

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 2 - змістовий модуль 1.

Загальні принципи створення твердотільних моделей деталей
та проведення інженерного аналізу проєктованих конструкцій у САПР

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 2 - змістовий модуль 1. Загальні принципи створення твердотільних моделей деталей та проведення інженерного аналізу проєктованих конструкцій у САПР / Укл. : О. М. Артюх, О. В. Дударенко, А. Ю. Сосик, А. В. Щербина. Запоріжжя : НУ "Запорізька політехніка", 2019. 118 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 2

Вступ	94
Тематичний план лекційних занять	96
Лекція № 4. Загальні принципи проведення інженерного аналізу проектованих конструкцій у САПР	99
Лекція № 5. Основні методи роботи у системі NX Siemens.....	120
Лекція № 6. Робота у системі SolidWorks. Створення ескізів	141
Лекція № 7. Загальні принципи створення деталей.....	166
Рекомендована література	203
Базова.....	203
Допоміжна.....	203
Інформаційні ресурси.....	208

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 застосовували 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 1. Загальні принципи створення твердотільних моделей деталей та проведення інженерного аналізу проєктованих конструкцій у САПР.

Тема 1. Вступ до курсу (2 год.)

Процес автоматизованого проєктування автомобіля. Формування вихідних даних. Розробка дизайн-проєкта. Конструювання та розробка конструкторської документації. Випробування та серійне виробництво.

Тема 2. Функціональні можливості сучасних САПР використовуваних у машинобудуванні (2 год.)

Загальні відомості про автоматизоване проєктування. Інтегровані CAD/CAE/CAM - системи. Твердотільне моделювання. Поверхневе й гібридне моделювання. Робота зі складаннями та в режимі креслення. Обмін графічною інформацією між програмами. Спеціалізовані програми 3D-моделювання.

Тема 3. Загальні принципи створення твердотільних моделей, ескізів та креслень у САПР (2 год.)

Обмеження двомірного проєктування. Перехід на тривимірне моделювання. Керування орієнтацією деталі. Відображення моделі в декількох вікнах. Загальні принципи 3D-моделювання деталей. Ескізи й операції. Створення елементів по перетинах. Створення кінематичних елементів. Створення 3D-моделі по її плоскому кресленню.

Тема 4. Загальні принципи проведення інженерного аналізу проєктованих конструкцій у САПР (2 год.)

Методи розв'язку рівнянь фізики в механічних САПР. Структурна механіка - лінійна та нелінійна задача. Аерогідродинаміка й теплопередача. Проєктування елементів механічних систем. Кінематика й динаміка. Листовий метал - розгорнення й заготовки. Світлотехнічний аналіз і проєктування.

Тема 5. Основні методи роботи у системі NX Siemens (2 год.)

Інтерфейс. Моделювання твердих тел. Моделювання поверхонь. Моделювання в контексті. Робота з листовим металом. Синхронна технологія. Робота зі складаннями. Основи NX Advanced Simulation. Виконання креслень. Робота із шаблонами. Візуалізація.

Тема 6. Робота у системі SolidWorks. Створення ескізів (2 год.)

Основні принципи побудови ескізів. Створення простого ескізу. Використання дзеркального відбиття об'єктів. Створення складного ескізу. Додавання округлень і фасок. Використання команд побудови масивів. Використання сплайнів в ескізах. Тривимірні ескізи.

Тема 7. Загальні принципи створення деталей (2 год.)

Основні способи побудови деталей. Додаткові можливості. Призматичні деталі. Деталі - тіла обертання. Деталі типу трубопроводів. Деталі складної конфігурації. Деталі на основі поверхонь.

ЛЕКЦІЯ № 4. ЗАГАЛЬНІ ПРИНЦИПИ ПРОВЕДЕННЯ ІНЖЕНЕРНОГО АНАЛІЗУ ПРОЕКТОВАНИХ КОНСТРУКЦІЙ У САПР

План лекції. Методи розв'язку рівнянь фізики в механічних САПР. Структурна механіка - лінійна та нелінійна задача. Аерогідродинаміка й теплопередача. Проектування елементів механічних систем. Кінематика й динаміка. Листовий метал - розгорнення й заготовки. Світлотехнічний аналіз і проектування.

