldment profiles** визначає параметри, які відображаються у вікні «Конструкция» менеджера властивостей. Обрані елементи й відповідна папка в

проводнику Windows визначаються в такий спосіб.

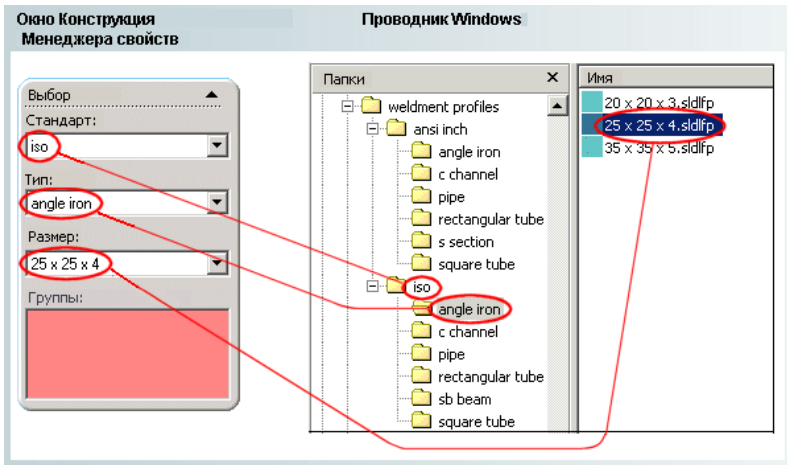


Рисунок 10.19 - Переміщення деталі бібліотечного елемента профілю

Головна папка містить одну або декілька папок стандартів. У прикладі на рис. 10.19 **weldment profiles** є головною папкою й містить дві папки стандартів (**ansi inch** та **iso**). У менеджері властивостей ім'я кожної папки стандартів відображається як елемент для вибору в списку «Стандарт».

Папки стандартів містять одну або кілька папок типів, наприклад, **angle iron**, **c channel**, **pipe** тощо. У менеджері властивостей після вибору стандарту імена всіх його підпапок типів відображаються в списку «Тип».

Папки типів містять одну або кілька деталей бібліотечних елементів. У менеджері властивостей після вибору типу імена деталей бібліотечних елементів відображаються в списку «Размер».

Щоб зберегти власні профілі в існуючій структурі папок, виконайте одну з наступних дій:

- додайте нову деталь профілю в кожну з папок типів. Наприклад, деталь власного профілю можна зберегти в папці **Квадратна труба**, яка є підпапкою папки **iso**. У менеджері властивостей при виборі **iso** у списку «Стандарты» й «Квадратна труба», в списку «Тип» з'явиться власне ім'я профілю;
- додайте нову папку типу в існуючу папку стандарту, збере-

жіть деталь власного профілю в новій папці типу. Наприклад, у папці **iso** створіть папку «**Собственные элементы**». Потім збережіть деталі власного профілю в папці «**Собственные элементы**». У менеджері властивостей при виборі пункту **iso** у списку «**Стандарты**» пункт «**Собственные элементы**» з'явиться в якості одного з елементів вибору в списку «**Тип**». При виборі пункту «**Собственные элементы**» в списку «**Тип**», імена деталей власного профілю з'являться в списку «**Размер**»;

- додайте нову папку стандартів у папку **weldment profiles**, створіть папку типів у папці стандартів і збережіть деталі власних профілів у папці типів. Наприклад, у папці **weldment profiles** створіть папку «**Мой стандарт**». Потім збережіть деталі власних профілів у цій папці, наприклад, створений бібліотечний елемент «**Мой профиль**». У менеджері властивостей з'явиться папка «**Мой стандарт**» у якості одного з елементів для вибору в списку «**Стандарты**». При виборі його в списку «**Размер**» з'явиться ім'я бібліотечного елемента «**Мой профиль**».

Якщо потрібно зберегти профілі в окремій папці, можна створити окрему структуру папок, а потім указати її як папки для файлу профілю зварної деталі.

Давайте збережемо ескіз профілю як деталь бібліотечного елемента по третьому варіанту. Для цього в провіднику Windows створіть наступну структуру папок «**каталог установки SolidWorks> SolidWorks Corp \ SolidWorks \ data \ weldment profiles \ ГОСТ \ Двутавр**» і скопіюйте засобами Windows у цю папку створений бібліотечний файл «**Двутавр 40x50x10.sldlfp**».

А зараз знову відкрийте тривимірний ескіз естакади. Тепер спробуйте використовувати самостійно створений профіль двотавра в тривимірному ескізі. Створіть зварну деталь, нажавши кнопку - «**Сварная деталь**». На панелі інструментів «**Сварные детали**» натисніть команду - «**Конструкция**». У поле «**Выбор**» задайте параметри створеного профілю двотавра так, як показано на рис. 10.20, і виберіть у якості сегмента траєкторії найближчу крайку ескізу.

Натисніть кнопку **ОК**, і в тривимірний ескіз повинен додатися створений нами профіль двотавра. Подивіться уважно, і ви побачите, що профіль двотавра прив'язався до тривимірного ескізу лівим нижнім

кутом - це вихідна точка ескизу профілю, яка є точкою пробиття (рис. 10.21). Як було відзначено раніше, вибір цієї точки зроблений невдало, тому що для симетричних профілів точку пробиття краще робити посередині профілю. У цьому випадку такий вибір зроблений нами навмисно, щоб показати, як можна швидко змінити точку пробиття.

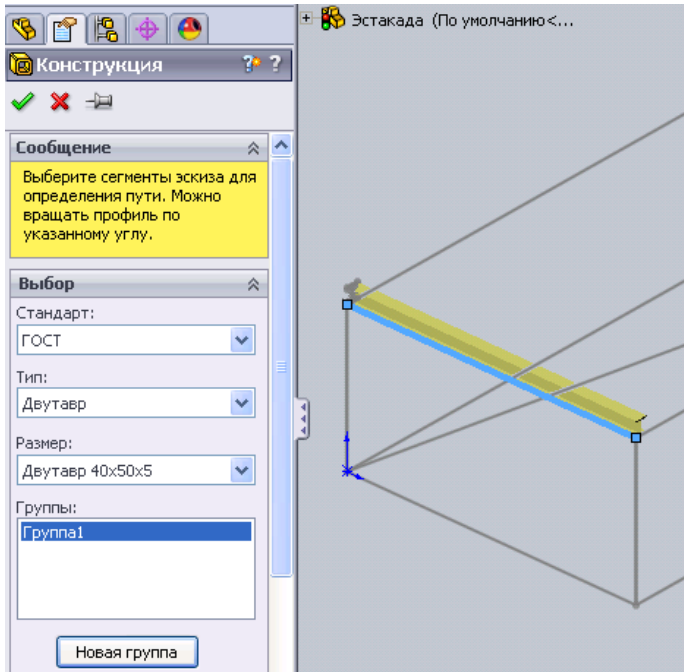


Рисунок 10.20 - Використання самостійно створеного профіля двотавра

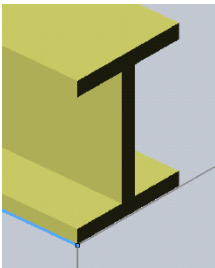


Рисунок 10.21 - Прив'язка лівим нижнім кутом

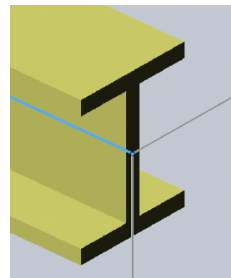


Рисунок 10.22 - Змінена точка пробиття

Для того щоб змінити точку пробиття, натисніть правою кнопкою миші на елемент конструкції **«Конструкция1»** у дереві конструювання, а потім у контекстному меню, що випадає, виберіть пункт - **«Редактировать определение»**. У вікні, що відкрилося, менеджера властивостей у полі **«Настройки»** натисніть кнопку **«Поиск профиля»**. Можна вибрати кожну з вершин або точок ескізу на профілі.

У нашому випадку виберіть спеціально створену для цього точку посередині профілю й натисніть кнопку **ОК**. Профіль зрушується для вирівнювання нової точки пробиття по сегменту ескізу елемента конструкції (рис. 10.22).

Інші двотаврові профілі тривимірного ескізу естакади можна побудувати способами, описаними раніше. Закінчіть побудову деталі й збережіть її під іменем **Естакада2.sldprt**.

### **Створення зварної конструкції за допомогою багатотільної деталі.**

Загальний принцип створення зварної конструкції з використанням багатотільної деталі полягає в наступній послідовності дій.

1. Створюється тривимірна модель зварної деталі так, як вона повинна виглядати після процесу зварювання. Навіть якщо зварна деталь насправді повинна складатися з роздільних деталей, модель треба побудувати цілком в одному файлі деталі, а не шляхом складання.

Багатотільні деталі не слід використовувати замість складань. Основним правилом є те, що одна деталь (багатотільна чи ні) повинна відповідати одній позиції деталі в специфікації. Багатотільна деталь складається з декількох твердих тіл, які не є динамічними, тобто такими, що мають можливість переміщення в просторі. Якщо необхідно представити динамічне переміщення тіл, слід використовувати складання.

2. Із цільної деталі створюють багатотільну деталь шляхом введення елементів розрізу.

3. Обробляють крайки деталі під зварний шов шляхом додавання фасок.

4. Установлюють елементи посилення, додаючи трикутний або багатокутний профіль.

5. Формують зварний шов.

Розглянемо різні варіанти створення зварних конструкцій залежно від виду зварного з'єднання.

### Моделювання стикового зварного з'єднання.

При конструюванні стикового звареного з'єднання особливу увагу приділяють обробленню крайок, яке залежить від товщини металу, що зварюється. Розглянемо побудову моделі стикового зварного з'єднання в SolidWorks на прикладі зварювання листа металу товщиною 10 мм. Відкрийте нову деталь у режимі малювання ескізів і побудуйте ескіз, показаний на рис. 10.23.

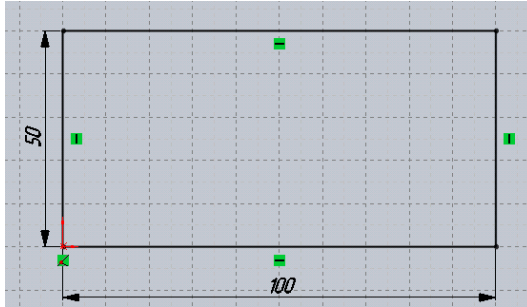


Рисунок 10.23 - Ескіз моделі стикового зварного з'єднання

Потім за допомогою панелі інструментів «**Элементы**» й команди - «**Вытянутая бобышка/основание**» витягніть отриманий ескіз на 10 мм (товщина пластины). Допустимо, що так повинна виглядати готова зварна деталь, отримана технологією зварювання із двох деталей половинної довжини.

Щоб сформувати шов, нам треба попередньо розділити деталь і створити з неї багатотіlnу деталь. Для цього на бічній поверхні деталі довжиною 100 мм створіть ескіз і намалуйте посередині лінію, яка буде лінією розрізу (рис. 10.24).

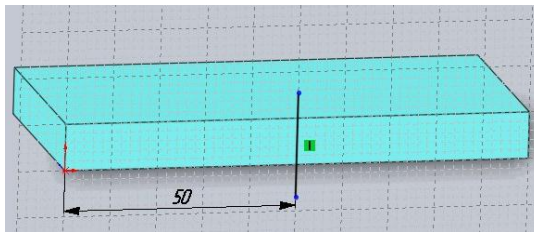


Рисунок 10.24 - Формування розрізу деталі

Вийдіть із ескізу. Тепер розділимо деталь за допомогою коман-

ди - «Разделить» панелі інструментів «Элементы». Клацніть у полі «Инструменты для отсечения» й укажіть мишею лінію поділу на деталі. Натисніть кнопку «Разрезать деталь». Якщо вам надалі буде потрібно створити окремі файли для кожної з деталей, що зварюються, або зробити їхні креслення, то цим деталям можна дати імена в полі «Файл» розділу «Результат» (рис. 10.25).

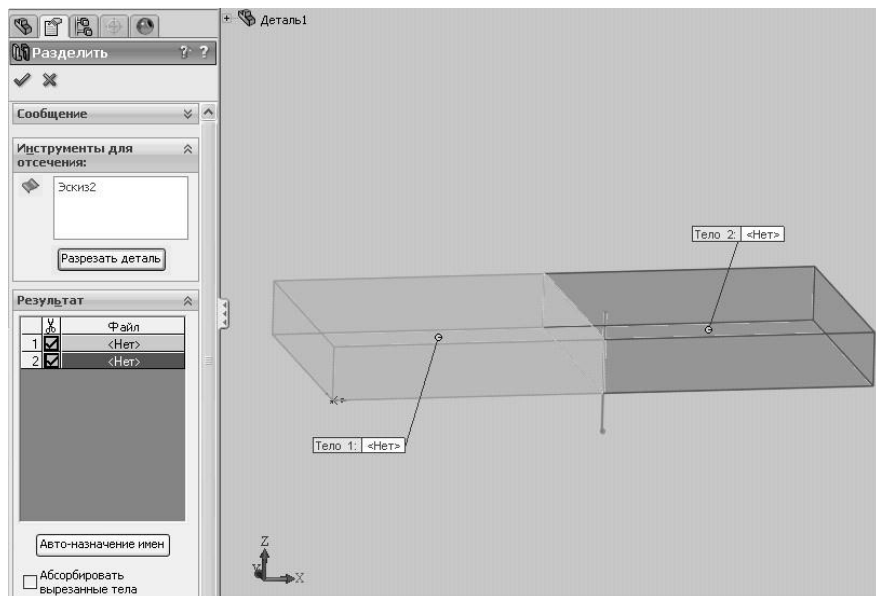


Рисунок 10.25 - Створення окремих файлів деталі

Щоб була можливість зберегти тіла багатотільної деталі, перед виконанням команди - «Разделить» необхідно спочатку зберегти вихідну деталь. Укажіть тіла 1 і 2 (у нашому випадку безіменні) для поділу, поставивши прапорці в розділі «Результат», зніміть прапорець «Абсорбировать вырезанные тела», натисніть кнопку ОК - і ви одержите двотільну деталь.

Укажемо програмі, що прагнемо створити зварну деталь, нажавши кнопку - «Сварная деталь». Тепер підготуємо крайки, щоб сформуувати зварювальну ванну, у якій буде перебувати розплавлений метал. Для цього на панелі інструментів «Сварные детали» виберіть команду - «Фаска», яка створює фаски уздовж крайки, ланцюжка до-

тичних крайок або вершини. У менеджері властивостей з'явиться діалогове вікно «**Фаска**». Тепер укажіть мишею на розділову крайку посередині деталі й задайте параметри так, як зазначено на рис. 10.26.

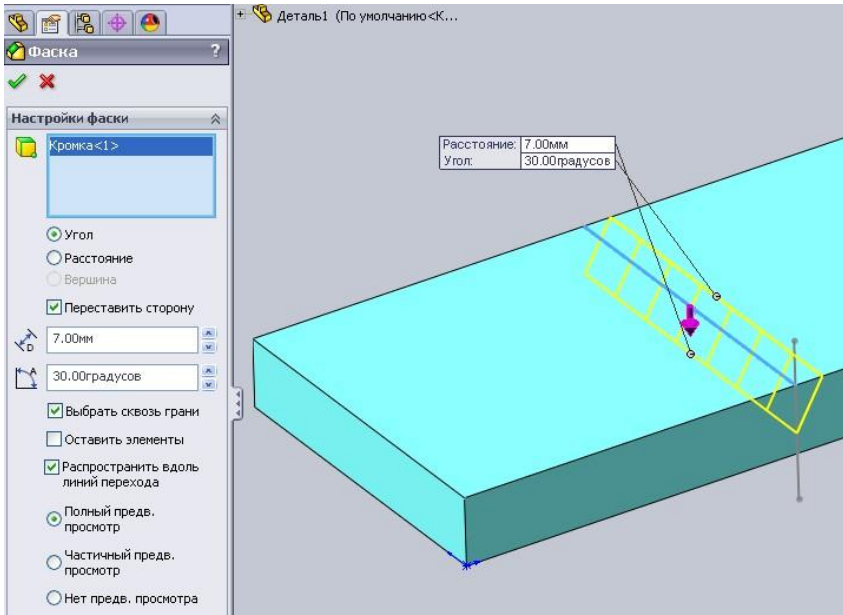


Рисунок 10.26 - Вибір розділової крайки

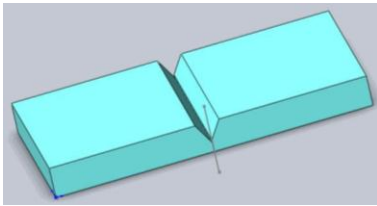


Рисунок 10.27 - Створено зварювальну ванну

Після установки всіх параметрів натисніть кнопку **ОК**. Аналогічно створіть крайку й на другій половині зварної деталі.

У результаті ви повинні одержати деталь, показану на рис. 10.27. Отже крайки деталі під зварювання зроблені, залишилося тільки створити сам зварювальний шов.

Для цього на панелі інструментів «**Сварочная деталь**» викличте команду - «**Скругленный шов**», яка додає елемент кутового зварного шва між двома непересічними тілами (рис. 10.28). Клацніть мишею в полі «**Набор граней1**» і потім по фасці в деталі. Найменування грані відобразиться в полі. Проробіть те ж саме з полем «**Набор гра-**

ней2» і другою фаскою. Товщину шва в параметрі «Размер скругления» встановить рівною 8 мм (рис. 10.28).

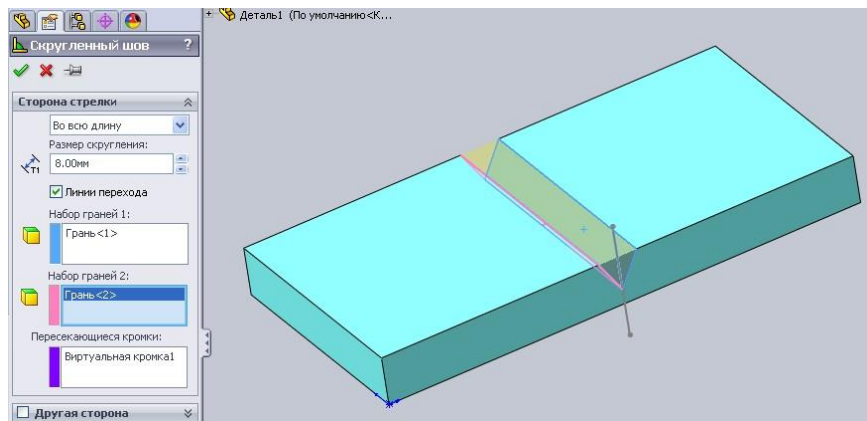


Рисунок 10.28 - Процесс створення зварного шва

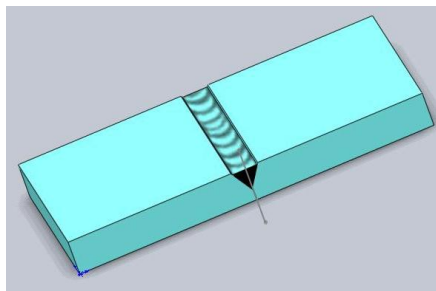


Рисунок 10.29 - Сتيكвое з'єднання

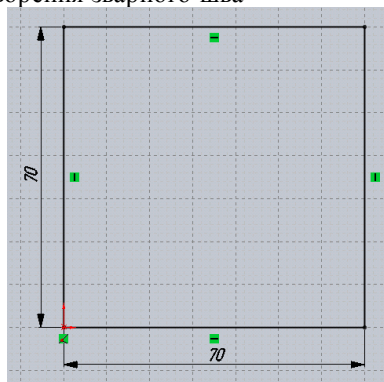


Рисунок 10.30 - Ескіз для напускного зварного з'єднання

Залишилося натиснути кнопку **ОК** і одержати готову деталь зі зварним з'єднанням встик (рис. 10.29). Збережіть зварну деталь під іменем **Стиковое з'єднання.sldprt**.

### Моделювання напускного зварного з'єднання.

При конструюванні напускного зварного з'єднання оброблення крайок не роблять, а зварювання роблять кутовими лобовими й флан-

говими зварними швами (рис. 10.1). Розглянемо побудову моделі напускного зварного з'єднання в SolidWorks на прикладі зварювання листа металу товщиною 10 мм із листом металу товщиною 5 мм.

1. Відкрийте нову деталь у режимі малювання ескізів і побудуйте ескіз, показаний на рис. 10.30.

2. Потім за допомогою панелі інструментів «**Элементы**» й команди - «**Вытянутая бобышка/основание**» витягніть ескіз на 10 мм (товщина пластини). Тепер на верхній грані першої пластини намалюємо ескіз другої пластини (рис. 10.31) і витягнемо її за допомогою команди «**Вытянутая бобышка/основание**» на відстань 5 мм (товщина другої пластини, що приварюється). Допустимо, що так повинна виглядати готова зварна деталь, отримана технологією зварювання із двох деталей.

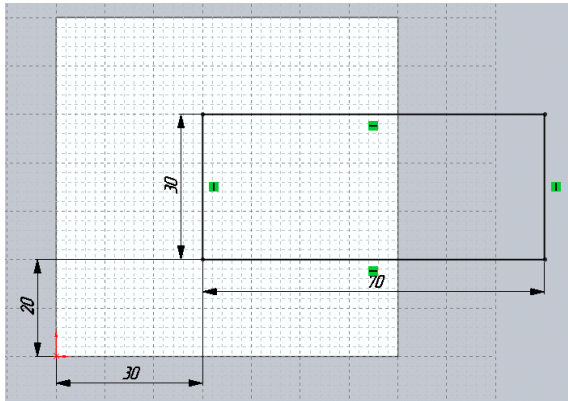


Рисунок 10.31 - Ескіз другої пластини

3. Щоб сформувати шов, нам треба попередньо розділити деталь і створити з неї багатотіlnу деталь. Для цього розділимо деталь за допомогою команди - «**Разделить**». Клацнувши в полі «**Инструменты для отсечения**», укажіть мишею верхню грань великої деталі. Натисніть кнопку «**Разрезать деталь**». У розділі «**Результат**» зніміть прапорець «**Абсорбировать вырезанные тела**». Укажіть тіла для поділу, натисніть кнопку **ОК** - і ви одержите двотіlnу деталь (рис. 10.32). Для того щоб відразу сформувати багатотіlnу деталь без використання операції - «**Разделить**», перед виконанням команди - «**Вытянутая бобышка/основание**» необхідно зняти прапорець «**Результат слияния**».

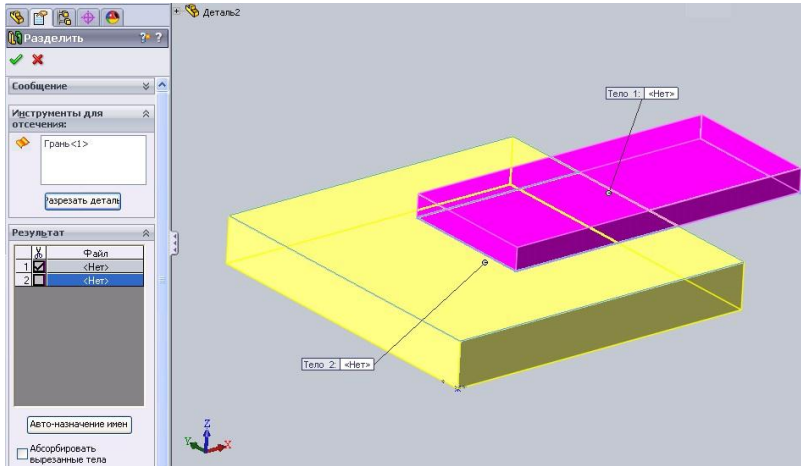


Рисунок 10.32 - Двотільна деталь

У цьому випадку буде створюватися нове тверде тіло, а в дереві конструювання, в папці **«Твердые тела»** з'явиться новий елемент.