Література: [8], [12] - [15], [23] - [30], [41] - [43], [49] - [55].

Зазвичай для попередньої оцінки міцності/працездатності конструкції інженер-конструктор застосовує інженерні підходи, засновані на представленні конструкції у вигляді простих вузлів і елементів, для яких існують аналітичні оцінки пошуку напружено-деформованого стану. До таких оцінок можна віднести використання найпростіших формул для пошуку напруг у балках при їхньому розтягуванні, вигині або крутінні, пошуку відносного подовження, моментів інерції, сил реакції тощо.

Інженер-конструктор змушений працювати з великою кількістю спеціалізованої літератури для пошуку необхідних виражень і законів. Дані підходи мають істотні обмеження при їхнім застосуванні до реальних складних конструкцій і сьогодні використовуються усе менше й менше в сучасних високотехнологічних виробництвах і конструкторських бюро.

При використанні систем чисельного аналізу, інженер одержує можливість моделювати конструкції й машини будь-якої складності з кожним необхідним (раціональним) ступенем деталізації. Для цього він використовує модулі CAE - тобто це інструменти для аналізу реального розподілу напруг і деформацій у конструкції, які дають інженерові можливість працювати з різними додатками, залишаючись у єдиному середовищі проектування (CAD-середовищі).

Зокрема в системі середнього рівня **SolidWorks**, це **розрахункові модулі сімейства Simulation**: власне це сам Simulation (раніше він мав назву CosmosWorks), Flow Simulation (раніше -

CosmosFloWorks) і SolidWorks Motion (раніше CosmosMotion).

У системі високого рівня **NX**, яка на сьогодні стає стандартом в автомобільному проектуванні, це **модуль Advanced Simulation** побудований на базі промислового вирішувача Nastran. Причому в САПР NX, розроблювачами від самого початку була передбачена масштабованість модуля Advanced Simulation. Такий підхід у розробці системи дозволяє вирішувати як дуже прості, так і самі складні завдання з різних областей механіки деформованого твердого тіла, механіки рідин і газів, механіки теплопереносу та ін.

Але, яка б складна система САПР не застосовувалася для проектування, сама процедура виконання інженерного аналізу (CAE) розробленої конструкції залишається однаковою, і схематично її можна представити у вигляді декількох етапів (рис. 4.1).