4. Укажемо програмі, що прагнемо створити зварну деталь, для чого на панелі інструментів **«Сварные детали»** натисніть кнопку - **«Сварная деталь»**.

5. Оскільки країки деталі в даному з'єднанні обробляти не потрібно, то залишилися тільки створити зварювальний шов. Для цього на панелі інструментів **«Сварочные детали»** викличте команду - **«Скругленный шов»**, яка додає елемент кутового зварного шва між двома непересічними тілами. Клацніть мишею в полі **«Набор граней1»** і потім по верхній грані більшої деталі (наприклад, **Грань <1>**).

Найменування грані відобразиться в полі. Тепер клацніть мишею в поле **«Набор граней2»** і потім по бічних гранях меншої деталі. Товщину шва в параметрі **«Размер скругления»** встановіть рівною 3 мм (рис. 10.33).

6. Залишилися натиснути кнопку **ОК** і одержати готову деталь з зварним напускним з'єднанням (рис. 10.34). Збережіть зварну деталь під іменем **Напускне з'єднання.sldprt**.

### Моделювання таврового зварного з'єднання.

При конструюванні таврового або кутового зварного з'єднання із прямим кутом, оброблення крайок залежить від конфігурації дета-

лей, що зварюються. Розглянемо побудову моделі таврового звареного з'єднання в SolidWorks на прикладі зварювання двох перпендикулярно розташованих деталей товщиною, наприклад, 10 мм.

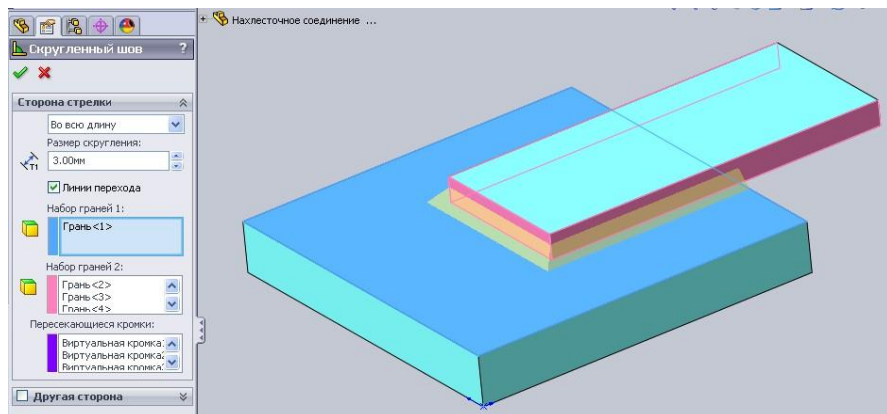


Рисунок 10.33 - Створення зварного шва двотільної деталі

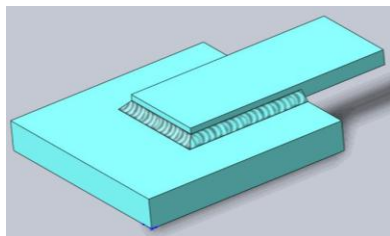


Рисунок 10.34 - Готова деталь зі зварним напускним з'єднанням

1. Відкрийте нову деталь у режимі ескізів і побудуйте ескіз, показаний на рис. 10.35.

2. Витягніть отриманий ескіз на 10 мм (товщина деталі). Тепер на верхній грані першої деталі намалюємо ескіз другої деталі (рис. 10.36) і витягнемо її за допомогою команди - **«Вытянутая бобышка/основание»** на відстань 50 мм (довжина другої деталі, що приварюється).

Допустимо, що готова зварена Т-образна деталь повинна виглядати так, як на рис. 10.37.

3. Щоб сформувавши шов, нам треба попередньо розділити деталь і створити з неї багатотільну. Для цього розділимо деталь за допомогою команди - **«Разделить»**, як уже описано раніше. Потім на панелі **«Сварные детали»** натисніть кнопку - **«Сварная деталь»**. Іноді зварні з'єднання, особливо тонкостінні, підкріплюються приварними куточками. Давайте й ми наше з'єднання зробимо більш міцним установкою куточка посередині майбутнього зварного шва.

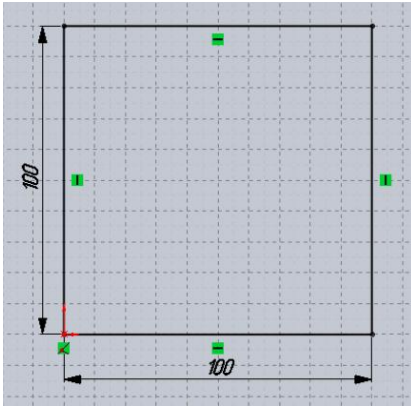


Рисунок 10.35 - Ескіз для таврового з'єднання

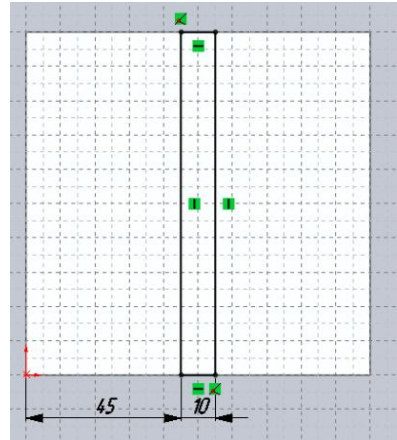


Рисунок 10.36 - Ескіз другої деталі

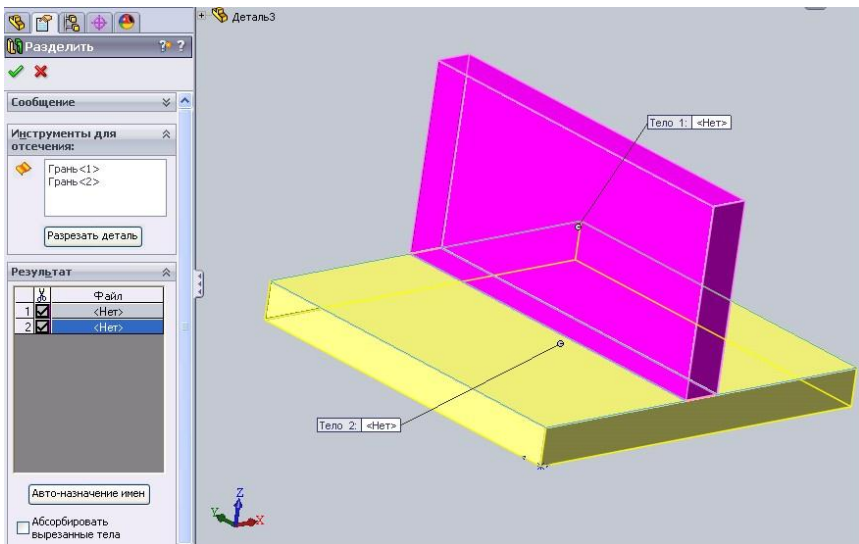


Рисунок 10.37 - Процес створення таврового зварного з'єднання

4. На панелі інструментів «Сварные детали» викличте команду - «Угловое соединение», яка додає елемент кутового з'єднання між двома плоскими гранями, що примикають. У менеджері властивостей з'явиться діалогове вікно «Угловое соединение» (рис. 10.38).

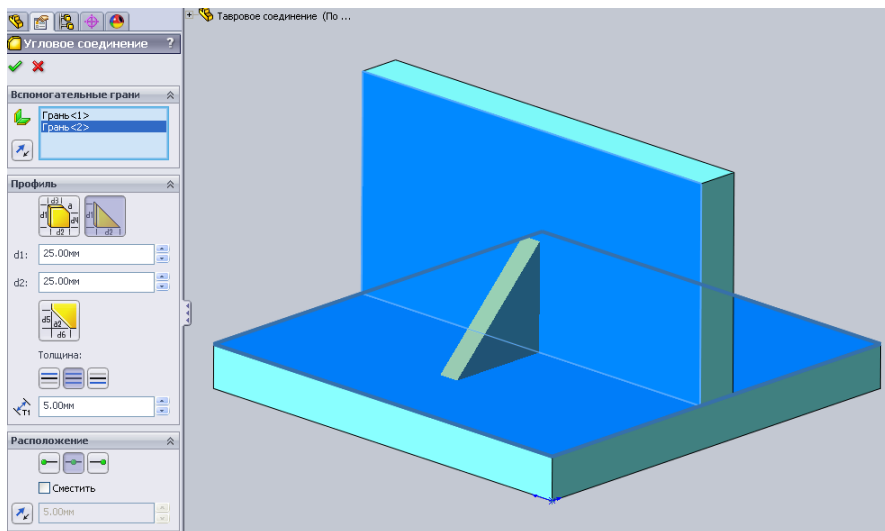


Рисунок 10.38 - Элемент кутового з'єднання між двома плоскими гранями

Клацніть мишею в полі «**Вспомогательные грани**», а потім виберіть їх на деталі, як показано на рис. 10.38. У параметрі «**Профиль**» можна вибрати один із двох профілів:

- трикутний профіль;
- квадратний профіль зі скосом.

Після вибору профілю можна задати його розміри. За допомогою параметра «**Толщина**» можна задати розмір елемента й указати за допомогою кнопок центрування елемента: по внутрішній стороні, симетрично й по зовнішній стороні. А за допомогою кнопок можна задати положення елемента щодо деталі: у початковій точці, у серединній точці або в кінцевій точці. При вказуванні положення в серединній точці можливе завдання зсуву на певну величину. Задайте розміри й параметри так, як зазначено на рис. 10.38, і натисніть кнопку **ОК**. Таким чином, ви одержите елемент, показаний на рис. 10.39.

5. Оскільки краї деталі в даному з'єднанні обробляти не потрібно, то залишилося тільки створити зварювальний шов. Для цього на панелі інструментів «**Сварная деталь**» викличте команду - «**Скругленный шов**». Клацніть мишею в полі «**Набор граней1**» і потім по верхній грані першої деталі (наприклад, **Грань <1>**). Найменування грані відобразиться в полі.

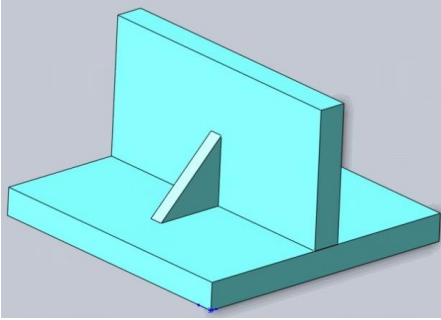


Рисунок 10.39 - Готова деталь із кутовим елементом

Тепер клацніть мишею в полі **«Набор граней2»** і потім по бічних гранях другої деталі з двох їхніх сторін і доданого елемента. Товщину шва в параметрі **«Размер скругления»** встановіть рівною 3 мм (рис. 10.40).

6. Натисніть кнопку **ОК**. Для одержання звареного шва на другому катеті додаткового елемента скористайтесь ще раз командою - **«Скругленный шов»**.

Тільки тепер у якості елемента параметра **«Набора граней1»** укажіть грань другої деталі - і ви одержите готову деталь зі зварним тавровим з'єднанням (рис. 10.41). Збережіть зварну деталь під іменем **Таврове з'єднання.sldprt**.

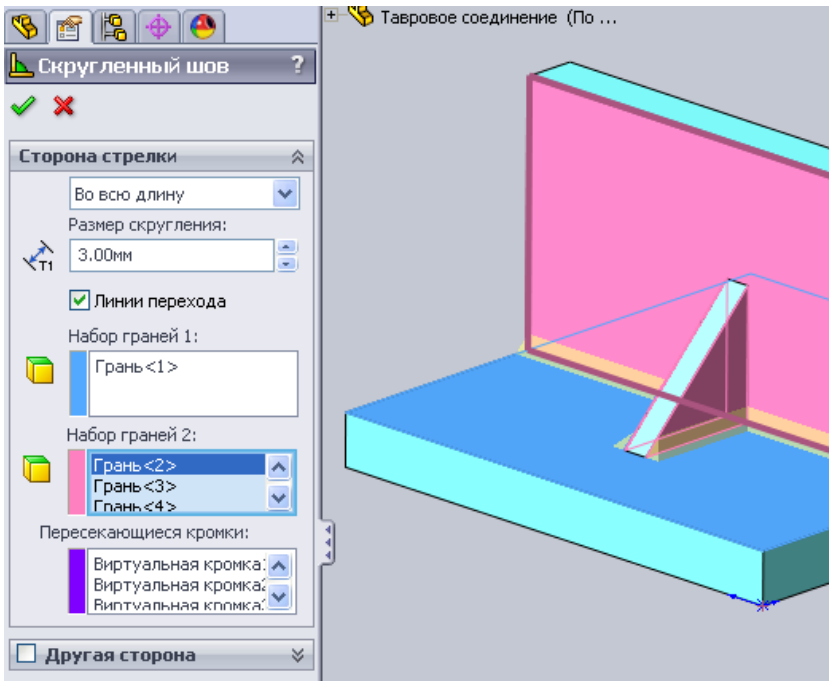


Рисунок 10.40 - Створення зварувального шва

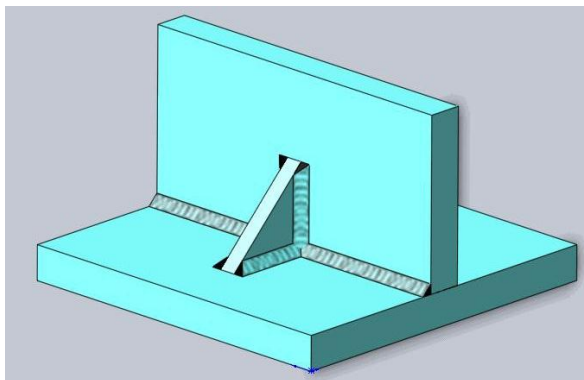


Рисунок 10.41 - Готова деталь зі зварним тавровим з'єднанням

### Питання для самоперевірки

1. Які основні принципи створення зварних конструкцій?
2. Розкажіть як створити зварну конструкцію на основі тривимірного ескізу.
3. Назвіть недоліки зварних з'єднань?
4. Від чого залежить конструкція зварюваних деталей?
5. Що таке точка пробиття?
6. Що необхідно враховувати при створенні ескізів власних профілів зварювання?
7. Які є зварні з'єднання по виду взаємного розташування деталей?
8. Назвіть типи зварних конструкцій які можна створювати у SolidWorks.
9. Розкажіть алгоритм створення зварної конструкції із тривимірного ескізу.
10. Що необхідно враховувати при створенні ескізів власних профілів?
11. Як зберегти власні профілі в існуючій структурі папок SolidWorks?
12. Як зберегти власні профілі в окремій папці?
13. Розкажіть алгоритм створення зварної конструкції за допомогою багатотільної деталі.
14. Як створити напускне зварне з'єднання?
15. Як створити таврове зварне з'єднання?
16. Як додати пробки на відкриті кінці квадратного профілю?

## ЛЕКЦІЯ № 11. СТВОРЕННЯ СКЛАДАНЬ ДЕТАЛЕЙ

**План лекції.** Основні принципи створення складань. Побудова складання «знизу-нагору». Побудова складання «зверху-униз».

**Література:** [1] - [3], [6], [10], [15].

SolidWorks дозволяє створювати складання з безлічі різних компонентів. Компонентами в складанні є окремі деталі або інші складання, які ще називають вузлами складання. Усі складання в SolidWorks мають розширення sldasm. Розглянемо основні види складань і принципи їх побудови.

### Основні принципи створення складань.

В SolidWorks можна побудувати складання двох типів: складання «знизу-нагору» і складання «зверху-униз». Складання «знизу-нагору» являє собою складання конструкції з готових деталей. Для побудови такого складання, деталі повинні бути заздалегідь спроектовані й збережені в окремих файлах. Конструкція або вузол збираються із цих деталей аналогічно реальному складанню. У процесі складання необхідно деталі помістити в тривимірний складальний простір і вказати умови їх сполучення один з одним.

При проектуванні складання «зверху-униз» спочатку створюється компонувальний ескіз складання, а вже на його основі будуються окремі деталі. Ці деталі відразу є вбудованими в загальне складання. Такий тип складання зручний тим, що при зміні компонувального ескізу складання, автоматично змінюються розміри й конфігурації складових її деталей.

Отже розглянемо детальніше принципи побудови складань.

Для створення складання запустимо програму SolidWorks і виберемо команду меню **«Файл | Новый...»**. На екрані з'явиться вікно **«Новый документ SolidWorks»** зі списком шаблонів: **«Деталь, Сборка, Чертеж»** (рис. 11.1).

Виберемо шаблон **«Сборка»** й натиснемо кнопку **ОК**, відзначивши появу в дереві конструювання рядка **«Соприжения»** (рис. 11.2).

Тепер настроїмо необхідну нам панель інструментів. Для цього виберемо команду меню **«Инструменты | Настройка | Панели инструментов»** і встановимо прапорець **«Сборка»**. Після цього панель

інструментів «Сборка» з'явиться на екрані дисплея (рис. 11.3).

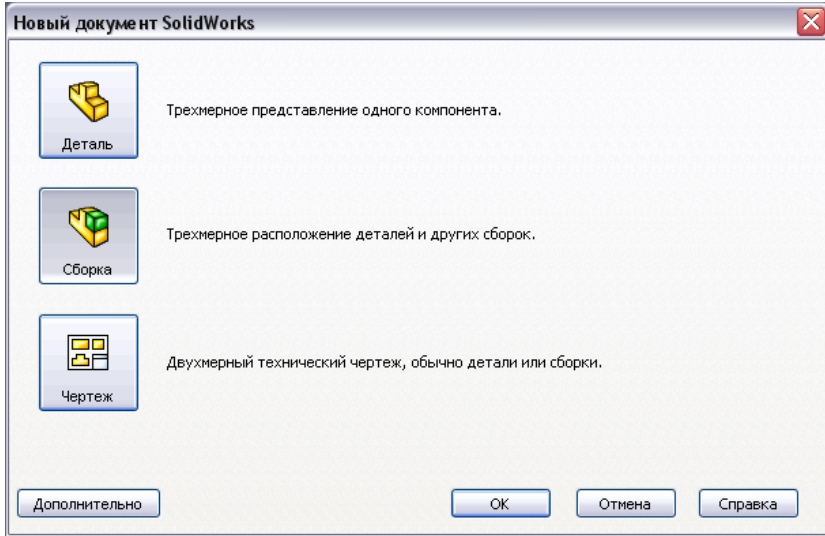


Рисунок 11.1 - Вікно SolidWorks зі списком шаблонів

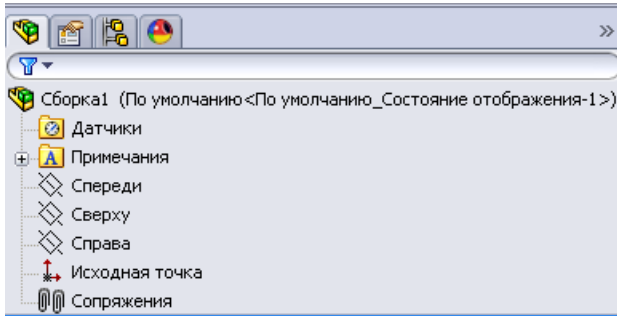


Рисунок 11.2 - Рядок «Сопряжения» в дереві конструювання

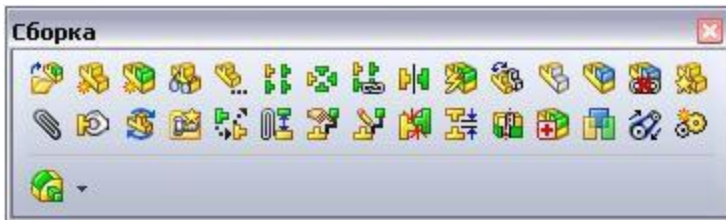


Рисунок 11.3 - Панель інструментів «Сборка»

Наступні кроки побудови складання залежать від типу створюваного складання - «зверху-униз» або «знизу-нагору».

### Побудова складання «знизу-нагору».

Такий спосіб побудови складання має на увазі існування тривимірних моделей деталей, з яких буде створено складання. Після того як був відкритий тривимірний простір у шаблоні **«Сборка»**, й настроєна панель інструментів, помістимо в складальний простір деталі складання. Для цього виберемо команду меню **«Вставка | Компонент | Из файла»** (рис. 11.4) або активізуємо кнопку - **«Вставить компоненты»** панелі інструментів **«Сборка»**.

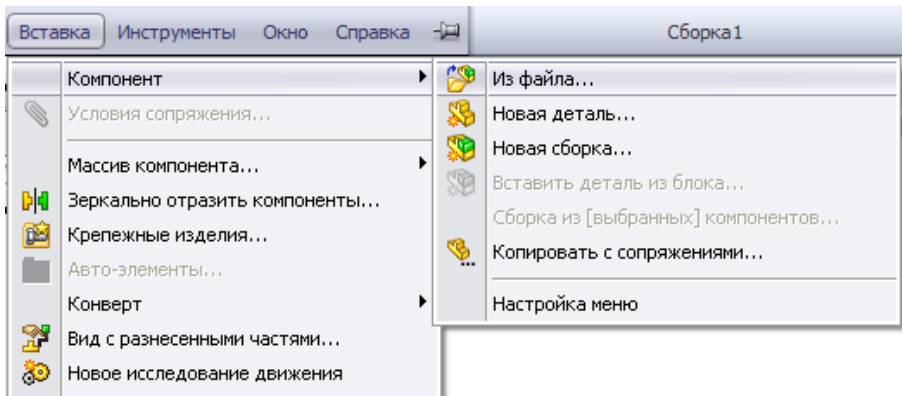


Рисунок 11.4 - Меню «Вставка | Компонент | Из файла»

У результаті на екрані відкриється вікно **«Вставить компонент»** (рис. 11.5). У поле **«Открыть документы»**, використовуючи кнопку **«Обзор»**, знайдемо файл із потрібною деталлю для розміщення в складанні.

Після того як обрано файл деталі, натиснемо кнопку **«Открыть»**. У результаті цих дій ми автоматично повернемося в складальний простір, де покажчиком миші позначимо місце для розміщення вихідної точки першої деталі складання. При бажанні можна сполучити вихідну точку складального простору з вихідною точкою цієї деталі. Коли точка обрана, клацнемо лівою кнопкою миші, і деталь буде розміщена в просторі. Аналогічним образом у складальний простір додаються всі деталі, необхідні для побудови складання.

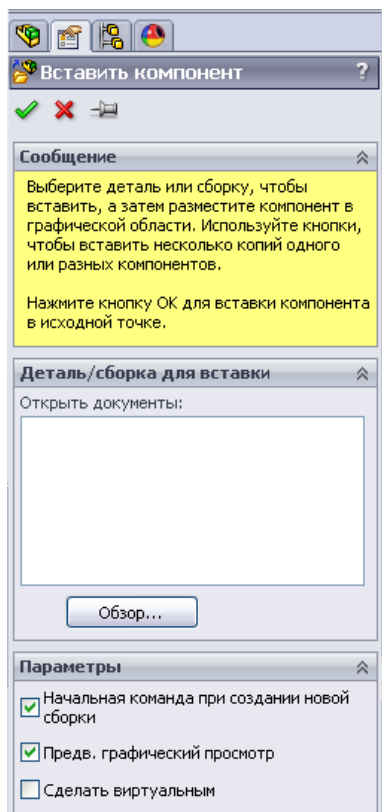


Рисунок 11.5 - Процесс додавання компонента у складання

При створенні складання в SolidWorks можна зафіксувати деталі, тобто зробити їх нерухливими в просторі. Зафіксована деталь чи ні, можна довідатися в дереві конструювання. Якщо в імені деталі є префікс **(ф)**, то вона зафіксована і її неможливо перемістити, якщо префікс має вигляд **(-)**, то її положення в просторі не визначене. Перша деталь складання автоматично є зафіксованою.

Зафіксувати або звільнити деталь можна, якщо клацнути правою кнопкою миші на назві деталі в дереві конструювання, й на панелі що з'явилася, у розділі **«Компонент»** позначити **«Зафиксированный»** або **«Освободить»** (рис. 11.6).

Незафіксовані деталі в складальному просторі можна легко переміщати, нажавши кнопку - **«Переместить компонент»** панелі інструментів **«Сборка»**. Обертати незафіксовані деталі дозволяє кнопка - **«Вращать компонент»**. Щоб зібрати деталі в єдину конструкцію, потрібно задати умови сполучення.

Для цього на панелі інструментів **«Сборка»** необхідно активізувати кнопку - **«Условия сопряжения»**.

З'явиться вікно **«Сопряжение»**, де в розділі **«Выбор сопряжений»** слід указати об'єкти, що сполучаються (поверхні, краї, осі, грані) і тип сполучення.

Об'єкти виділяються за допомогою курсору миші, імена об'єктів, що сполучаються, вказуються у вікні - **«Объекты для сопряжения»**, у розділі **«Выбор сопряжений»** (рис. 11.8). Тип сполучення вибирається в розділах **«Стандартные сопряжения, Дополнительные сопряжения, Механические сопряжения»** (рис. 11.8).

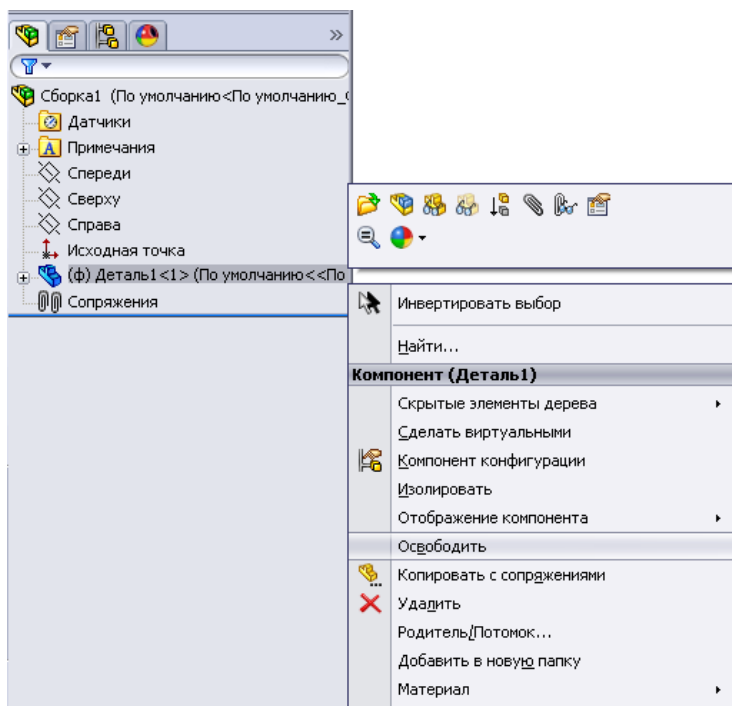


Рисунок 11.6 - Процесс фіксації (звільнення) деталі в складанні

У загальному випадку для створення складання обирають наступні стандартні сполучення (рис. 11.8):

- **«Совпадение»** - елементи деталей (осі, крайки, поверхні, грані) збігаються на нескінченності;
- **«Параллельность»** - указує на паралельне розташування граней, поверхонь, крайок або осей деталей;
- **«Перпендикулярность»** - обрані елементи розташовуються під кутом 90°;
- **«Касательность»** - указує на дотичність відзначених поверхонь, при цьому хоча б одна поверхня повинна бути неплоскою (сферичної, циліндричної, конічної);
- **«Концентричность»** - указує на концентричне розташування циліндричних, конічних, сферичних поверхонь і крайок;
- **«Заблокировать»** - це сполучення дозволяє прив'язати два компоненти складання одне до одного, зберігаючи їх взаємне

- розташування й орієнтацію;
- «Расстояние» - виділені поверхні, осі, крайки розташовуються на зазначеній відстані;
  - «Угол» - виділені елементи розташовуються під деяким кутом.

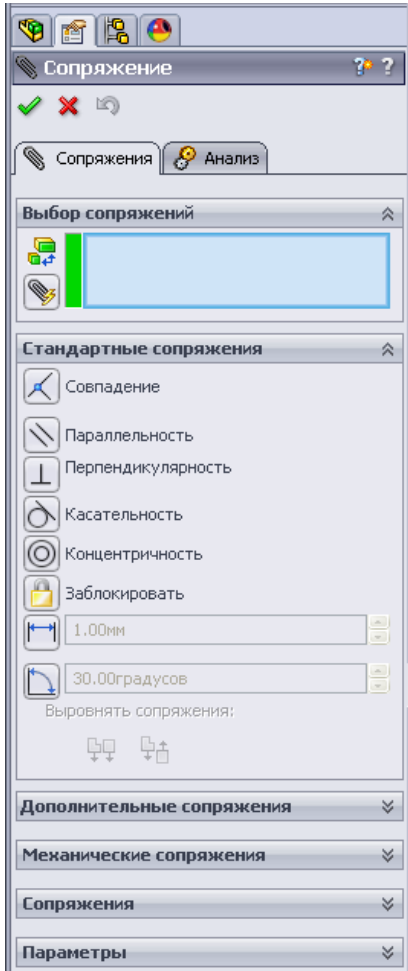


Рисунок 11.8 - Типи сполучень

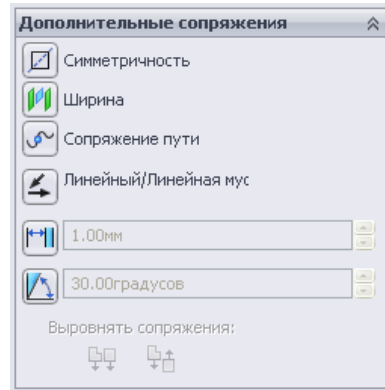


Рисунок 11.7 - Додаткові сполучення

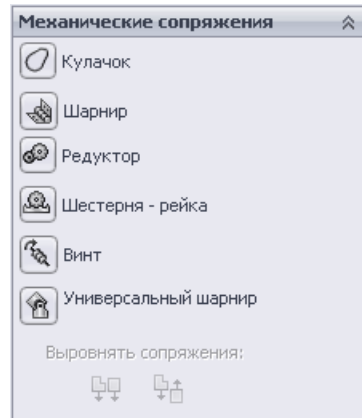


Рисунок 11.9 - Механічні сполучення

У вікні «Сопряжения», в розділі «Дополнительные сопряжения» доступні шість типів сполучень: «Симметричность, Ширина,

**Сопряжение пути, Линейный/Линейная муфта, Расстояние, Угол»**  
(рис. 11.7):

- сполучення **«Симметричность»** дозволяє розташувати два схожі елементи симетрично щодо площини або плоскої грані. Використовувати це сполучення можна для наступних об'єктів: точки (вершини), лінії (крайки, осі), площини, плоскої грані, сфери й для циліндричних поверхонь рівних радіусів;
- за допомогою сполучення **«Ширина»** можна центрувати виступ деякої деталі по ширині канавки іншої деталі що сполучається;
- **«Сопряжение пути»** обмежує обрану точку на компоненті (зазвичай яку-небудь вершину), так що вона може переміщатися в складанні тільки по певному шляхову, який складається із крайок, кривих або елементів ескізу;
- сполучення **«Линейный/Линейная муфта»** встановлює взаємозв'язок між переміщенням одного компонента й переміщенням іншого компонента;
- сполучення **«Расстояние»** дозволяє створити сполучення, при якому якийсь компонент складання може переміщатися в певному діапазоні відстаней від іншого компонента. Мінімальна й максимальна відстань вказується у полях **«Максимальное значение»** й **«Минимальное значение»**;
- сполучення **«Угол»** дозволяє створити сполучення, коли один компонентів складання може переміщатися в певному діапазоні кутів щодо іншого компонента. Мінімальне й максимальне значення кута вказується у полях **«Максимальное значение»** й **«Минимальное значение»**.

Два останні сполучення дозволяють фіксувати відстань і кут між компонентами складання в певних межах при їхньому взаємному переміщенні.

Розглянемо сполучення в розділі **«Механические сопряжения»**  
(рис. 11.9):

- сполучення **«Кулачок»** дозволяє встановити дотичне розташування або збіг поверхні якої-небудь деталі з поверхнею кулачка;
- **«Шарнир»** - це сполучення забезпечує обертання одного компонента складання навколо осі іншого компонента, тобто моделюється робота з'єднання типу шарнір. Сполучення

- «Шарнир»** тотожно одночасному завданню двох сполучень - **«Концентричность»** і **«Совпадение»** (при цьому виключається переміщення уздовж осі);
- сполучення **«Редуктор»** дозволяє здійснювати в складанні спільне обертання двох компонентів (наприклад, зубчастих коліс) навколо обраної осі. Для такого сполучення необхідно указати осі обертання й передатне відношення в розділі **«Пропорция»**;
  - сполучення **«Шестерня-рейка»** організує таке взаємне сполучення між компонентами складання, при якому лінійне переміщення однієї деталі (рейки) приводить до обертання іншої деталі (шестірні), і навпаки;
  - сполучення **«Винт»** моделює відносне переміщення двох концентрично розташованих компонентів складання аналогічно нарізному сполученню, тобто при обертанні однієї деталі відбувається лінійне переміщення іншої деталі з урахуванням заданого кроку;
  - **«Универсальный шарнир»** - це сполучення, при якому обертання одного компонента складання (вхідного вала) навколо своєї осі приводить до обертання іншого компонента (вихідного вала) навколо своєї осі.

Усі задані сполучення складання вказуються в дереві конструювання, у списку **«Сопряжения»**. Найменування кожного сполучення включає імена компонентів які є у ньому. При необхідності сполучення можна вилучити або редагувати, використовуючи можливості дерева конструювання.

Після того як задані всі необхідні сполучення між деталями й зафіксовані деталі, які в реальному складанні залишаються нерухливими, складання вважається готовим.

Показником правильно виконаного складання є відсутність конфліктних сполучень у дереві конструювання й можливість безперешкодного переміщення деталей, подібно руху в реальному об'єкті. Здійснити рух деталей можна за допомогою кнопки - **«Переместить компонент»**.

### **Побудова складання «зверху-униз».**

Для проектування складання методом «зверху-униз» необхідно відкрити тривимірний простір SolidWorks і вибрати режим роботи

програми зі складаннями, виконавши команду «**Файл | Новый... | Сборка**». Потім у дереві конструювання виберемо площину «**Спереди**», увійдемо в ескіз і побудуємо компоновальний ескіз складання.

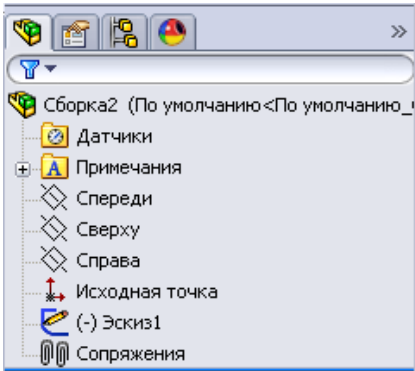


Рисунок 11.10 - Элемент «Эскиз1» в дереве конструирования

При малюванні ескізу потрібно обов'язково задати взаємозв'язки між елементами (лініями, окружностями, дугами і т.д.).

У цілому, компоновальний ескіз складання повинен бути визначений. Коли закінчите створення ескізу, вийдіть із нього, при цьому в дереві конструювання над рядком «**Сопряжения**» з'явиться елемент «**Эскиз1**» - це і є компоновальний ескіз складання (рис. 11.10). Тепер можна зберегти складання й почати проектування окремих деталей складання.

Для проектування деталей на основі компоновального ескізу необхідно вибрати команду меню: «**Вставка | Компонент | Новая деталь...**» (рис. 11.11) або скористатися командою - «**Создать**» панелі інструментів «**Сборка**».

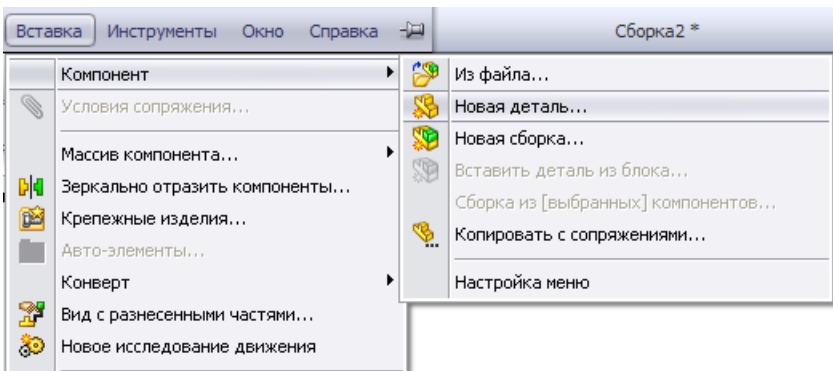


Рисунок 11.11 - Створення нової деталі

У дереві конструювання над рядком «**Сопряжения**» з'явиться новий елемент з іменем [Деталь1^Сборка2] (рис. 11.12). Тепер мож-

на почати побудову деталі. При цьому компоувальний ескіз складання залишається на екрані в якості допоміжного об'єкта.

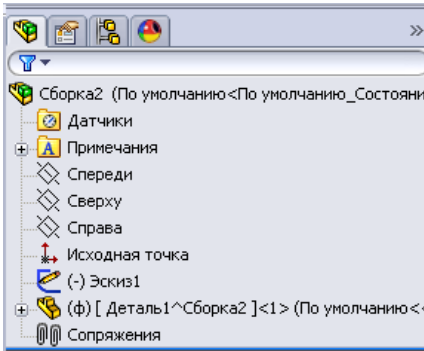


Рисунок 11.12 - Новый элемент в дереве конструирования

Побудова деталі в режимі складання "зверху-униз" аналогічно конструюванню деталі у шаблоні «Деталь», але спочатку потрібно вийти зі складання й увійти в режим редагування деталі.

Для цього виділіть рядок з іменем деталі в дереві конструювання курсором миші і в спливаючому меню активізуйте команду - «Редактирование детали» (рис. 11.13). У результаті ви опинитеся в режимі редагування деталі, при цьому рядок у дереві

конструювання виділиться синім кольором. Відкриємо дерево конструювання нової деталі, клацнувши значок у рядку імені деталі, і виберемо площину для створення ескізу першого елемента цієї деталі (рис. 11.14). Намалюємо ескіз нової деталі, побудуємо бобишки, оформимо окружності, фаски, округлення, вирізи та інші елементи.

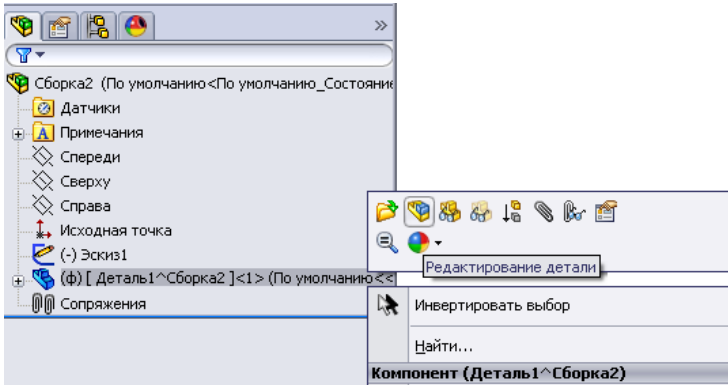


Рисунок 11.13 - Активизация команды редактирования детали

При створенні ескізів деталей складання необхідно використовувати взаємозв'язки між компоувальним ескізом складання й ескізом деталі.

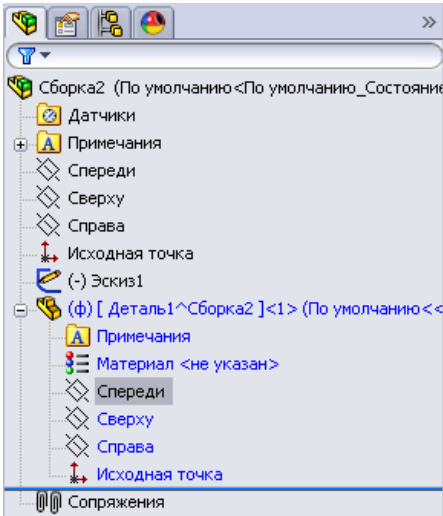


Рисунок 11.14 - Вибір площини для створення ескізу

Щоб почати створення наступної деталі, необхідно відредагувати складання: вийти з режиму редагування першої деталі, клацнути правою кнопкою миші ім'я деталі й вибрати в контекстному меню що з'явилося, команду **«Редактировать сборку: <Имя сборки>»** (рис. 11.15).

У результаті складання буде перебудовано, а ви одержите можливість сконструювати інші деталі складання.

При побудові складання методом "зверху-униз" у файлі складання автоматично створюються віртуальні файли проєктованих деталей.

При необхідності ці віртуальні файли можна зберегти як реальні, указавши їхні ім'я та місце розташування (каталог і папку).

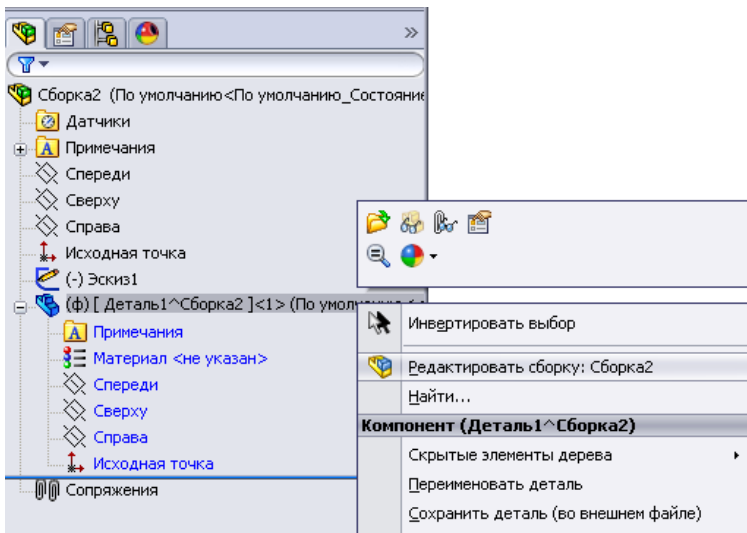


Рисунок 11.15 - Вихід з режиму редагування першої деталі

Основна перевага складання "зверху-униз" полягає в тому, що при редагуванні компоувального ескізу складання відбувається автоматична зміна всього складання й деталей, що входять у нього.

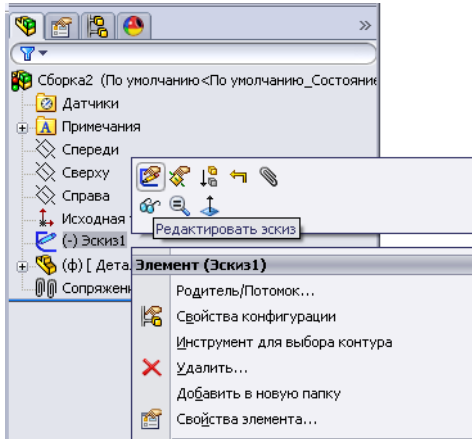


Рисунок 11.16 - Вибір команди «Редактировать эскиз»

Для зміни ескізу складання необхідно в дереві конструювання клацнути правою кнопкою миші елемент «**Эскиз1**» (ескіз складання) і вибрати в спливаючому меню команду - «**Редактировать эскиз**» (рис. 11.16).

Увійдемо в компоувальний ескіз складання, поміняємо його розміри й конфігурацію, потім вийдемо з ескізу. У результаті, зміни перетерпить не тільки складання, але й тривимірні моделі складових її деталей.

### Складання "знизу-нагору".

Розглянемо принцип побудови такого складання на прикладі редуктора. У нас є раніше сконструйовані деталі, з яких будемо створювати складання: корпус редуктора, зубчасте колесо, вал східчастий, кришка, манжета, гвинт із шестигранною головкою, кришка з маслоотгонним різьбленням - усі ці деталі були побудовані раніше. Окремо були створені наступні деталі: глуха кришка, втулка, вал-шестірня, шпонка, гайка й шайба.

Для початку побудуємо просте складання, що складається всього із двох деталей - Кришки й Манжети. Цю складальну одиницю потім будемо використовувати в якості компонента загального складання редуктора.

#### Приклад № 1. Кришка

Для побудови складання запустимо програму SolidWorks і увійдемо в режим створення складання, вибравши шаблон «**Сборка**» (рис. 11.1). Не забудьте настроїти панель інструментів. Для цього виберіть команду меню «**Инструменты | Настройка | Панели инструментов**» і поставте прапорець «**Складання**».

1. Помістимо в складальний простір деталь **Кришка**, для цього активізуємо команду меню «Вставка | Компонент | Из файла» або скористаємося кнопкою - «Вставити компоненти» панелі інструментів «Сборка». У вікні що відкрилося, «Вставити компонент» (рис. 11.5) натиснемо кнопку «Обзор», виберемо в робочому каталозі файл **Кришка.SLDPRТ** і натиснемо кнопку «Открыть» (рис. 11.17).