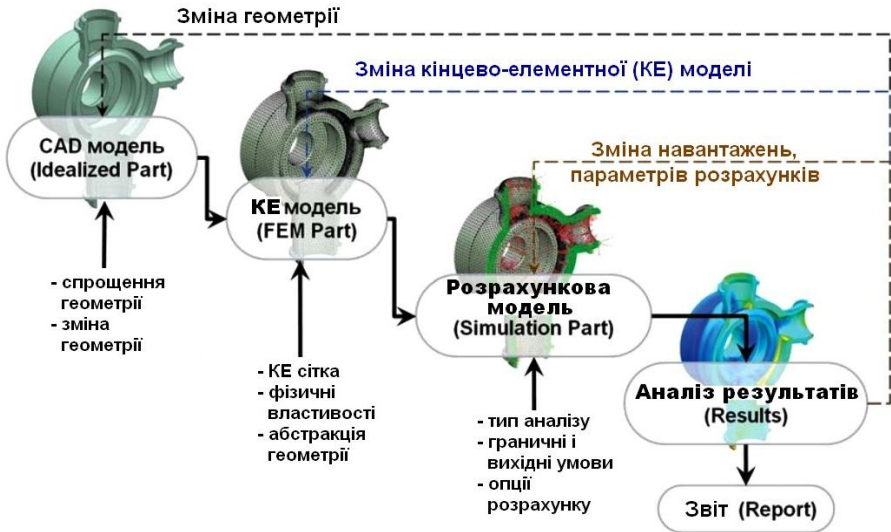


Рисунок 4.1 - Процес інженерного аналізу розробленої конструкції

Окремо слід зауважити, що **при виконанні будь-яких кінцево-елементних розрахунків в САПР, необхідно чітко розуміти фізику розглянутого процесу**, тому що програмний продукт використовує тільки дані введені інженером-конструктором, та внутрішні вирішувачі (математичні алгоритми). У випадку некоректно поставленої користувачем задачі, отримане кінцеве рішення буде неточним або й взагалі

невірним! Отже треба розуміти не тільки креслення, 3D-моделювання, але й такі науки як математика, фізика, конструкційні матеріали, опір матеріалів. Згідно наведеної вище схеми (рис. 4.1), розглянемо більш детально процедуру виконання інженерного аналізу (розрахунку) розроблюваних конструкцій методом кінцевих елементів.

При цьому в ході створення моделі й виконання розрахунків створюються файли, які містять певні типи даних про розрахункову модель. Для ефективної роботи в САПР, необхідно чітко розрізняти, які дані зберігаються в певному файлі і який файл повинен бути активним при створенні й роботі з розрахунковою моделлю.

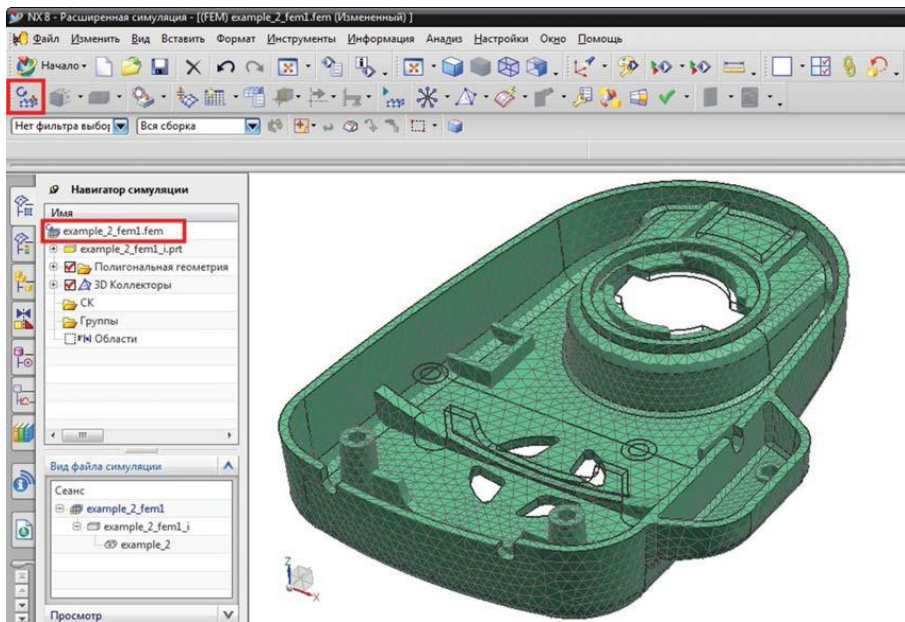


Рисунок 4.2 - Загальний вигляд кінцево-елементної сітки розроблюваної CAD-моделі деталі

Нижче приводиться опис кожного етапу створення розрахункової моделі.

1. Створення ідеалізованої геометричної моделі (Idealized Part). Для ефективного застосування методу кінцевих елементів (КЕ), повинна бути побудована коректна й максимально проста геометрична модель. Для цього необхідно провести ідеалізацію (спрощення) ви-

хідної геометрії майстер-моделі. Тобто рекомендується виключити всі геометричні елементи, які приводять до ускладнення розрахункової моделі (технологічні отвори, скруглення, фаски), але істотно не впливають на очікувані результати виконуваних розрахунків. Якщо у вихідній геометрії присутні видимі поверхневі дефекти, то слід перебудувати відповідні геометричні елементи, для цього в САПР є відповідні інструменти.