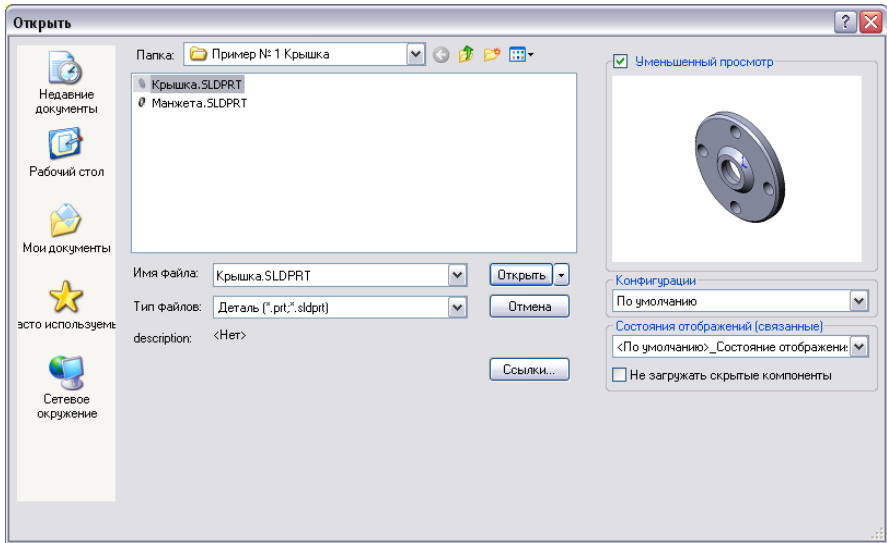


Рисунок 11.17 - Додавання компонента у складання

У результаті цих дій ми знову опинимося в складальному просторі. Курсором укажемо місце розташування деталі **Кришка** в складальному просторі, сполучивши її вихідну точку з вихідною точкою складання (рис. 11.18). Деталь розміститься в тривимірному просторі, а в дереві конструювання з'явиться рядок **(ф) Кришка<1>**. Префікс **(ф)** означає зафіксоване положення деталі в складальному просторі. Перша деталь, що вставляється в складання, завжди є зафіксованою.

2. Аналогічним чином помістимо в складальний простір деталь **Манжета** (рис. 11.19).

3. Перш ніж задати сполучення, зорієнтуємо деталі в просторі з урахуванням конфігурації створюваного складання, для цього активізуємо кнопку - «Врацать компонент» і повернемо манжету в напрямку до кришки (рис. 11.20).

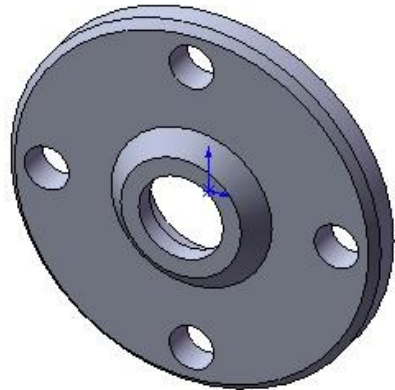
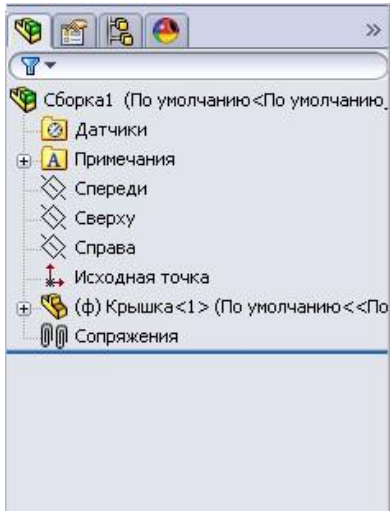


Рисунок 11.18 - Додана в складання деталь Крышка

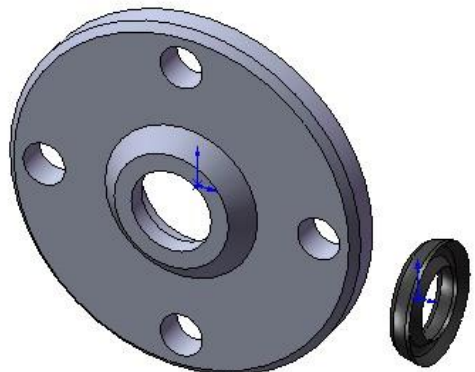
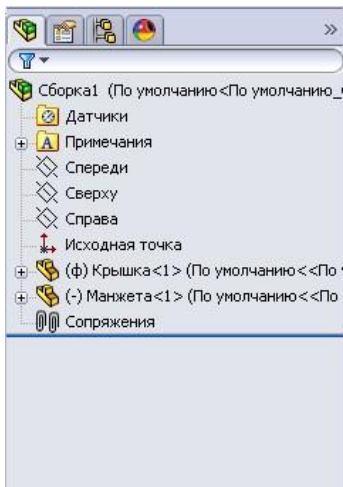


Рисунок 11.19 - Додана в складання деталь Манжета

4. Щоб зібрати ці дві деталі в єдину конструкцію, задамо умови сполучення. Для цього на панелі інструментів «Сборка» активізуємо кнопку - «Условия сопряжения».

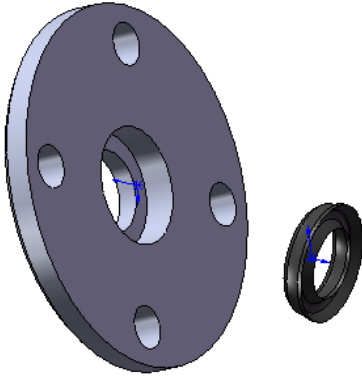


Рисунок 11.20 - Зміна розташування деталей

На екрані з'явиться вікно «Сопряжения», де вкажемо елементи, деталей що сполучаються, і типи сполучень: «**Концентричность**» - внутрішньої циліндричної грані кришки й крайки манжети (рис. 11.21); «**Совпадение**» - плоских поверхонь кришки й манжети (рис. 11.22).

5. Закінчимо створення складання, нажавши кнопку **ОК**. У результаті одержимо кришку з манжею в зборі, а в Дереві Конструювання в групі «Сопряжения» з'являться два сполучення - «**Концентричный1**» і «**Совпадение1**» (рис. 11.23).

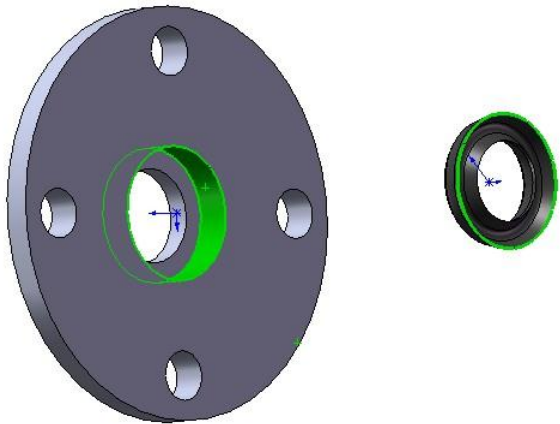
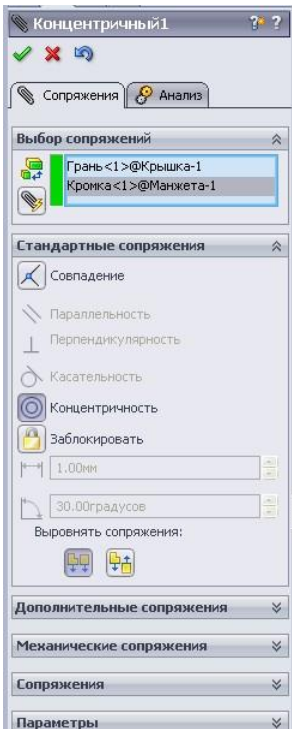


Рисунок 11.21 - Процес завдання сполучень двом деталям

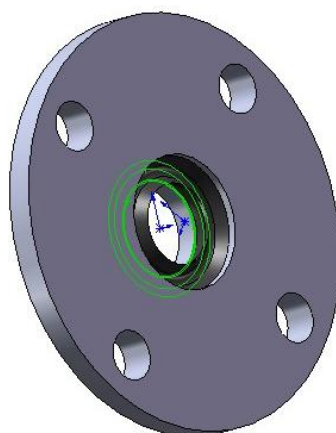
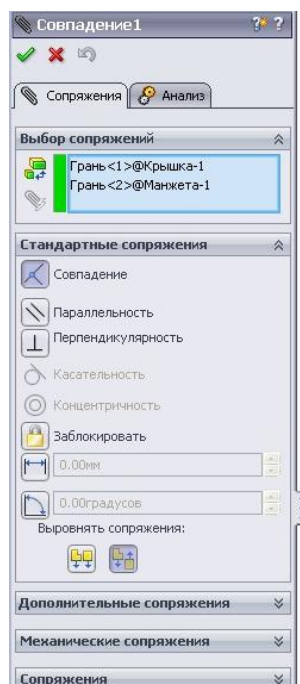


Рисунок 11.22 - Процесс сполучення внутрішньої циліндричної грані кришки й крайки манжети

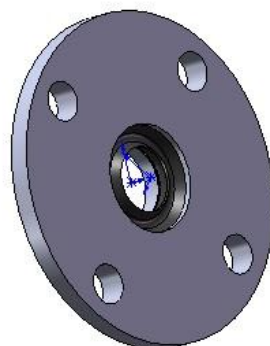
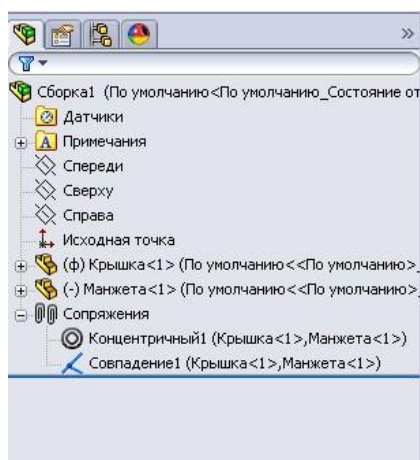


Рисунок 11.23 - Кінцевий результат сполучення двох деталей

Збережемо це складання під іменем **Кришка**.

### Приклад № 2. Редуктор.

Розглянемо побудову більш складного складання - редуктора, який спроектуємо на базі раніше сконструйованих деталей. Для початку запустимо програму SolidWorks і виконаємо наступні дії в режимі побудови складання.

1. Помістимо в складальний простір деталь **«Корпус редуктора»**, для цього активізуємо команду меню **«Вставка | Компонент | Из файла»** або скористаємося кнопкою - **«Вставить компоненты»** панелі інструментів **«Сборка»**. У вікні **«Вставить компонент»** натиснемо кнопку **«Обзор»**, виберемо елемент **«Корпус редуктора.SLDPRT»** і натиснемо кнопку **«Открыть»** (рис. 11.24).

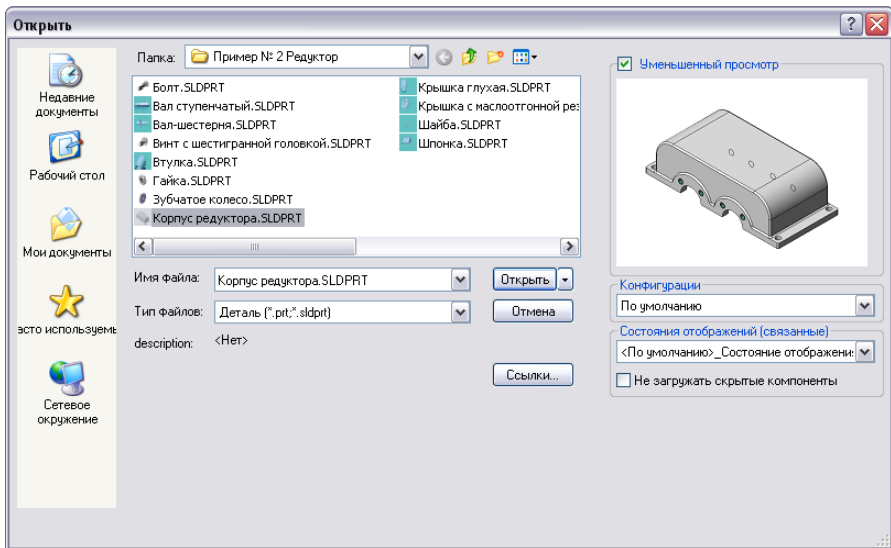


Рисунок 11.24 - Додавання деталі в простір складання

2. Помістимо корпус редуктора в тривимірний складальний простір (рис. 11.25).

3. Це нижня половина корпуса редуктора, у якій ми будемо розташовувати інші деталі складання, тому її необхідно розвернути на 180°. Але спочатку корпус редуктора потрібно звільнити, тому що перша деталь складання завжди фіксується в просторі. Для звільнення деталі кладемо правою кнопкою миші на її назві в дереві конструю-

вання й в контекстному меню що з'явилося активізуємо команду «Освободить» (рис. 11.26).

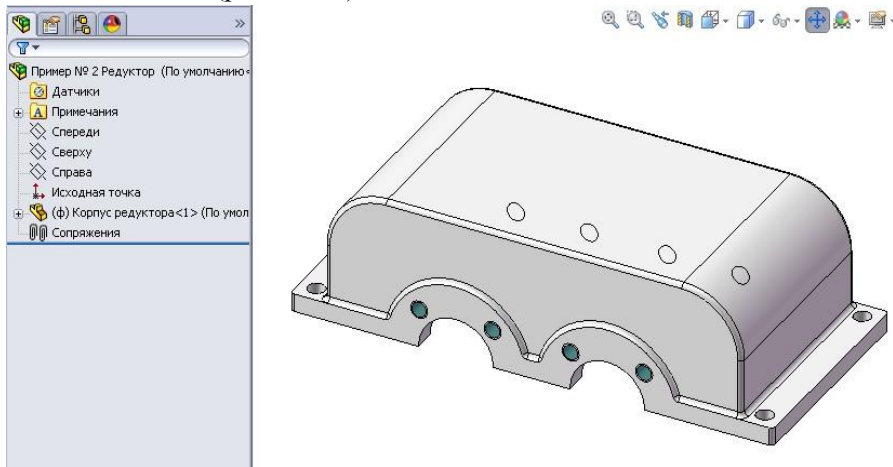


Рисунок 11.25 - Додана деталь «Корпус редуктора» в складання

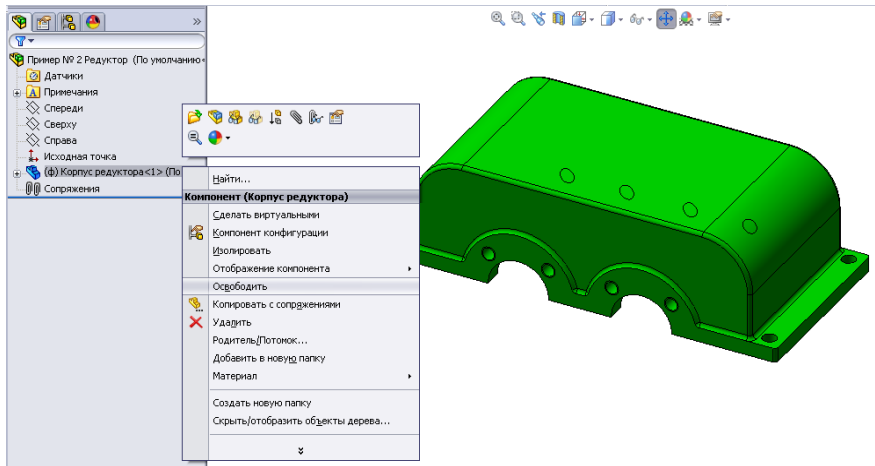


Рисунок 11.26 - Процесс снятия фиксации с детали

У результаті префікс перед іменем деталі в дереві конструювання поміняє свій вид на прочерк, а деталь отримає волю переміщення.

4. Тепер переведемо деталь, для чого скористаємося кнопкою - «Вращать компонент» панелі інструментів «Сборка» (рис. 11.27).

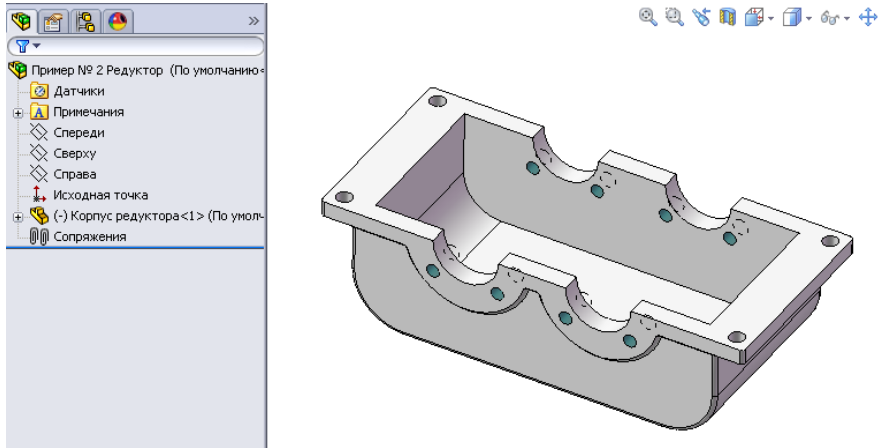


Рисунок 11.27 - Перевернута деталь «Корпус редуктора» в складанні

5. Для того щоб корпус редуктора зорієнтувати щодо площин тривимірного простору, задамо умови сполучення: збіг площини «Сверху» й днища корпуса (рис. 11.28), а також збіг бічних поверхонь корпуса із площинами «Спереди» й «Справа».

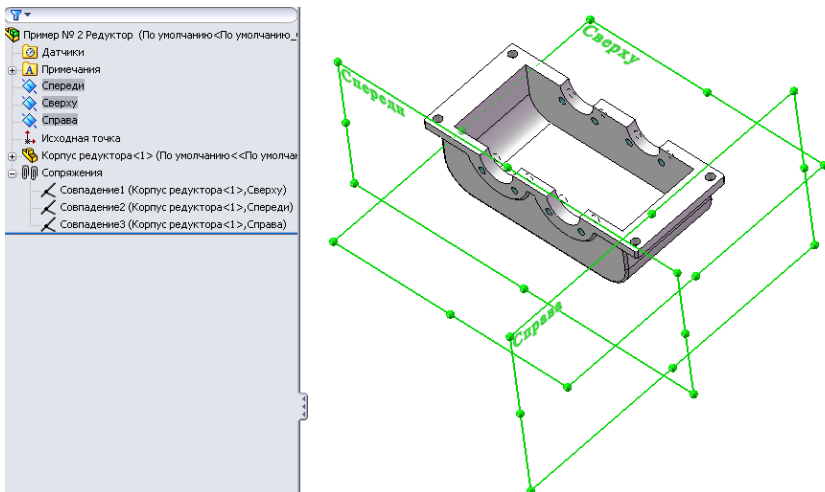


Рисунок 11.28 - Завдання умов сполучення деталі

Таким чином, корпус редуктора одержав однозначну орієнтацію

в тривимірному складальному просторі, і його фіксування тепер не потрібне.

11. Розмістимо в складальному просторі наступні деталі: вал східчастий, вал-шестерню, зубчасте колесо й шпонку (рис. 11.29). Для розташування цих деталей у складанні скористаємося кнопкою - **«Вставить компоненты»** панелі інструментів **«Сборка»**.

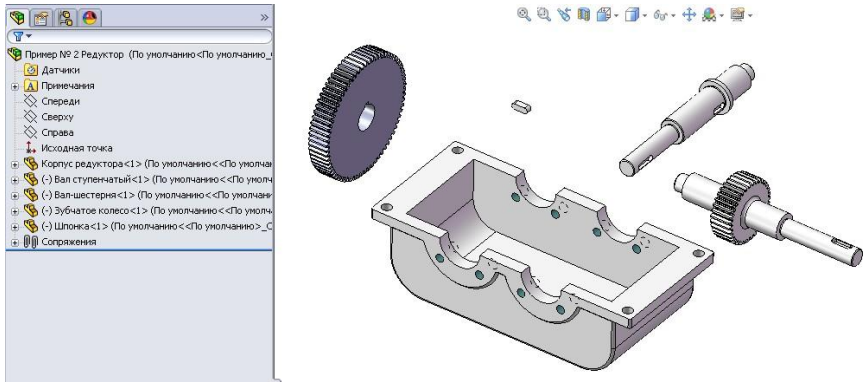


Рисунок 11.29 - Додані деталі в простір складання

7. Спочатку помістимо шпонку в шпонковий паз східчастого вала. Для цього натиснемо кнопку - **«Условия сопряжения»**. У вікні **«Сопряжения»** вкажемо перше сполучення шпонки й вала - **«Совпадение»** (рис. 11.30).

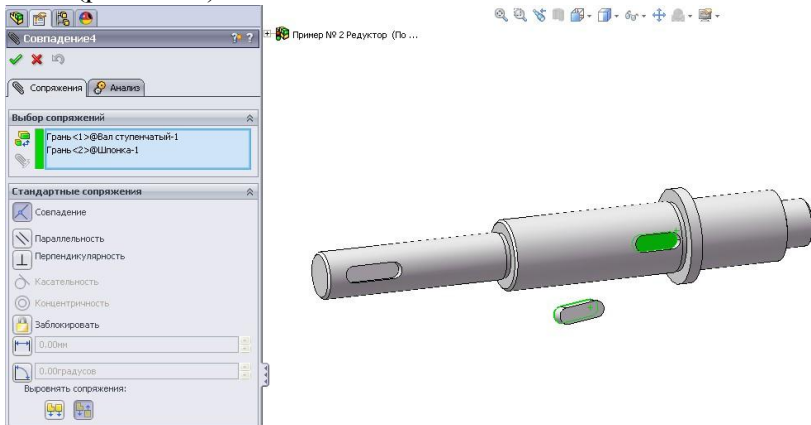


Рисунок 11.30 - Процес розміщення шпонки у шпонковий паз вала

Збіг поверхонь спостерігається на нескінченності, незалежно від орієнтації деталей.

8. Укажемо ще два сполучення між елементами шпонки й вала - концентричність циліндричних поверхонь бічних граней шпонки й шпонкового паза (рис. 11.31).

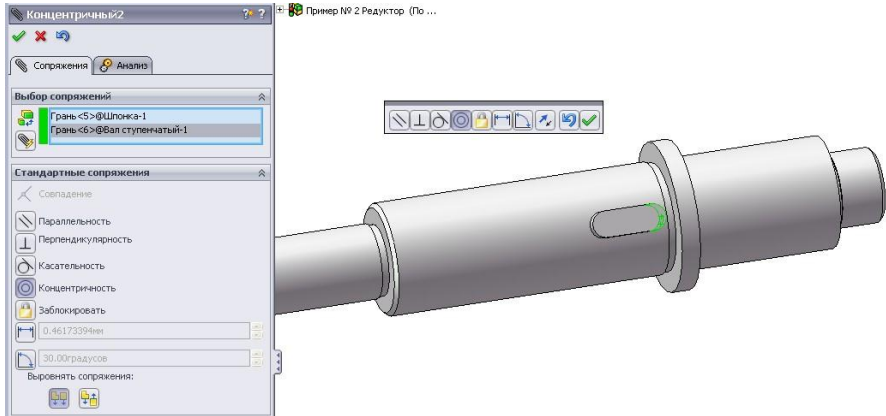


Рисунок 11.31 - Призначення додаткових сполучень для шпонки й вала

У результаті завдання перерахованих сполучень шпонка жорстко розташується в шпонковому пазу східчастого вала.

9. Помістимо зубчасте колесо на східчастий вал. Для цього досить задати три сполучення: концентричність - для внутрішнього отвору зубчастого колеса й зовнішньої поверхні вала; збіг - для плоских бічних граней шпонки й шпонкового паза колеса; збіг - для торцевих поверхонь зубчастого колеса й бурта вала (рис. 11.32).

10. Помістимо вал зі шпонкою й зубчастим колесом у корпус редуктора. Для цього задамо наступні сполучення: концентричність циліндричних поверхонь вала й корпусу редуктора; збіг внутрішньої плоскої поверхні корпусу із плоскою торцевою поверхнею виступу вала (рис. 11.33).

11. Аналогічним образом розташуємо вал-шестірню в корпусі редуктора, застосувавши два сполучення: концентричність циліндричних поверхонь і збіг торцевого бурту й плоскої внутрішньої грані корпусу (рис. 11.34).

12. У реальному редукторі при обертанні зубчастого колеса відбувається обертання вала-шестірні.

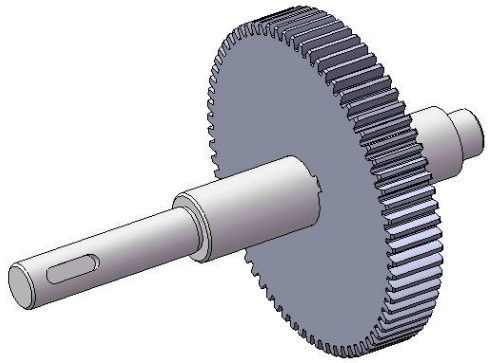
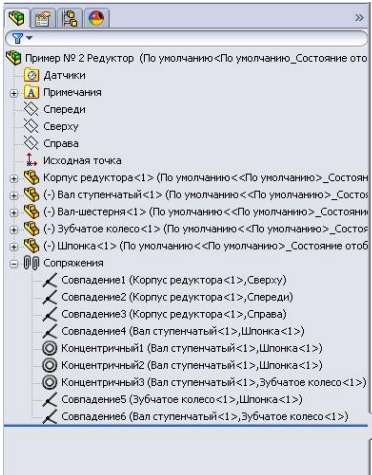


Рисунок 11.32 - Зубчасте колесо розміщене на валу

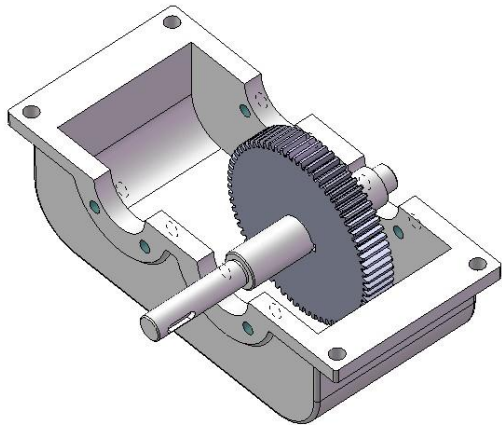
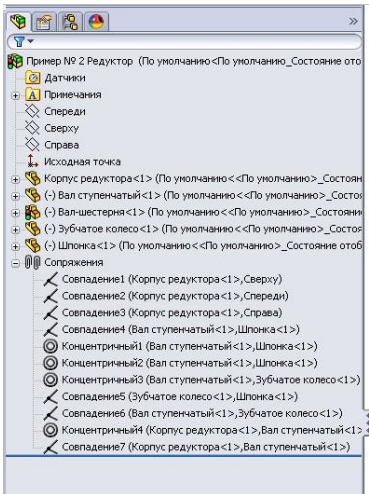


Рисунок 11.33 - Вал зі шпонкою й зубчастим колесом у корпусі редуктора

При цьому швидкість обертання вала-шестірни у два рази перевищує швидкість обертання східчастого вала із зубчастим колесом, тобто передатне відношення рівне двом. Таке обертання можна реалізувати й в SolidWorks. Спочатку розташуємо зубчасте колесо й шестірню таким чином, щоб зуби шестірни точно потрапили між зубами

колеса (рис. 11.35). Для цього використовуємо кнопку - «Вращать компонент» панелі інструментів «Сборка».

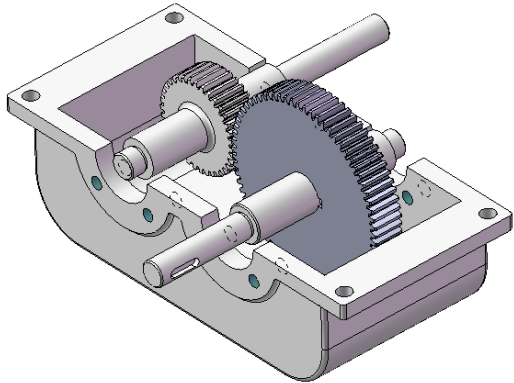
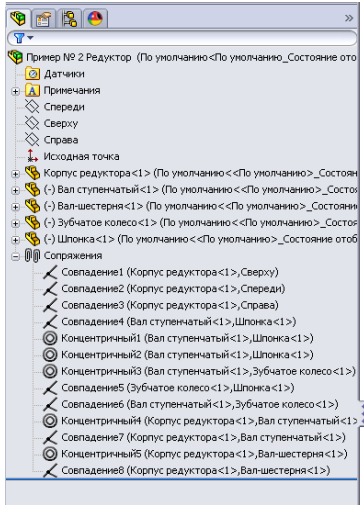


Рисунок 11.34 - Вал-шестірна додана в корпус редуктора

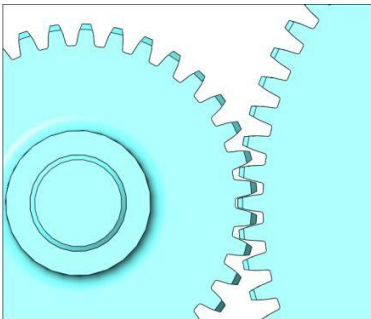


Рисунок 11.35 - Орієнтація зубів шестерні й колеса

13. Активізуємо кнопку - «Условия сопряжения» й у розділі «Выбор сопряжений» укажемо крайки вершин зубів східчастого вала й вала-шестірни, у розділі «Механические сопряжения» виберемо тип сполучення «Редуктор», а в полях вікна «Пропорция» введемо 142 і 771,69.

У якості пропорції вказуються діаметри зубів, а передатне відношення програма SolidWorks розраховує самостійно (рис. 11.36).

Тепер при обертанні зубчастого колеса шестірна буде також обертатися, імітуючи роботу реального зубчастого зачеплення.

У даному редукторі використовуються чотири радіальні шари-копідшипники шириною 15 мм із зовнішнім діаметром 52 мм і внутрішнім діаметром 20 мм.

14. Створювати підшипники немає необхідності, тому що в

SolidWorks є Бібліотека проектування стандартних деталей, які можна легко додати в будь-яке складання.

Для настроювання Бібліотеки проектування спочатку звернемося до меню «**Инструменты | Добавления...**» і у вікні, що відкрилося, «**Добавления**» поставимо два прапорці - «**SolidWorks Toolbox**» і «**SolidWorks Toolbox Browser**» (рис. 11.37).

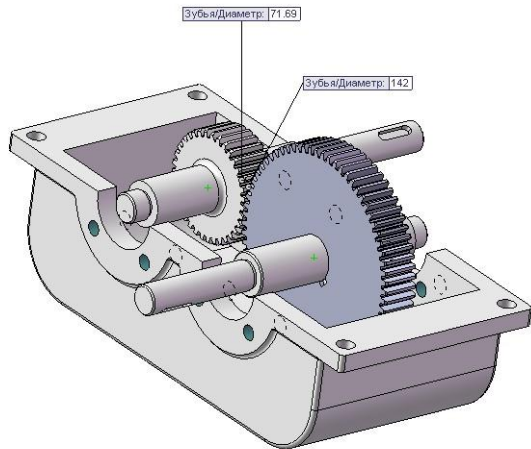
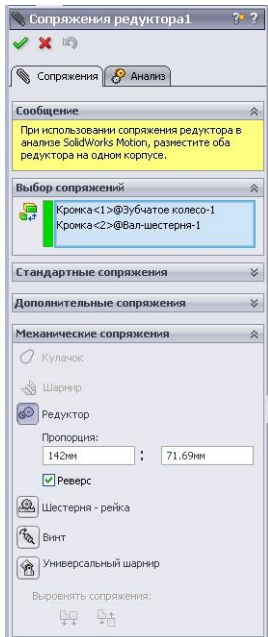


Рисунок 11.36 - Завдання чисельних значень при призначенні сполучень

15. Відкриємо «**Библиотеку проектирования**», нажавши однойменну кнопку на панелі завдань, праворуч від області проектування (рис. 11.38), і відкриємо папку **Toolbox**.

16. Бібліотечні деталі розташовані в каталогах, відповідних до світових систем стандартів. У додатку **Toolbox** для SolidWorks є каталог деталей, відповідних до стандартів країн СНД - ГОСТ. Виберемо каталог ГОСТ, у цьому каталозі відкриємо папку «**Подшипники шариковые**» (рис. 11.39), де, у свою чергу, «**ГОСТ 2893-75 Радиальные**». Оберемо тип підшипника, який будемо вставляти в складання - «**Средняя узкая серия**».

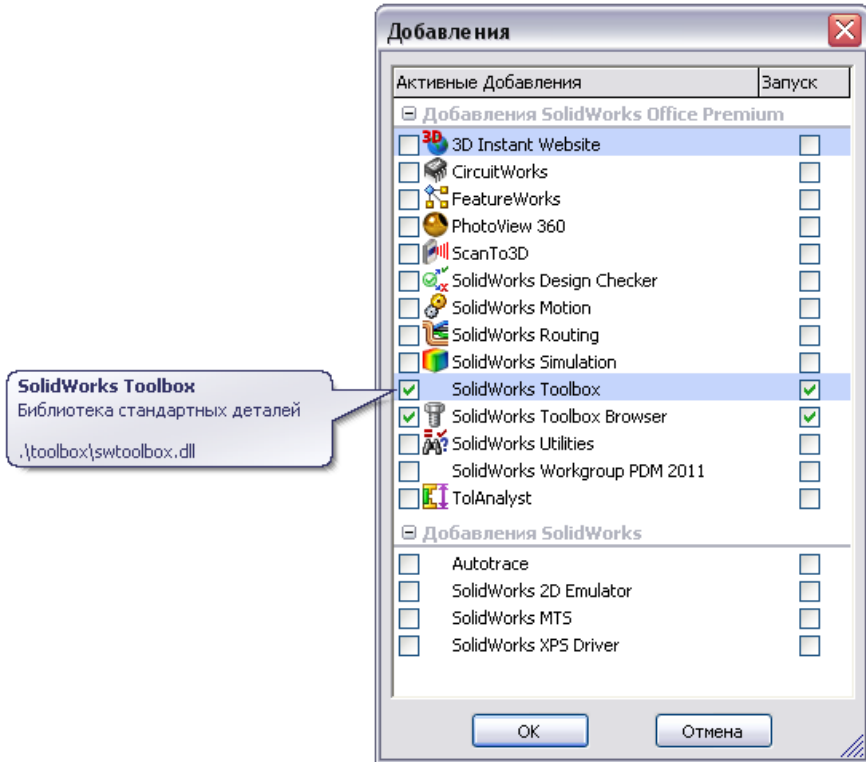


Рисунок 11.37 - Настроювання Бібліотеки проектування

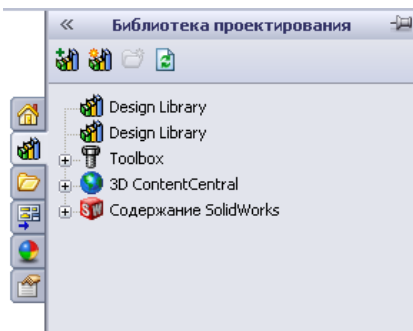


Рисунок 11.38 - Папка Toolbox у дереві конструювання

У тому випадку, якщо в **Toolbox** відсутня папка з деталями, відповідними до стандарту ГОСТ, можна скористатися аналогічними деталями бібліотеки **ISO**.

17. Клацнемо правою кнопкою миші по назві типу підшипників і на панелі, що відкрилася, активізуємо рядок «**Вставити в збірку...**» (рис. 11.40). Можна також просто перетягнути потрібний тип підшипника з бібліотеки в складальний простір.

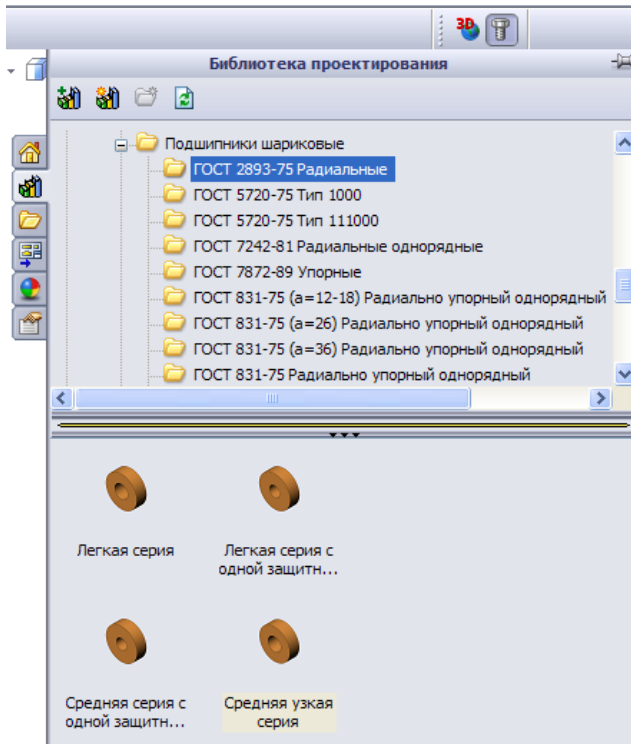


Рисунок 11.39 - Відкрита папка «Подшипники шариковые»

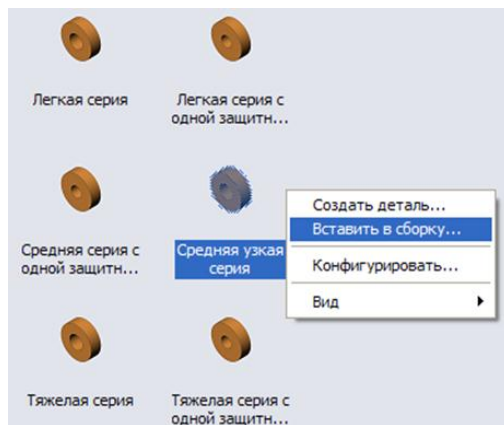


Рисунок 11.40 - Додавання підшипника з бібліотеки в складальний простір

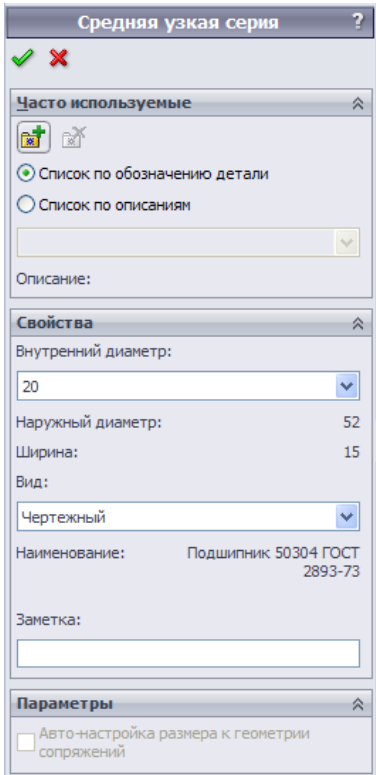


Рисунок 11.41 - Завдання параметрів підшипника

18. У вікні «Средняя узкая серия» (рис. 11.41) уведемо в розділі «Свойства» внутрішній діаметр підшипника - 20. Інші розміри підшипника визначаються автоматично на підставі внутрішнього діаметра і його типу: зовнішній діаметр підшипника складе 52 мм, а ширина - 15 мм (рис. 11.41).

19. Натиснемо кнопку **ОК**, у результаті підшипник з'явиться в складанні. Подібним чином розмістимо в складанні ще три підшипники (рис. 11.42).

При додаванні з Бібліотеки проектування необхідно вказувати вихідну точку деталі, що додається, у складальному просторі.

20. Задамо сполучення першого підшипника. Для цього активізуємо кнопку - «Условия сопряжения» й у вікні, що з'явилося на екрані, «Сопряжения» виберемо «Концентричность» підшипника й східчастого вала, а також «Совпадение» плоских торцевих граней корпуса й підшипника (рис. 11.43).

21. Подібним чином установимо інші підшипники в складання (рис. 11.44).

22. Наступним етапом створення складання стане розміщення кришок і втулки. Для чого скористаємося кнопкою - «Вставить компоненты». Розмістимо в складальному просторі наступні деталі: дві глухі кришки, кришку з маслоотгонним різьбленням, кришку (складання кришки з манжетою) і втулку (рис. 11.45).

Розташуємо кришки в такий спосіб: глухі кришки на двох кінцях східчастого вала й вала-шестірні, кришку з маслоотгонним різьбленням на вихідному кінці вала-шестірні й кришку з манжетою на вихідному кінці східчастого вала (рис. 11.45).

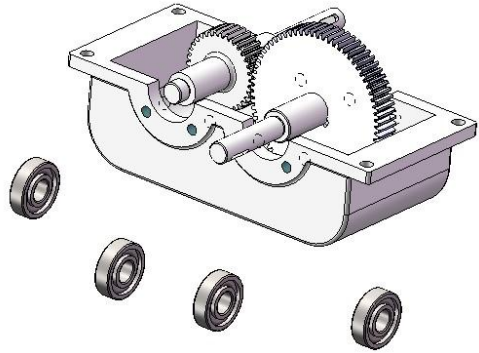
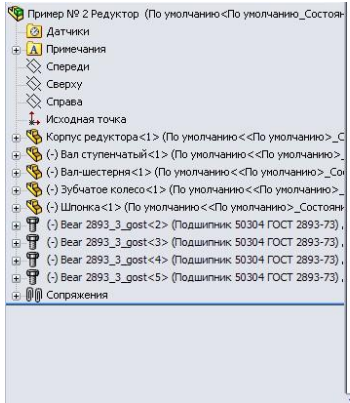


Рисунок 11.42 - Підшипники додані в складання

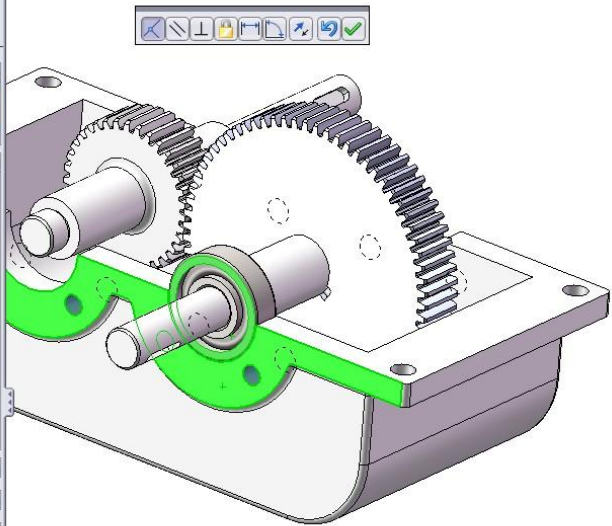
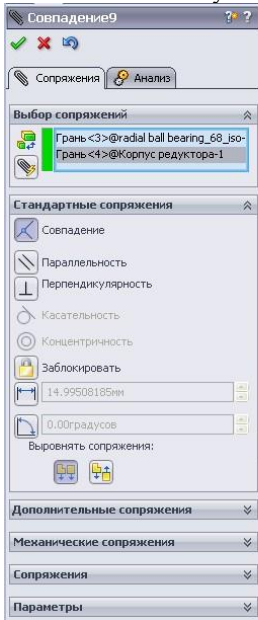


Рисунок 11.43 - Завдання сполучення першого підшипника

23. Задамо для кришок наступні умови сполучення - концентричність валів і кришок, збіг плоских поверхонь кришок і корпуса, концентричність кріпильних отворів кришки й корпуса (рис. 11.46).

24. Розташуємо втулку на східчастому валу, задавши сполучен-

ня: концентричність втулки й вала, збіг торцевих поверхонь втулки й зубчастого колеса (рис. 11.47).

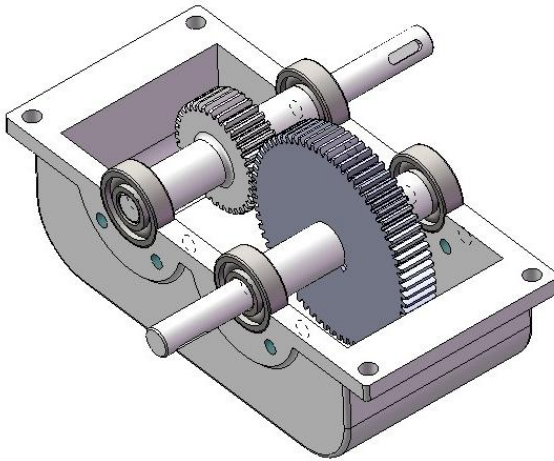


Рисунок 11.44 - Встановлено всі чотири підшипники

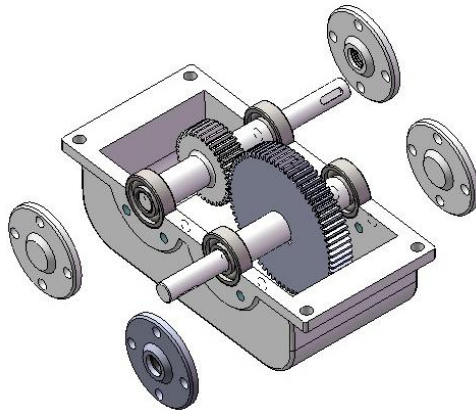
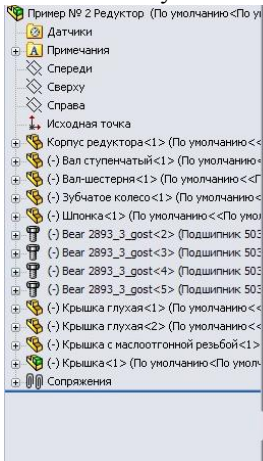


Рисунок 11.45 - Додані кришки і втулки

25. Закриємо редуктор другою половиною кришки, для чого розмістимо в складальному просторі ще одну деталь - Корпус редуктора (рис. 11.48) і вкажемо умови сполучення між першою й другою половиною корпусу (три сполучення типу «Совпадение» між однойменними площинами половин корпусу).