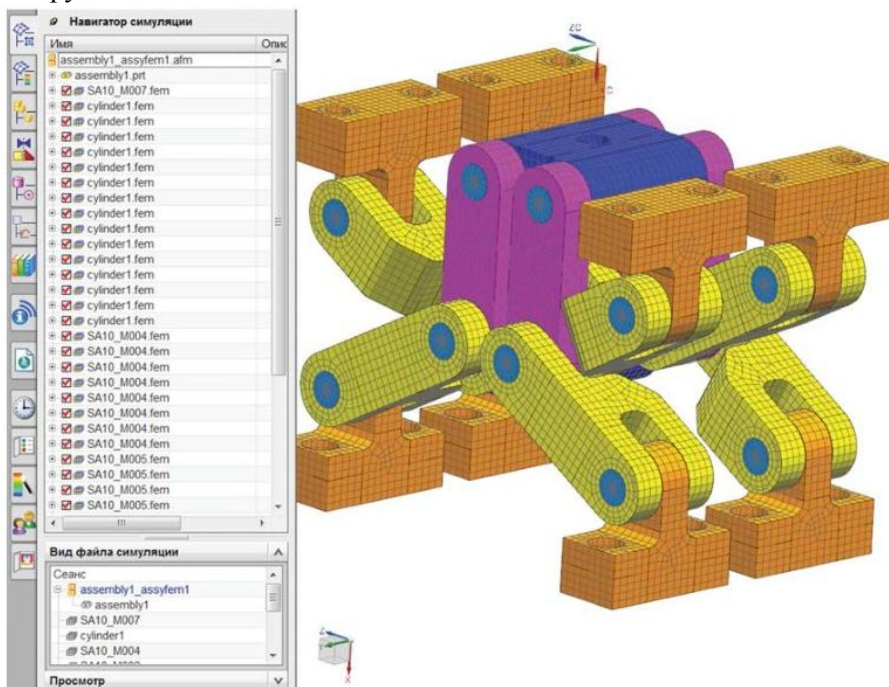


Рисунок 4.3 - Приклад кінцево-елементної сітки CAD-моделі складання

Виконання ідеалізації геометрії (тобто зміна геометрії або спрощення) реалізується без зміни майстер-моделі. Система автоматично створює ідеалізовану геометричну модель, для якої створюється спеціальний файл KE моделі.

2. Створення KE-моделі (FEM Part). Для кінцево-елементної моделі (KE-моделі), створюється спеціальний файл, який наприклад може мати розширення *"*.fem"*. Крім побудови безпосередньо KE сітки, у даному файлі задаються й зберігаються фізичні властивості час-

тин моделі, такі як властивості матеріалів або параметри оболонкових і стрижневих елементів.

Геометрія в створеному файлі FEM є полігональною, тобто складається з фасетів, вершин і ребер. Надалі саме полігональна геометрія використовується для завдання спеціалізованих правил генерації сітки, таких як кількість або розмір елементів на геометричному об'єкті, абстракція геометрії.

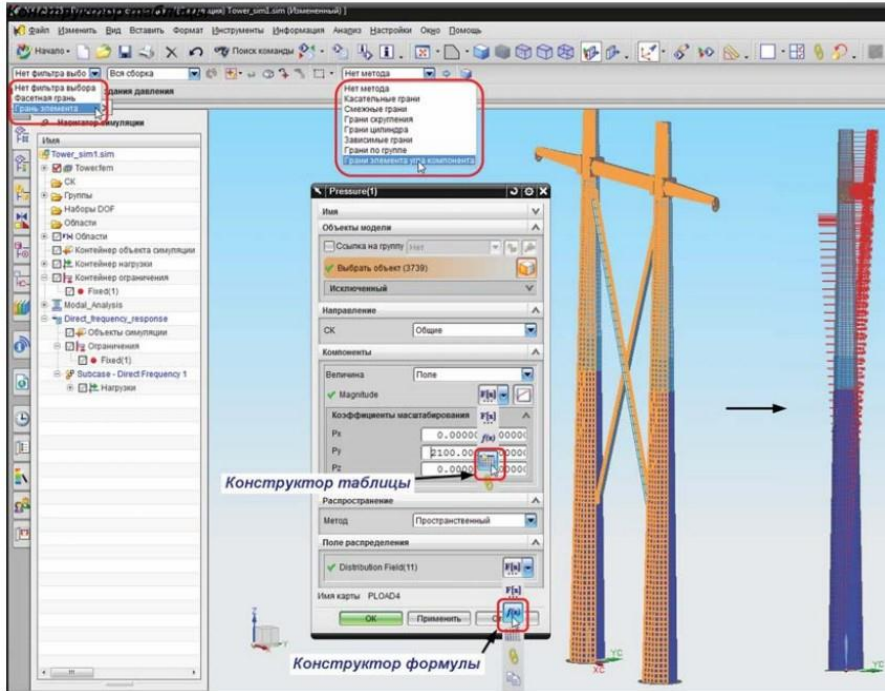


Рисунок 4.4 - Приклад завдання навантажень та граничних умов кінцево-елементної моделі

При цьому файл FEM асоціативно пов'язаний з ідеалізованою геометрією, тобто може бути оновлений автоматично у випадку внесення змін у вихідну або ідеалізовану геометрію.

Спеціальні CAE-модулі дозволяють проводити чисельне моделювання не тільки для окремих елементів конструкцій, але й для декількох деталей, об'єднаних у єдине складання. У цьому випадку структура розрахункового складання (Assembly FEM або AFEM) небагато

відрізняється від структури розрахункової моделі.

В залежності від типу САПР, для створення кінцево-елементної моделі складання, попередньо створюються КЕ моделі кожної з деталей, а потім створюється КЕ модель складання AFEM, де всі КЕ моделі деталей поєднуються в єдине складання.

При цьому позиціонування КЕ моделей окремих деталей відносно одне одного в складанні, відбувається автоматично відповідно до їхнього вихідного положення в САД-складанні. У разі відсутності вихідного САД-складання, можна використовувати спеціальні інструменти для позиціонування КЕ моделей окремих деталей вручну.