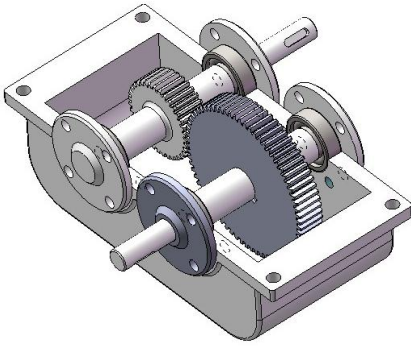


Рисунок 11.46 - Завдані умови сполучення

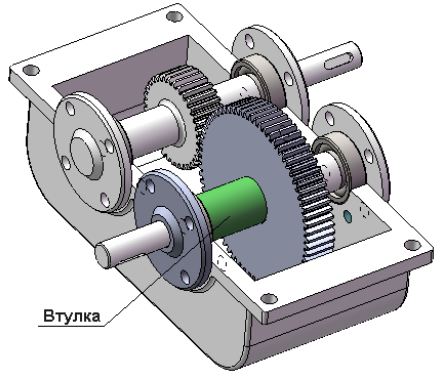


Рисунок 11.47 - Додано втулку

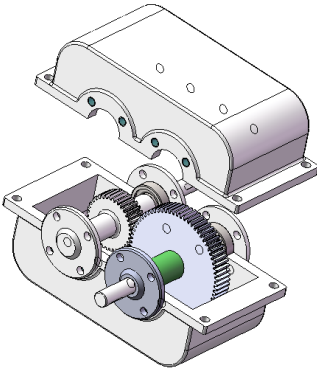


Рисунок 11.48 - Додано кришку

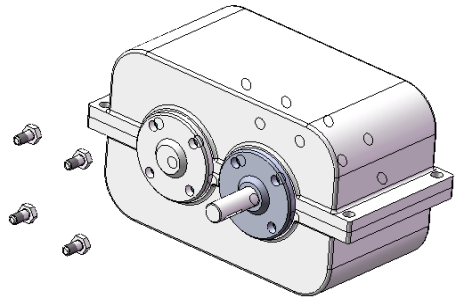


Рисунок 11.49 - Додано гвинти

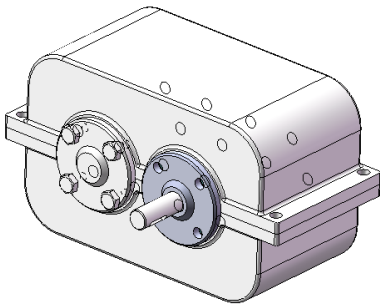


Рисунок 11.50 - Гвинти розміщені на кришці

Редуктор майже готовий, залишилося лише розташувати кріпильні деталі: гвинти, шайби й гайки. При формуванні складання можна скористатися можливостями Бібліотеки проектування. Однак необхідні для складання гвинти були нами сконструйовані, і саме їх ми будемо використовувати для закріплення кришок.

26. Закріпимо першу кришку. Помістимо чотири гвинти із шестигранною головкою в складальний простір (рис. 11.49). У процесі розміщення деталей у складанні завжди необхідно уточнювати конфігурацію деталі, що вставляється.

27. Перевернемо гвинти згідно з їхнім розташуванням у складанні й задамо наступні умови сполучення: концентричність гвинта й отвору в кришці, а також збіг плоских поверхонь головки гвинта й кришки (рис. 11.50). Аналогічним образом можна встановити всі гвинти на, що залишилися трьох кришках, але ця процедура є тривалою й трудомісткою. Для прискорення процесу складання використовуємо можливості SolidWorks - команду **«Зеркально отразить компоненты...»**. Застосування цієї команди в цьому випадку виправдане, тому що корпус редуктора симетричний у двох напрямках. Для того щоб скористатися цією командою, необхідно побудувати площини дзеркального відбиття.

28. Перша площина паралельна площини **«Спреди»**, на відстані від неї 73 мм. Для створення такої площини скористаємося меню **«Вставка | Справочная геометрия | Плоскость...»**. У розділі **«Первая справочная»** вкажемо площину **«Спреди»**, як довідковий (базовий) об'єкт для створення нової площини. У рядку - **«Расстояние смещения»** вкажемо відстань між площинами 73 мм (рис. 11.51).

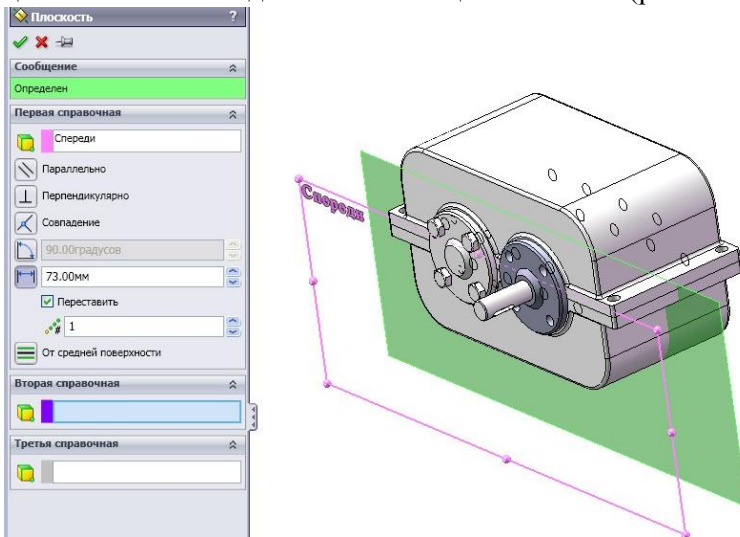


Рисунок 11.51 - Побудова площини дзеркального відбиття

29. Закінчимо створення нової площини натисканням кнопки **ОК**. У результаті буде побудована нова площина, паралельна площини «Спереди» й віддалена від неї на 73 мм. У дереві конструювання ця площина позначиться як **«ПЛОСКОСТЬ1»**.

30. Подібним чином побудуємо ще одну допоміжну площину, паралельну площині «Справа» і віддалену від неї на 144,5 мм. У дереві конструювання ця площина позначиться як елемент **«ПЛОСКОСТЬ2»** (рис. 11.52).

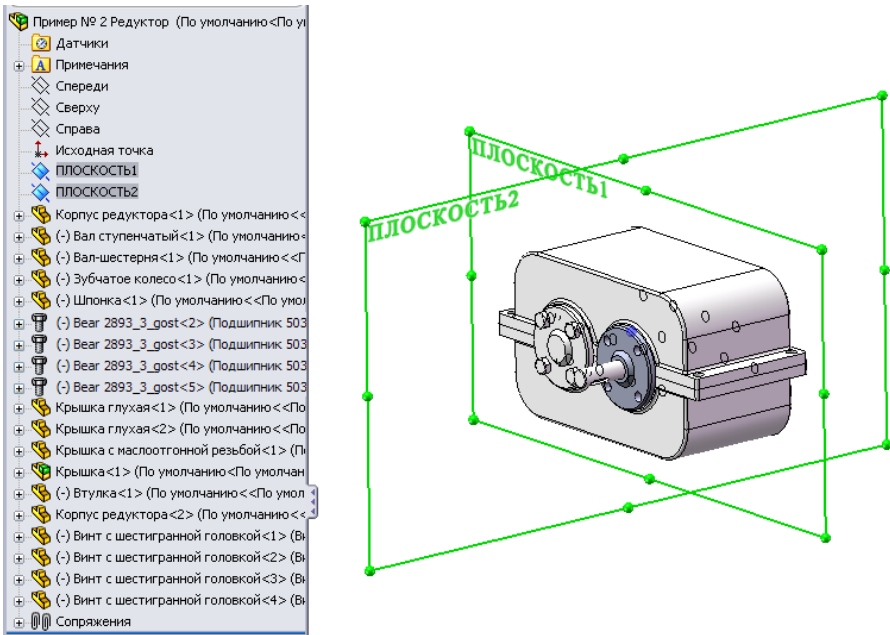


Рисунок 11.52 - Допоміжна площина, паралельна площині «Справа»

31. Розташуємо чотири гвинти в кришці на вихідному кінці східчастого вала, для чого звернемося до меню **«Вставка | Зеркально отразить компоненты...»** (рис. 11.53).

32. На екрані відкриється вікно **«Зеркально отразить компоненты — Шаг 1:Выбранные объекты»** (рис. 11.54), у розділі **«Плоскость для зеркального отражения»** виберемо об'єкт **«ПЛОСКОСТЬ2»**, у розділі **«Зеркально отразить компоненты»** вкажемо чотири гвинти із шестигранною головкою (рис. 11.54).

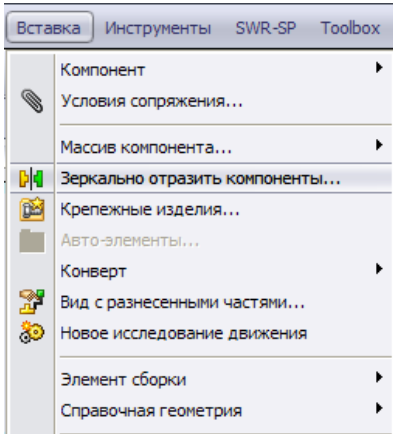


Рисунок 11.53 - Викилик меню  
«Зеркально отразить  
компоненты»

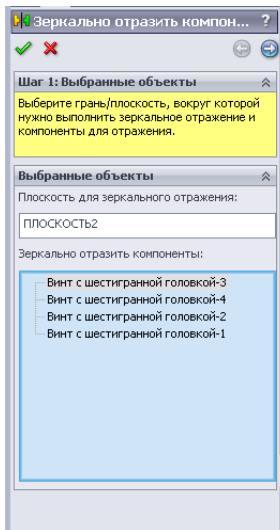
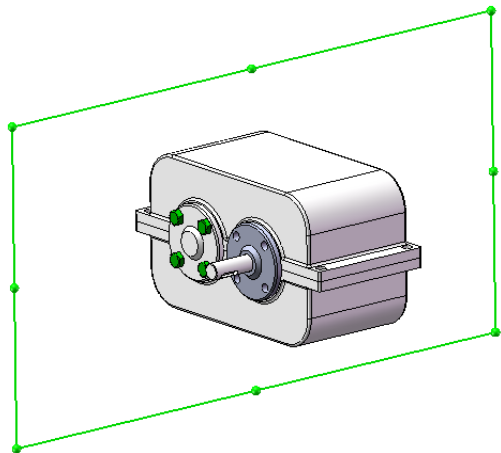


Рисунок 11.54 - Процес створення дзеркального масиву гвинтів

33. Натиснемо кнопку - «Далее» у вікні «Зеркально отразить компоненты». Задамо орієнтацію компонентів - «Создать зеркально отраженное исполнение». Для вибору деталей при дзеркальному відбитті потрібно клацнути по їх об'ємному зображенню. Вибір компонентів також можна здійснити в дереві конструювання.

У рядку імен копійованих компонентів вказується їхній стан. Значок дзеркала означає, що новий компонент буде точним дзеркальним відбиттям вихідної деталі, при цьому геометрія компонента зміниться (рис. 11.55).



34. Укажемо, що для позначення дзеркально відбитих деталей будуть використані префікси, а самі ці деталі будуть збережені в нових файлах. Також можна зберегти ці деталі як нові конфігурації. За-

кінчимо побудову нових версій дзеркально відбитих гвинтів натисанням кнопки **ОК**. У результаті будуть створено чотири нові гвинти, а в дереві конструювання з'явиться елемент **«Зеркальный Компонент1»** (рис. 11.56).

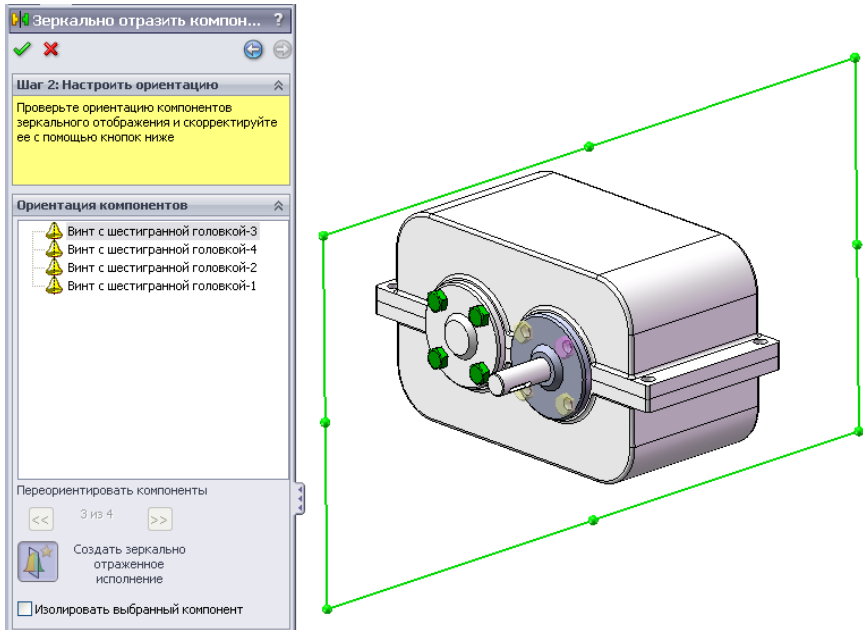


Рисунок 11.55 - Створені дзеркальні компоненти

35. Аналогічним образом внесемо в складання ще вісім гвинтів, відбивши дзеркально наявні гвинти щодо **«ПЛОСКОСТИ1»** (рис. 11.57).

36. Натиснемо кнопку **ОК** і в результаті одержимо нових вісім гвинтів, що закріплюють кришки із протилежної сторони редуктора, а в дереві конструювання з'явиться новий рядок **«Зеркальный Компонент2»** (рис. 11.58).

37. Залишилося закріпити дві половини корпуса редуктора між собою. Внесемо в складання гвинт із шестигранною головкою (конфігурацію за замовчуванням), гайку й шайбу, для чого скористаємося кнопкою - **«Вставить компоненты»** (рис. 11.59).

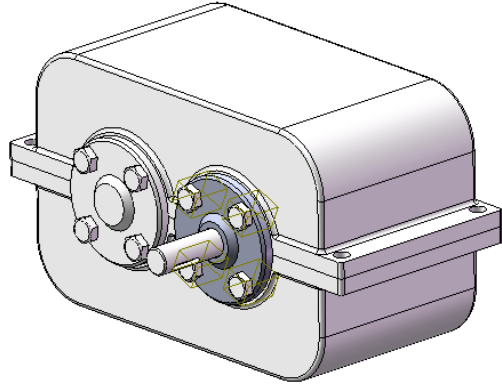
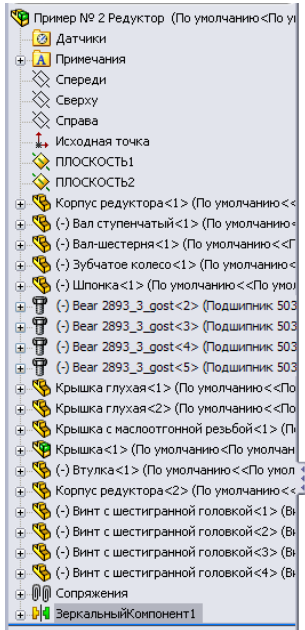


Рисунок 11.56 - Закінчено побудову дзеркально відбитих гвинтів

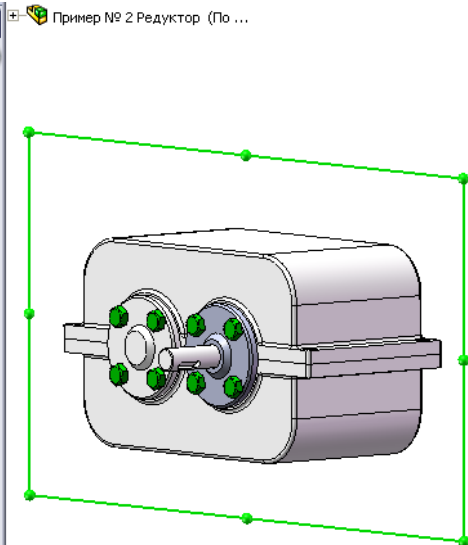
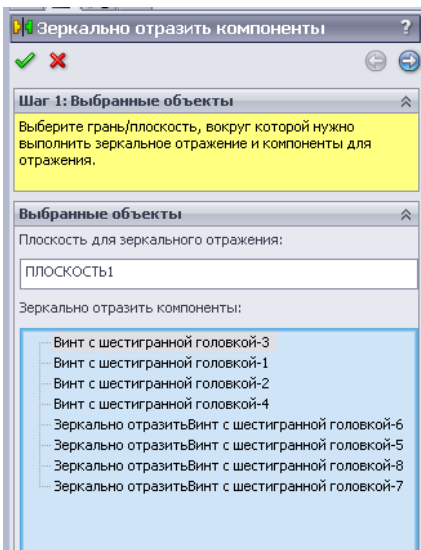


Рисунок 11.57 - Створення восьми гвинтів

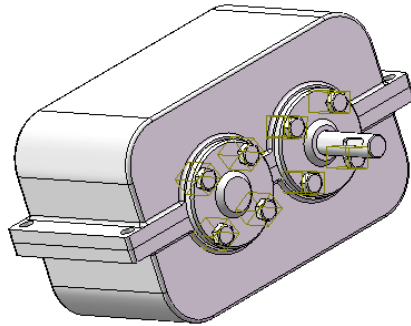
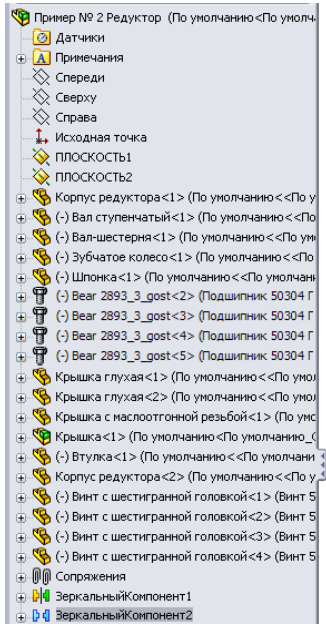


Рисунок 11.58 - Додано вісім гвинтів кріплення кришок

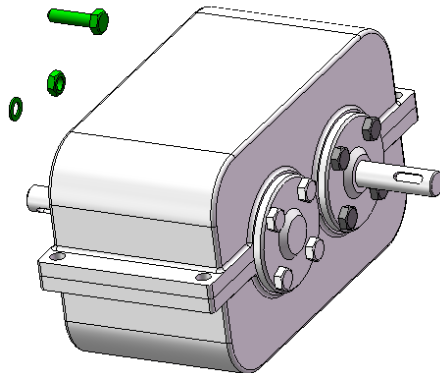
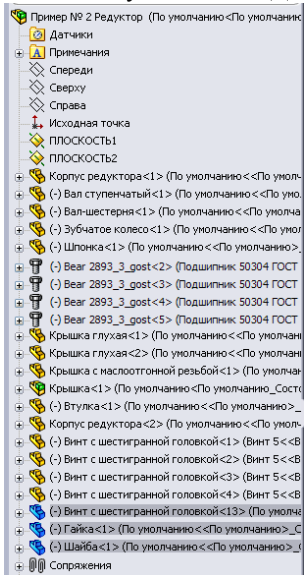


Рисунок 11.59 - Додали гвинт, гайку й шайбу

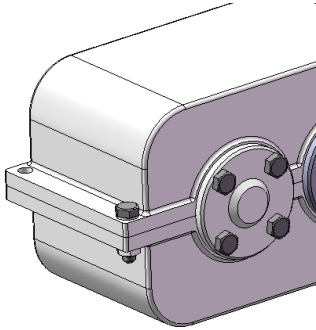


Рисунок 11.60 - Деталі встановили в базовий отвір

38. Установимо деталі в базовий отвір Корпуса редуктора <2>. У цьому випадку під базовим ми маємо на увазі отвір, з якого за допомогою лінійного масиву були сформовані інші три отвори в корпусі редуктора.

Для розміщення деталей у корпусі редуктора використовуємо наступні види сполучень: концентричність гвинта, гайки, шайби й отвору в корпусі, збіг плоских торцевих поверхонь головки гвинта й корпуса редуктора, шайби й корпуса, а також гайки й шайби (рис. 11.60).

39. Помістимо гвинт, гайку й шайбу в інші отвори корпуса. У зв'язку з тим що інші три отвори в корпусі редуктора були отримані як лінійний масив, прискоримо процедуру складання, використовуючи можливості SolidWorks. Активізуємо команду меню: «**Вставка | Масив компонента...**» «**Управляемый элементом...**» (рис. 11.61).

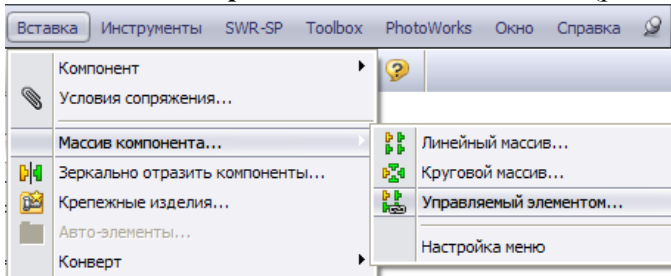


Рисунок 11.61 - Виклик меню «Управляемый элементом...»

40. На екрані відкриється вікно «**Управляемый элемент**» (рис. 11.62). У розділі «**Компоненты для массива**» вкажемо деталі, які будуть збиратися по масиву. У цьому випадку такими деталями є **Гвинт** із шестигранною головкою, **Шайба** й **Гайка**. Щоб виділити деталі, досить клацнути мишею по їхнім зображенню.

У розділі «**Производный элемент**» помістимо назву лінійного масиву. Для цього відкриємо дерево конструювання складання, у ньому виберемо «**Корпус редуктора <2>**» і клацнемо по елементу «**Линейный массив2**» (рис. 11.62).

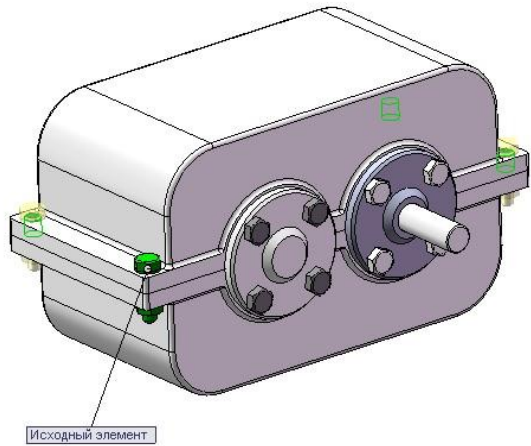
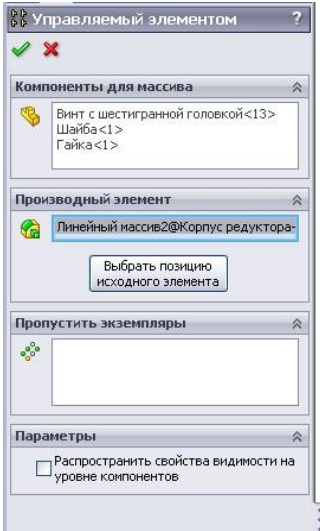


Рисунок 11.62 - Вибір деталей для массиву

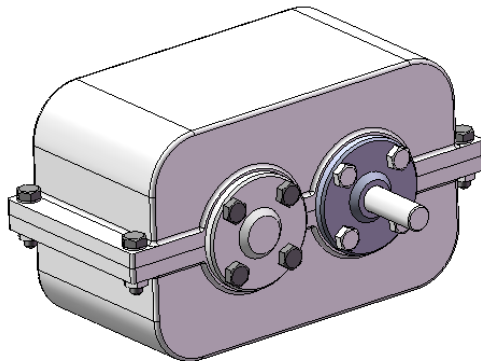
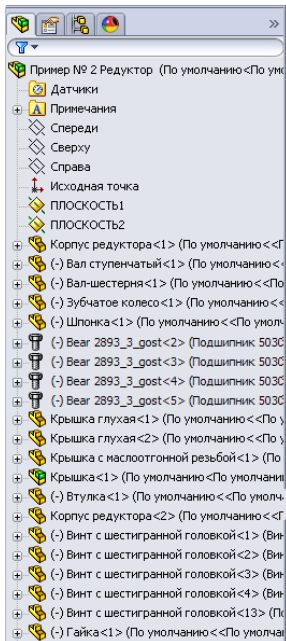


Рисунок 11.63 - Деталі масиву в усіх отворах в корпусу редуктора

41. Закінчимо побудову, нажавши кнопку **ОК**. У результаті гвинти, шайби й гайки займуть усі отвори в корпусі редуктора (рис. 11.63), а в дереві конструювання з'явиться рядок **«Производный линейный массив1»**, і складання набуде закінчений вид (рис. 11.63). При формуванні складання можна встановити деталі не в усі отвори. Для цього необхідно на етапі побудови у вікні **«Управляемый элемент»** або після створення складання в режимі редагування визначення, у вікні **«Производный линейный массив»**, у розділі **«Пропустить экземпляры»** вказати ті деталі, які не потрібно використовувати в складанні.

Ми розглянули основні можливості SolidWorks при побудові складань, у тому числі дзеркальне копіювання компонентів, використання деталей з Бібліотеки проектування (Toolbox), а також розташування компонентів по елементах масиву. Перейдемо до розгляду прикладу побудови складання методом «зверху-униз».

### Складання "зверху-униз".

Метод побудови складання «зверху-униз» розглянемо на прикладі конструювання ремінної передачі, що складається із двох шківів і ременя.

1. Для проектування складання такого типу відкриємо SolidWorks і увійдемо в режим роботи програми зі складаннями, виконавши команду **«Файл | Новый... | Сборка»**. У дереві конструювання виберемо площину **«Спереди»**, відкриємо ескіз, де й побудуємо компоновальний ескіз складання (рис. 11.64).

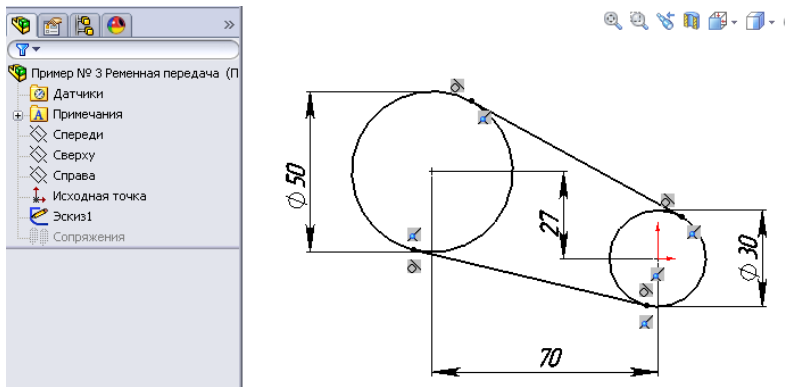


Рисунок 11.64 - Компоновальний ескіз складання

При малюванні ескізу в обов'язковому порядку задамо взаємозв'язки між його елементами - дотичність ліній до окружностей. У цілому ескіз повинен бути визначений. Вийдемо з ескізу, у дереві конструювання перед рядком **«Сопряжения»** з'явиться новий рядок **«Эскиз1»** (ескіз складання). Збережемо деталь як **Приклад № 3 Пасова передача**.

2. На основі компоувального ескізу складання спроекуємо деталь Шків1. Для цього виберемо команду меню: **«Вставка | Компонент | Новая деталь...»** (рис. 11.11). Також можна скористатися командою - **«Создать»** на панелі інструментів **«Сборка»**.

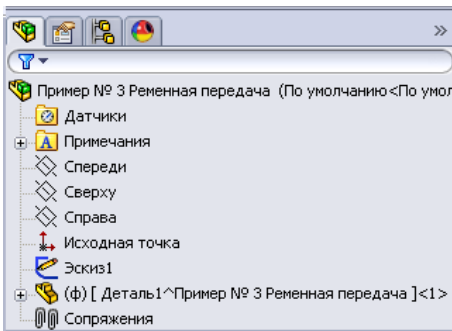


Рисунок 11.65 - Дерево конструювання із доданою деталлю

У дереві конструювання з'явиться рядок **[Деталь1^ Пример № 3 Ременная передача]<1>** (рис. 11.65). Квадратні дужки в імені деталі вказують на те, що деталь є віртуальним компонентом, тобто її насправді ще не існує.

3. У дереві конструювання виберемо площину ескізу шківів, у цьому випадку - площина **«Спереди»**. Після вибору площини програма автоматично

ввійде в режим редагування деталі, а користувач опиниться в режимі малювання ескізу. Намалюємо ескіз шківів, який являє собою окружність (рис. 11.66). Визначимо взаємозв'язок рівності між ескізом шківів й компоувальним ескізом складання, також окружність ескізу нової деталі повинна бути концентричною Дузі1 на ескізі складання.

4. Не виходячи з ескізу, натиснемо кнопку - **«Вытянутая болышка/основание»** й витягнемо цю окружність на 15 мм. У результаті з'явиться об'ємне зображення заготовки шківів з усіма етапами побудови цієї деталі (рис. 11.67).

5. Тепер на новій деталі оформимо бурти для фіксації ремня. Для цього ввійдемо в режим малювання ескізу на плоскому торці заготовки шківів й намалюємо ескіз бурту, який являє собою окружність, концентричну окружності заготовки шківів радіусом на 5 мм більше радіуса заготовки (рис. 11.68). У цьому випадку задається не радіус окружності бурту, а його величина, як різниця між радіусами. Це

зроблено для того, щоб у випадку внесення змін у значення діаметра шківів змінювався й радіус бурту.

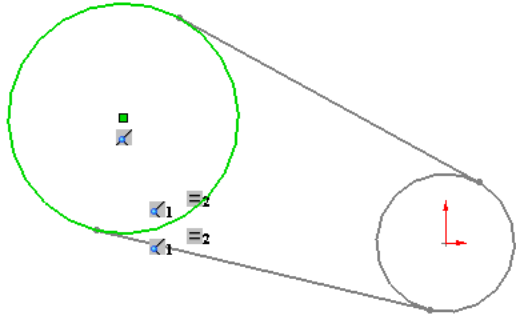
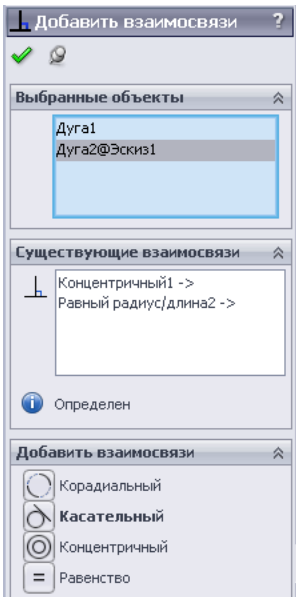


Рисунок 11.66 - Ескіз шківів

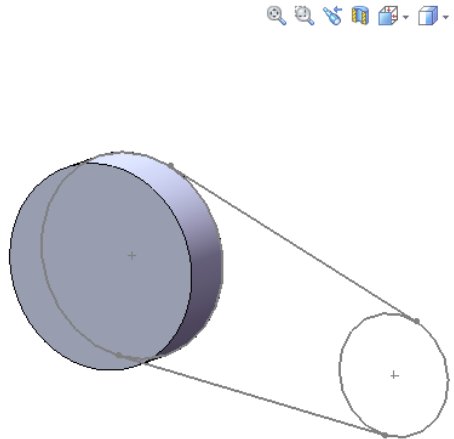
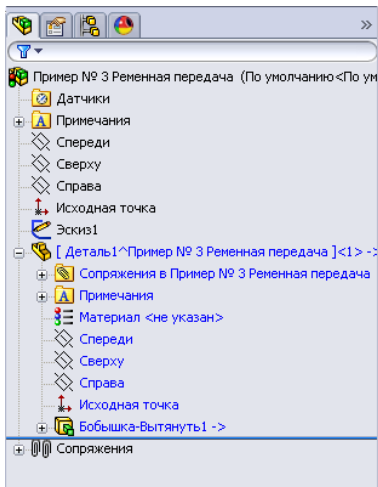


Рисунок 11.67 - Об'ємне зображення заготовки шківів

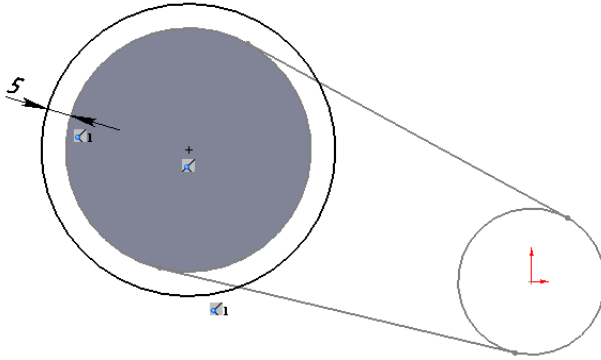


Рисунок 11.68 - Малювання ескізу бурта

6. Витягнемо цю окружність на 5 мм, у результаті буде побудований перший бурт шків (рис. 11.69).

7. У такий же спосіб побудуємо другий бурт шків (рис. 11.70).

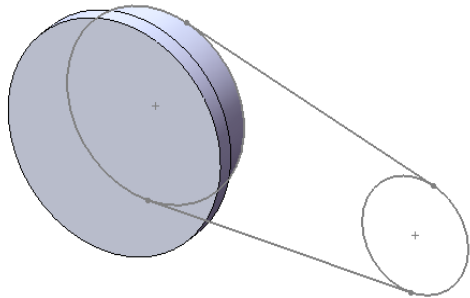
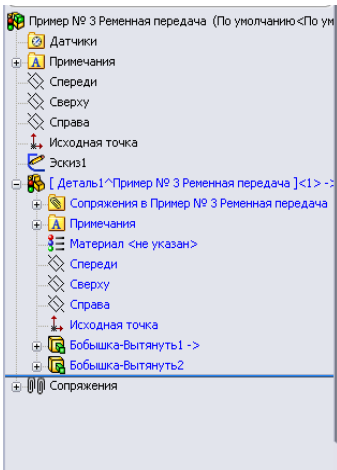


Рисунок 11.69 - Побудований перший бурт шків

8. Оформимо центральний отвір у шківі для його кріплення на валу. Виберемо торцеву плоску поверхню, увійдемо в ескіз і намалюємо ескіз отвору у вигляді окружності діаметром 15 мм концентрично заготовці шків. Витягнемо виріз, використовуючи граничну умову «Насквозь» (рис. 11.71).

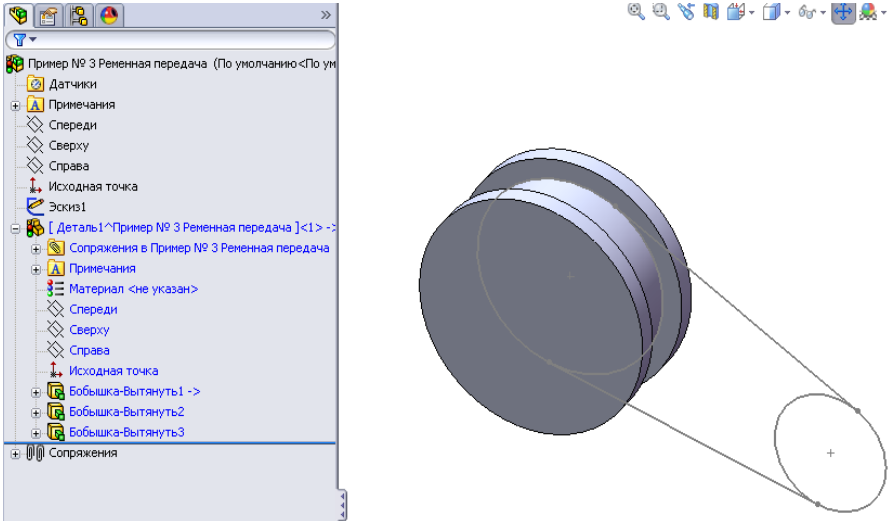


Рисунок 11.70 - Побудовано другий борт шківа

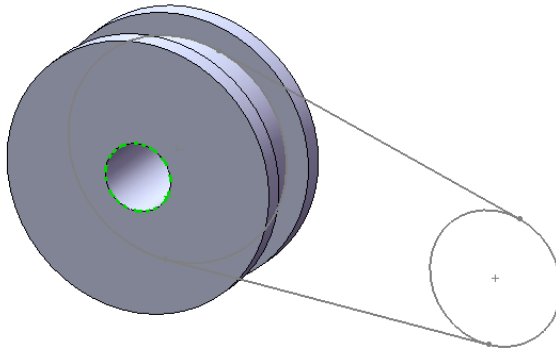


Рисунок 11.71 - Створено центральний отвір у шківі

9. На краяхках шківа зробимо фаски розміром  $2 \times 45^\circ$  (рис. 11.72).

10. Шків створений, однак приступити до побудови другої деталі складання неможливо, тому що ми перебуваємо в режимі редагування деталі. Для того щоб вийти із цього режиму, потрібно клацнути правою кнопкою миші в тривимірному просторі.

На екрані з'явиться контекстне меню, у якому слід вибрати команду «**Редактировать сборку: Пример № 3 Ременная передача**» (рис. 11.73).

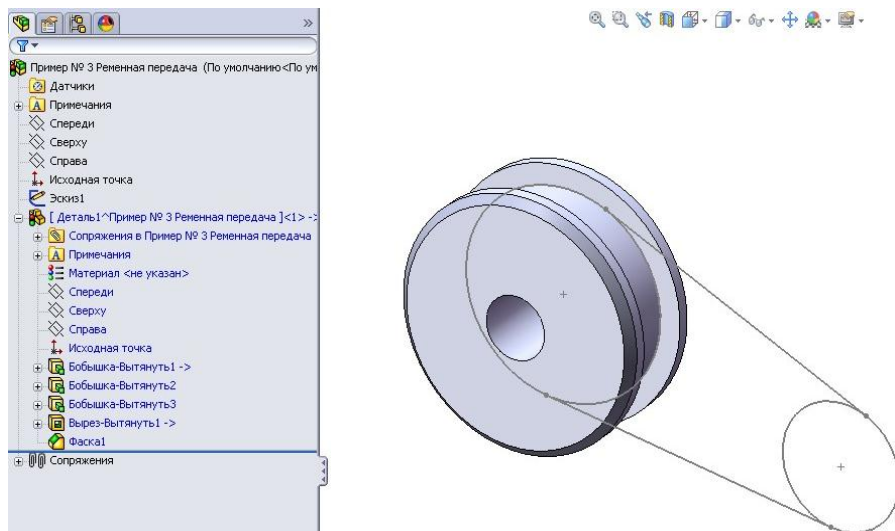


Рисунок 11.72 - Створені фаски на краях шківів

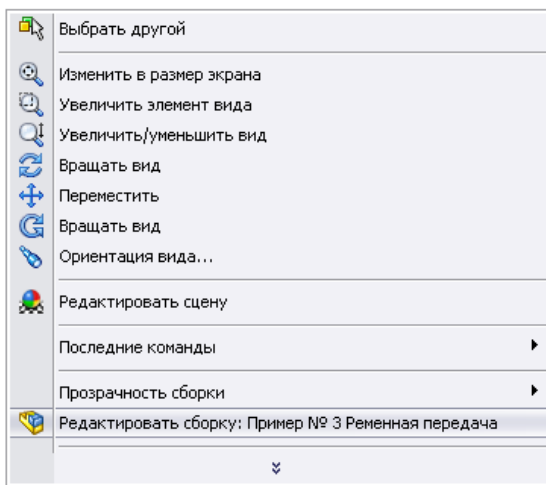


Рисунок 11.73 - Контекстне меню

Складання буде перебудовано, а ми одержимо можливість сконструювати інші деталі реміної передачі.

11. Тепер перейменуємо побудовану деталь, тому що ім'я «Деталь1 ^Пример № 3 Ременная передача]<1>» не зручне для подаль-

шого використання. Для цього виділимо в дереві конструювання рядок з іменем деталі, клацнемо по ній правою кнопкою миші й у контекстному меню активізуємо команду **«Переименовать деталь»**. Уведемо нове ім'я деталі - **Шків 1** (рис. 11.74).

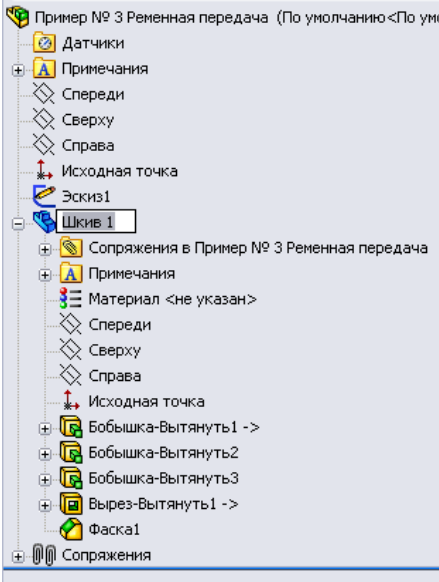


Рисунок 11.74 - Переименовання деталі в дереві конструювання на нове ім'я - Шків 1

12. Нове ім'я деталі також буде зазначено у квадратних дужках, деталь є віртуальним компонентом складання. Щоб зберегти віртуальний компонент в окремому файлі, клацніть правою кнопкою миші ім'я деталі й виберіть у контекстному меню команду **«Сохранить деталь (во внешнем файле)»** (рис. 11.75).

На екрані відкриється вікно **«Сохранить как»**, у якому потрібно вказати шлях для збереження цього файлу (рис. 11.76). Для вказівки шляху необхідно у вікні **«Сохранить как»** виділити ім'я файлу, клацнувши його, потім натиснути кнопку **«Укажите путь»**. Якщо деталь буде перебувати в тій же папці, що й складання, то можна натиснути кнопку **«Также, как и сборка»**.

13. Аналогічно побудуємо деталь **Шків 2** (рис. 11.77). Після побудови деталі не забудьте вийти з режиму редагування деталі, клацнувши правою кнопкою миші в тривимірному просторі й вибравши в контекстному меню команду **«Редактировать сборку: Пример № 3 Ременная передача»**.

На цьому етапі побудови складання маємо компоновальний ескіз і два сконструйовані шківні (рис. 11.77).

14. Створимо ще одну деталь складання - Ремінь. Активізуємо команду меню: **«Вставка | Компонент | Новая деталь...»** (рис. 11.11) або скористаємося командою - **«Создать»** панелі інструментів **«Сборка»**. У дереві конструювання з'явиться рядок **[Деталь3^Пример № 3 Ременная передача]<1>**.

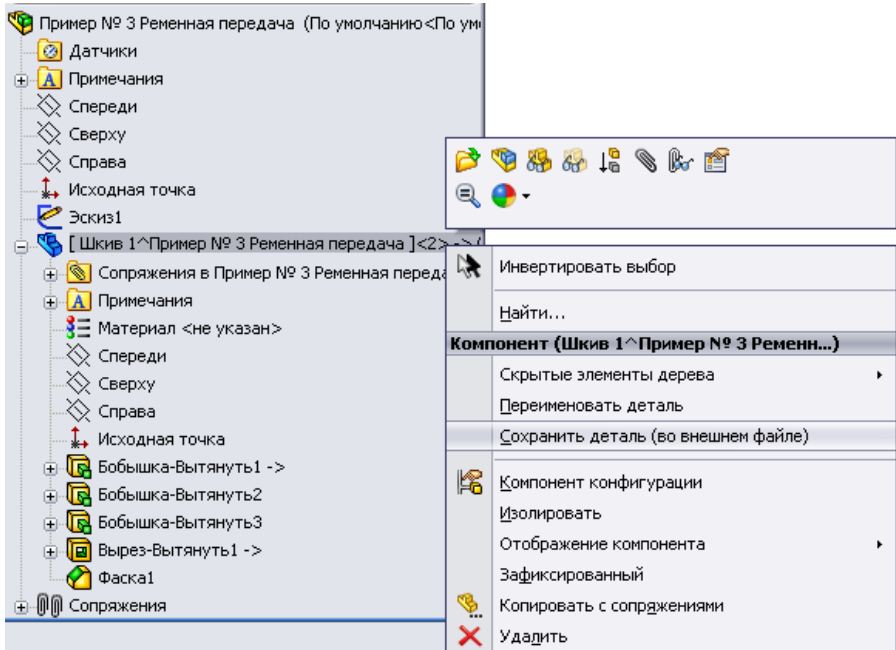


Рисунок 11.75 - Збереження віртуального компонента в окремому файлі

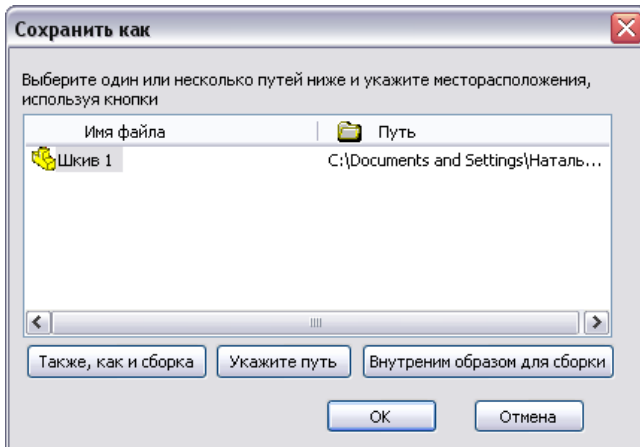


Рисунок 11.76 - Вказування шляху для збереження файлу

15. У режимі редагування цієї деталі виберемо в дереві конс-

труювання деталі площину «Спереди», на якій і оформимо ескіз ремня.

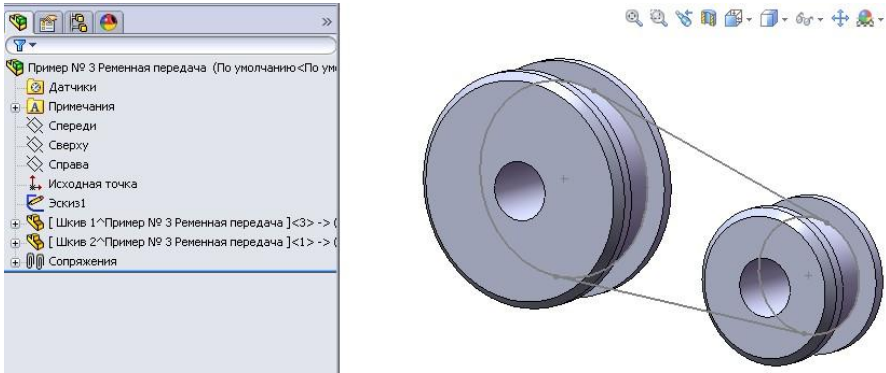


Рисунок 11.77 - Компонувальний ескіз і два сконструйовані шків

При побудові цього ескізу спочатку намалюємо ескіз, що повністю збігається з ескізом складання, при цьому задамо наступні взаємозв'язки:

- концентричність окружностей в ескізі ремня й ескізі складання;
- рівність окружностей в ескізі ремня й ескізі складання;
- дотичність ліній до окружностей в ескізі ремня.