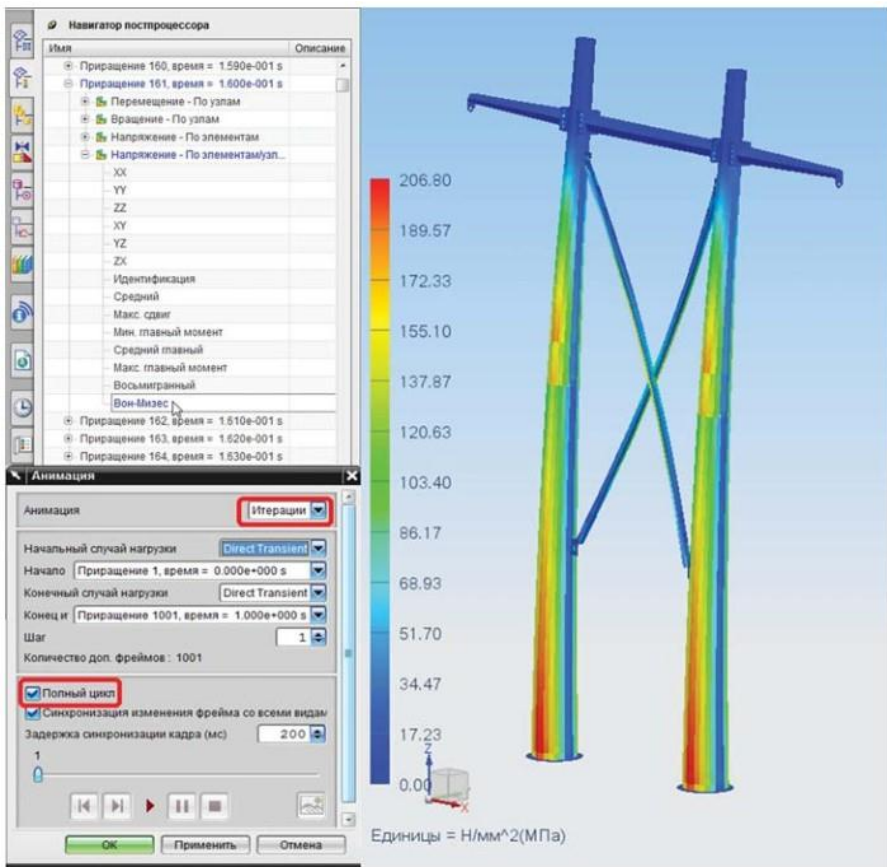


Рисунок 4.5 - Приклад отриманих результатів розрахунків для аналізу

3. Створення розрахункової моделі (Simulation Part). Спеціальний SIM файл - містить інформацію про постановку розрахункового завдання. Тобто на даному етапі для розробленої KE моделі визначаються граничні й початкові умови, умови можливої контактної взаємодії, один або кілька типів аналізу, а також опції вирішувача.

Створений файл симуляції з розширенням "*.sim" містить усі параметри й властивості поведінки конструкції, розрахункових випадків, налаштування вирішувача, такі як тип рішення, крок розрахунку, об'єкти симуляції (контактні граничні умови та ін.), навантаження, обмеження, фізичні властивості, створені при перезаписі таблиць фізичних властивостей. Існує можливість створювати кілька файлів симуляції SIM, асоціативно пов'язаних з одним файлом FEM.

4. Чисельне рішення завдання (Solution). Цей етап не вимагає особистої участі інженера, але звичайно супроводжується так званим моніторингом ходу рішення.

Для виявлення проблем з розрахунком, на ранньому етапі необхідно стежити за збіжністю вирішувача, за збіжністю контактного алгоритму, за нелінійною або нестаціонарною історією розрахунку. У випадку виявлення розбіжності розрахунку або інших проблем, завдання можна перервати й внести корективи у файли FEM або SIM.

5. Аналіз отриманих результатів (Results). Після одержання коректних результатів, які записуються у спеціальний файл (наприклад для вирішувача NX Nastran - файл OP2), вони аналізуються, будуються необхідні графіки й діаграми розподілу напружень, складається звіт.

Далі на цій лекції ми коротко розглянемо особливості використання системи SolidWorks як універсального середовища моделювання та аналізу.

SolidWorks спочатку створювався як система твердотільного параметричного моделювання. Програма містить всю необхідну номенклатуру інструментів, причому деякі можливості вкрай ефективні для розробки об'єктів, орієнтованих на подальше використання програм розрахунку. Це проектування виробів з листового матеріалу, зварні деталі. Вони дозволяють отримати моделі, вельми близькі до вимог даних інструментів. Підмножина функцій, орієнтованих на роботу з криволінійними об'єктами: інструменти сплайнів, команди створення тіл, що мають криволінійні поверхні, процедури забезпечення гладко-

сті, побудови сполучень, дозволяють - в абсолютній більшості випадків - з прийнятною точністю готувати моделі для аерогідродинамічного аналізу або світлотехніки (в задачах розрахунку на міцність якості представлення поверхні менш важливий фактор).

У середу проектування SolidWorks також вбудований модуль інженерного аналізу, що дозволяє виконувати структурний і тепловий аналіз, аналізувати кінематику і динаміку, розраховувати аерогідродинаміку і теплоперенос, виконувати світлотехнічний аналіз, проектування відбивачів; для моделювання елементів трансмісій призначений модуль GearTrax.