16. Вилучимо дуги окружностей, не що брати участь у формуванні геометрії ремня (внутрішні частини дуг) (рис. 11.78).

17. Витягнемо контур ремня на 15 мм, використовуючи кнопку - «**Вытянутая бобышка/основание**». Витягнути ремінь потрібно як тонкостінний елемент - поставити прапорець «**Тонкостенный элемент**». Нехай товщина ремня буде 3 мм (рис. 11.79).

18. Закінчимо витягування ремня й вийдемо з режиму редагування деталі. Ми створили не тільки складання, але й складові її деталі **Шків 1, Шків 2 і Ремінь** (рис. 11.80).

Основна перевага складання «зверху-униз» полягає в тому, що при редагуванні ескізу складання відбувається автоматична зміна всього складання й деталей, що входять у нього. Розглянемо такий приклад зміни складання.

Перешликуємо компоувальний ескіз складання. Для цього в дереві конструювання кладемо правою кнопкою миші «**Эскиз1**» і ви-

беремо в контекстному меню команду «**Редактировать эскиз**». Увійдемо в ескіз і змінимо радіус Шківа1 з 50 до 100 мм, а також положення його центру щодо Шківа 2 (рис. 11.81).

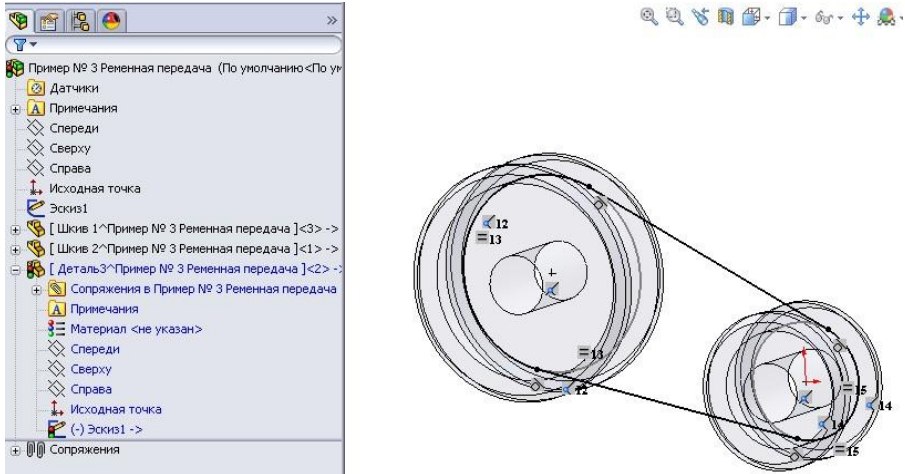


Рисунок 11.78 - Вилучення внутрішніх частин дуг

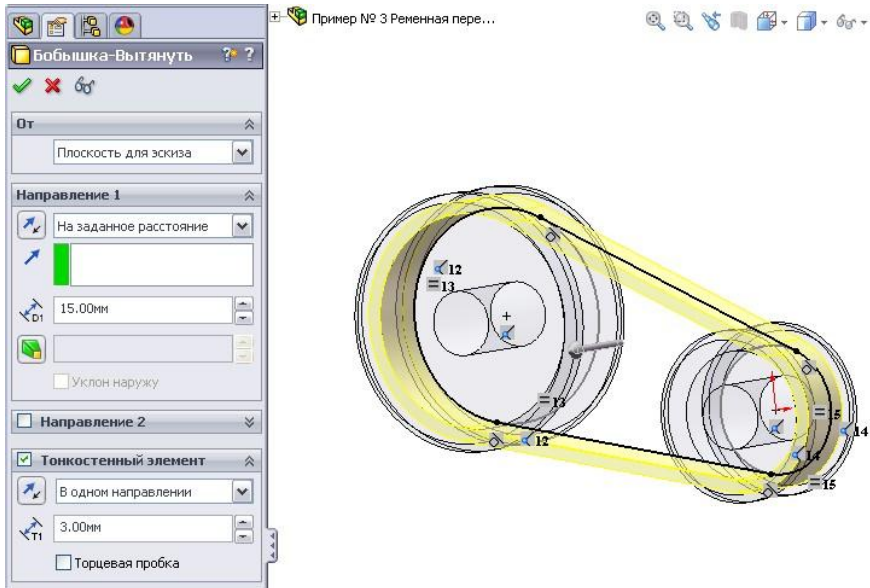


Рисунок 11.79 - Процесс створення ремня

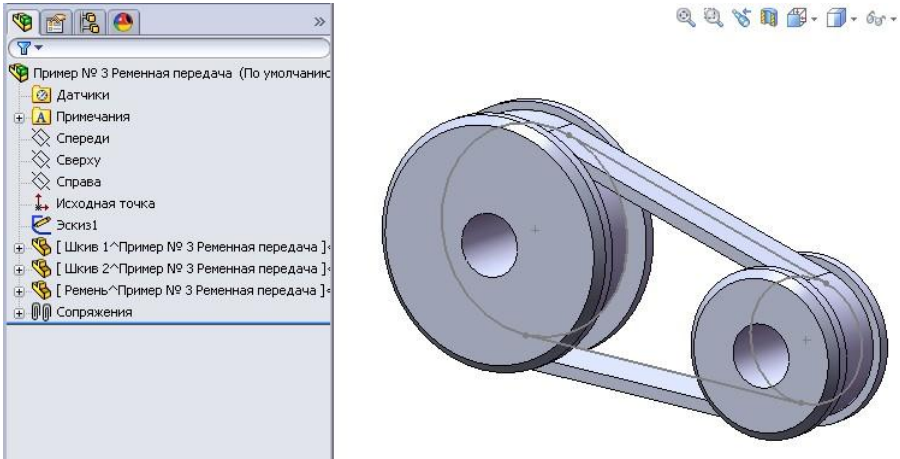


Рисунок 11.80 - Створене складання

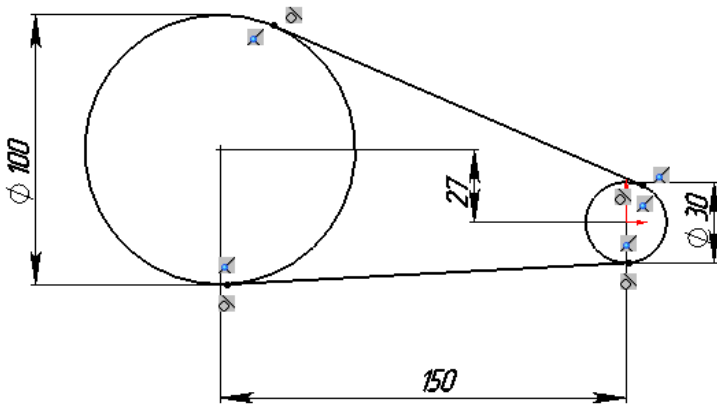


Рисунок 11.81 - Змінено радіус Шківа 1 і положення його центру

Потім просто вийдемо з ескізу. У результаті складання повністю перешикується. Одночасно зміняться файли деталей **Шків1** і **Ремінь** (рис. 11.82).

Отже на цій лекції, ми на конкретних прикладах розглянули основні способи побудови складань методом «знизу-нагору» і методом «зверху-униз». У наступних лекціях ми перейдемо до вивчення особливостей проектування ливарних форм в SolidWorks.

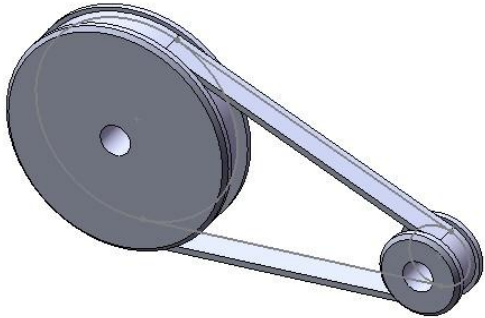
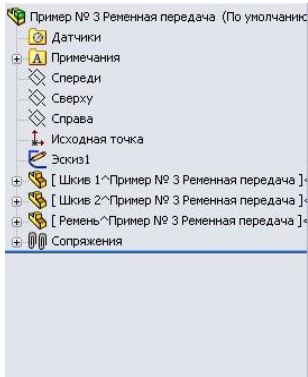


Рисунок 11.82 - Оновлене складання після зміни розмірів

### Питання для самоперевірки

1. Що є компонентами складання?
2. Назвіть основні види складань.
3. Які є основні принципи створення складань у САПР?
4. Розкажіть принцип побудови складання методом "зверху-униз".
5. Що таке змішаний тип складання?
6. Розкажіть принцип побудови складання методом "знизу-нагору".
7. Яка основна перевага побудови складання методом "зверху-униз"?
8. Назвіть стандартні сполучення для створення складання.
9. В яких випадках використовують сполучення «Симметричность»?
10. Назвіть додаткові типи сполучень для створення складання.
11. В яких випадках використовують сполучення «Расстояние»?
12. Назвіть механічні типи сполучень для створення складання.
13. Коли необхідно використовувати сполучення «Угол»?
14. Яке призначення Бібліотеки проектування стандартних деталей?
15. Як додати стандартну деталь у складальний простір?
16. Розкажіть загальний алгоритм створення дзеркального масиву компонентів у складанні.
17. Як зберегти елемент складання в окремому файлі?
18. Як відредагувати складання створене методом "зверху-униз"?

## РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

### Базова

1. Sham Tickoo. SOLIDWORKS 2018 for Designers, 16th Edition. Schererville : CAD/CIM Technologies, 2018. 1987 p.
2. SOLIDWORKS 2018. Learn by doing - Part 1: parts, assembly, drawings, and sheet metal. Tutorial Books, 2018. 532 p.
3. SOLIDWORKS 2018. Learn by doing - Part 2: surface design. Tutorial Books, 2018. 149 p.
4. Грабченко А. І., Доброскок В. Л. Сучасні технології матеріалізації комп'ютерних моделей. Х. : НТУ "ХПІ", 2009. 86 с.
5. Грабченко А. І., Доброскок В. Л. Теорія 3D моделювання: Навч. посібник. Х. : НТУ "ХПІ", 2009. 230 с.
6. Дударева Н. Ю., Загайко С. А. SolidWorks на примерах. СПб. : БХВ-Петербург, 2011. 496 с.
7. Проектирование автомобиля. Тольятти : Изд-во ТГУ, 2013. 260 с.

### Допоміжна

8. Гончаров П. С., Артамонов И. А., Халитов Т. Ф. NX Advanced Simulation. Инженерный анализ. М. : ДМК Пресс, 2012. 504 с.
9. Данилов Ю., Артамонов И. Практическое использование NX. М. : ДМК Пресс, 2011. 332 с.
10. Дударева Н. Ю., Загайко С. А. SolidWorks. Оформление проектной документации. СПб. : БХВ-Петербург, 2009. 384 с.
11. Ловыгин А. А., Твердовский Л. В. Современный станок с ЧПУ и CAD/CAM-система. М. : ДМК Пресс, 2015. 280 с.
12. Алямовский А. А. SolidWorks Simulation. Инженерный анализ для профессионалов : задачи, методы, рекомендации. М. : ДМК Пресс, 2015. 562 с.
13. Алямовский А. А. SolidWorks Simulation. Как решать практические задачи СПб. : БХВ-Петербург, 2012. 448 с.
14. Алямовский А. А. COSMOSWorks. Основы расчета конструкций на прочность в среде SolidWorks. М. : ДМК Пресс, 2010. 784 с.
15. Алямовский А. А., Собачкин А. А., Одинцов Е. В. SolidWorks 2007/2008. Компьютерное моделирование в инженерной практике. СПб. : БХВ-Петербург, 2008. 1040 с.

16. Потемкин А. Е. Трёхмерное твердотельное моделирование. М. : КомпьютерПресс, 2002. 296 с.
17. Потемкин А. Е. Инженерная графика. Просто и доступно. М. : Лори, 2000. 480 с.
18. Большаков В. П., Тозик В. Т., Чагина А. В. Инженерная и компьютерная графика: учеб. пособие. СПб. : БХВ-Петербург, 2013. 288 с.
19. Большаков В. П., Бочков А. Л. Основы 3D-моделирования. Изучаем работу в AutoCAD, КОМПАС-3D, SolidWorks, Inventor. СПб. : Питер, 2013. 304 с.
20. Большаков В. П. Инженерная и компьютерная графика. Практикум. СПб. : БХВ-Петербург, 2004. 592 с.
21. Gahan A. 3D automotive modeling : an insider's guide to 3D car modeling and design for games and film. Burlington : Elsevier Inc., 2011. 468 p.
22. Nikola Vukašinović, Jože Duhovnik. Advanced CAD modeling. Explicit, parametric, free-form CAD and Re-engineering. Cham : Springer Nature Switzerland AG, 2019. 260 p.
23. Агапов В. П. Метод конечных элементов в статике, динамике и устойчивости пространственных тонкостенных подкрепленных конструкций. М : АСВ, 2000. 152 с.
24. Большаков В. И., Яценко Е. А., Соссу Г. Основы метода конечных элементов. Днепропетровск : ПГАСиА, 2000. 255 с.
25. Галлагер Р. Метод конечных элементов. Основы. М. : Мир, 1984. 428 с.
26. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. М. : Мир, 1975. 540 с.
27. Образцов И. Ф., Савельев Л. М., Хазанов Х. С. Метод конечных элементов в задачах строительной механики летательных аппаратов. М. : Высш. шк., 1985. 392 с.
28. Сабоннадьер Ж. К., Кулон Ж. Л. Метод конечных элементов и САПР. М. : Мир, 1989. 190 с.
29. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов. М. : Мир, 1979. 395 с.
30. Стренг Г., Фикс Дж. Теория метода конечных элементов. М. : Мир, 1977. 351 с.
31. Алиева Н. П., Журбенко П. А., Сенченкова Л. С. Построение моделей и создание чертежей деталей в системе Autodesk Inventor. Саратов : Профобразование, 2017. 112 с.

32. Каменев С. В. Моделирование станка-гексапода в CAD-системе Autodesk Inventor. Оренбург : ОГУ, 2017. 142 с.
33. Kishore T. Learn Autodesk Inventor 2018 Basics: 3D Modeling, 2D Graphics, and Assembly Design. Hyderabad : Apress, 2017. 542 p.
34. Bob McFarlane. Autodesk Inventor exercises for Autodesk Inventor and other feature-based modelling software. New York : Routledge, 2017. 432 p.
35. Randy H. Shih. Autodesk Inventor 2019 and engineering graphics. Mission, KS : SDC Publications, 2018. 705 p.
36. Randy H. Shih. Parametric modeling with Autodesk Inventor 2018. Mission, KS : SDC Publications, 2017. 618 p.
37. Autodesk Inventor 2018 basics tutorial. Tutorial Books, 2017. 189 p.
38. T-FLEX CAD. Основы. 2D проектирование и черчение. Руководство пользователя. М. : Топ Системы, 2019. 1407 с.
39. T-FLEX CAD. Трёхмерное моделирование. Руководство пользователя. М. : Топ Системы, 2019. 1415 с.
40. Потемкин А. Е. Твердотельное моделирование в системе КОМПАС-3D. М. : БХВ-Петербург, 2004. 512 с.
41. АРМ FEM. Система прочностного анализа для КОМПАС-3D. Королёв : Научно-технический центр "Автоматизированное Проектирование Машин", 2014. 26 с.
42. Ганин Н. Б. Проектирование и прочностной расчет в системе КОМПАС-3D V13. Саратов : Профобразование, 2017. 320 с.
43. Денисов М. А. Автоматизированное проектирование в ANSYS и КОМПАС-3D. Екатеринбург, Изд-во Урал. ун-та, 2015. 264 с.
44. Жарков Н. В., Минеев М. А., Финков М. В. КОМПАС-3D. Полное руководство. От новичка до профессионала. Спб. : Наука и техника, 2016. 672 с.
45. Зиновьев Д. В. Основы проектирования в КОМПАС-3D V16. Павлоград : Студия Vertex, 2017. 327 с.
46. Конакова И. П. Шероховатости поверхностей и их практическое применение в программе КОМПАС. Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2014. 104 с.
47. Корнеев В.Р., Жарков Н. В., Минеев М. А. Компас-3D на примерах. Для студентов, инженеров и не только. Спб. : Наука и техника, 2017. 272 с.
48. Савченко Н. В. Автоматизация построения чертежей. Лабораторный практикум по инженерной и компьютерной графике в системе

- КОМПАС-3D. Самара : Изд-во СГАУ, 2015. 216 с.
49. Басов К. А. ANSYS : справочник пользователя. Саратов : Профобразование, 2017. 640 с.
  50. Chen Xiaolin, Liu Yijun. Finite Element Modeling and Simulation with ANSYS Workbench. Boca Raton : CRC Press, 2015. 408 p.
  51. David Moratal. Finite element analysis from biomedical applications. Valencia : Polytechnic University of Valencia, 2016. 507 p.
  52. Erdogan Madenci, Ibrahim Guven. The Finite element method and applications in engineering using ANSYS. New York : Springer International Publishing, 2015. 663 p.
  53. Farzad Ebrahimi. Finite element analysis new trends and developments. Iran : International University of Imam Khomeini, 2016. 408 p.
  54. Mary Kathryn Thompson, John M. Thompson. ANSYS Mechanical APDL for finite element analysis Oxford : Butterworth-Heinemann, 2017. 438 p.
  55. Saeed Moaveni. Finite element analysis. Theory and application with ANSYS. Essex : Pearson Education Limited, 2015. 929 p.
  56. Sham Tickoo. CATIA V5-6R2015 for designers. Hammond : CAD/CIM Technologies, 2016. 1630 p.
  57. CATIA v6 essentials. Sudbury : Jones and Bartlett Publishers, 2011. 305 p.
  58. Gaurav Verma, Matt Weber. Creo Parametric 4.0 Black Book. USA : CAD/CAM/CAE Works, 2017. 737 p.
  59. Paul Obiora Kanife. Computer aided virtual manufacturing using Creo Parametric. Notting Hill : Springer, 2016. 678 p.
  60. Creo Parametric 4.0 Basics. Tutorial Books, 2017. 311 p.
  61. Jouni Ahola. Creo Parametric Modeling for Manufacturing v3. Helsinki : Klaava Media, 2015. 750 p.
  62. Jouni Ahola. Creo Parametric Basic Turning. Helsinki : Klaava Media, 2015. 520 p.
  63. Jouni Ahola. Creo Parametric Milling. Helsinki: Klaava Media, 2015. 589 p.
  64. NX для конструктора-машиностроителя / П. С. Гончаров и др. Москва : ДМК Пресс, 2010. 504 с.
  65. Почекуев Е. Н., Путеев П. А., Шенбергер П. Н. Проектирование в Siemens NX технологических процессов изготовления деталей листовой штамповкой. Тольятти : Изд-во ТГУ, 2014. 230 с.
  66. Почекуев Е. Н., Путеев П. А., Шенбергер П. Н. Проектирование

- штампов для последовательной листовой штамповки в системе NX. М. : ДМК Пресс, 2012. 336 с.
67. Федоров А. Л., Сафонов М. В. Основы проектирования сборочно-сварочной оснастки с помощью пакета NX. Тольятти : Изд-во ТГУ, 2016. 68 с.
  68. Поляков А. Н. Разработка управляющих программ для станков с ЧПУ. Система NX. Фрезерование. Оренбург : Оренбургский гос. ун-т., 2016. 171 с.
  69. Поляков А. Н. Разработка управляющих программ для станков с ЧПУ. Система NX. Часть II. Оренбург : Оренбургский гос. ун-т., 2016. 118 с.
  70. Reiner Anderl, Peter Binde. Simulations with NX. Kinematics, FEA, CFD, EM and Data Management. With numerous examples of NX 9. Munich : Carl Hanser Verlag, 2014. 390 p.
  71. Sham Tickoo. Siemens NX 12.0 for Designers, 11th Edition. Schererville : CAD/CIM Technologies, 2018. 1140 p.
  72. Jože Duhovnik, Ivan Demšar, Primož Drešar. Space Modeling with SolidWorks and NX. Ljubljana : University of Ljubljana, 2015. 500 p.
  73. Рычков С. П. Моделирование конструкций в среде Femap with NX Nastran. М. : ДМК Пресс, 2013. 784 с.
  74. Бражникова О. И. Компьютерный дизайн художественных изделий в программах Autodesk 3DS Max и Rhinoceros. Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2016. 100 с.
  75. Фомин Б. Rhinoceros. NURBS моделирование для Windows. USA : Robert McNeel & Associates, 2006. 290 с.
  76. Andre Kutscherauer. 3D Car Modeling with Rhinoceros. Munich : AK3D, 2011. 624 p.
  77. Fletcher Dunn, Ian Parberry. 3D Math Primer for Graphics and Game Development. Plano, Texas : Word ware Publishing, Inc., 2002. 440 p.
  78. Joseph Richard Saltzman. Supermodels Professional 3D Training Tools. Buckinghamshire : Cinemagic Productions Limited, 1999. 970 p.
  79. Ron K.C. Cheng. Inside Rhinoceros 5. Stamford : Cengage Learning, 2014. 658 p.
  80. Ali K. Kamrani, Emad Abouel Nasr. Engineering Design and Rapid Prototyping. London : Springer Science+Business Media, LLC, 2010. 460 p.
  81. Ian Gibson, David Rosen, Brent Stucker. Additive manufacturing tech-

nologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing. New York : Springer Science + Business Media New York, 2015. 510 p.

82. Kuang-Hua Chang. Product design modeling using CAD/CAE. The computer aided engineering design series. Waltham : Elsevier Inc., 2014. 421 p.
83. Осипов В. И. Компьютерные технологии при проектировании и аэродинамических исследованиях легкового автомобиля. М. : МАДИ, 2018. 100 с.

### **Інформаційні ресурси**

84. 3D-моделирование: тонкости CAD-дизайна для 3D-печати. <https://3dtoday.ru/category/3d-modelirovanie> (дата звернення: 27.10.2019)
85. АСКОН - комплексные решения для автоматизации инженерной деятельности и управления производством. CAD/AEC/PLM. URL: <https://ascon.ru/products/7/review/>. (дата звернення: 10.10.2019)
86. Система NX (колишня назва - Unigraphics) компанії Siemens. URL: <https://www.plm.automation.siemens.com/global/ru/products/nx/>. (дата звернення: 10.10.2019)
87. Система CATIA. URL: <https://www.3ds.com/products-services/catia/>. (дата звернення: 10.10.2019)
88. Система SolidWorks. URL: <https://www.solidworks.com>. (дата звернення: 10.10.2019)
89. Welcom to ANSYS, Inc. – Corporate Homepage. URL: <https://www.ansys.com>. (дата звернення: 10.10.2019)
90. Система PTC Creo Elements/Pro (колишня назва Pro/ENGINEER) компанії PTC (Parametric Technology Corporation). URL: <https://www.ptc.com/en/industries/automotive>. (дата звернення: 10.10.2019)
91. Система Solidedge компанії Siemens. URL: <https://solidedge.siemens.com/ru/>. (дата звернення: 10.10.2019)
92. Система T-FLEX. URL: <http://www.tfex.ru/>. (дата звернення: 27.10.2019)
93. Система Autodesk Inventor. URL: <https://www.autodesk.com/products/inventor/overview>. (дата звернення: 27.10.2019)