Навіть перерахувати всі можливості SolidWorks, які можуть бути корисні при створенні розрахункових моделей, дуже важко. Тому краще всього звернутися до документації програми самої останньої версії, оскільки в кожен новий реліз програми, розробники крім виправлення помилок в минулих релізах, додають нові функції.

SolidWorks володіє найрізноманітнішими можливостями для створення і модифікації збірок. Розрахункові додатки, відповідно, що функціональність враховують. Як і для моделей твердотільних і поверхневих деталей, відповідальність за коректну підготовку вихідних даних для збірок покладається на CAD-систему.

Це означає, що взаємне положення деталей, як в сенсі геометрії, так і в тому, що стосується призначення параметрів їх взаємодії у фізичній моделі, має визначатися за допомогою сполучень. В явному вигляді вони ні в одну програму, за винятком COSMOSMotion, не транслюються. Розрахункові модулі мають справу виключно з геометрією, але не з семантикою.

COSMOSMotion в даному ряду є винятком. Його математичний апарат допускає відсутність в моделі збірки зв'язку між деталями, але при цьому операції, по суті ідентичні тим, які виконуються в SolidWorks, доведеться виробляти в процесі формування механізму. Після запуску розрахунку програма повинна буде "зібрати" збірку відповідно до логіки, визначеної в з'єднаннях COSMOSMotion.

Методи розв'язку рівнянь фізики в механічних САПР.

Фізичні процеси, що характеризують напружено-деформований стан твердих тіл, рух і теплообмін текучого середовища, моделюються за допомогою рівнянь. При математичному моделюванні різних фізичних процесів в середовищі SolidWorks, для вирішення рівнянь на-

пружено-деформованого стану твердих тіл - в COSMOSWorks, і для вирішення рівнянь руху і теплообміну текучого середовища - в COSMOSFloWorks, використовуються два методи: метод скінченних елементів і метод кінцевих об'ємів.

Метод скінченних елементів (MCE) - в даний час є стандартом при вирішенні задач механіки твердого тіла за допомогою чисельних алгоритмів. Популярний свого часу метод кінцевих різниць, а також претендувавший на універсальність метод граничних елементів (граничних інтегральних рівнянь) зараз займають досить вузькі ніші, обмежені дослідними або спеціальними завданнями. MCE зайняв лідируюче положення завдяки можливості моделювати широке коло об'єктів і явищ. Абсолютна більшість конструктивних елементів, вузлів і конструкцій, виготовлених з найрізноманітніших матеріалів, що мають різну природу, можуть бути розраховані за допомогою MCE.

При цьому, зрозуміло, потрібно враховувати неминучі при будь-якій чисельній апроксимації умовності і похибки. Тому питання відповідності між розрахунковою моделлю і реальністю є, мабуть, основним при використанні програм аналізу.

Незважаючи на те, що такі програми мають більш-менш докладну документацію, вони все одно залишаються певною мірою чорними ящиками. Це означає певну непередбачуваність результатів, а також деяке "свавілля" в їх інтерпретації.

Отже, **якість висновків**, прийнятих на основі результатів, **цілком залежить від рівня кваліфікації** того, хто проводить розрахунок, а також, стосовно розрахунку на міцність, принципового знайомства з основами MCE. На цю тему опубліковано чимала кількість спеціалізованої літератури.

Метод кінцевих об'ємів є спрощеним, а отже, більш швидкодіючим, варіантом методу скінченних елементів (хоча розробники методу скінченних об'ємів його таким не вважали, він був розроблений як альтернатива методу скінченних різниць, а застосування методу скінченних елементів для газогідродинамічних розрахунків було розпочато пізніше), а консервативні схеми методу скінченних різниць є варіантами методу скінченних об'ємів на регулярній розрахунковій сітці, пов'язаної з використовуваною системою координат.

Ми розглядаємо ці методи стосовно завдань механіки деформованого твердого тіла, і в даному курсі лекцій не передбачено поглиблене вивчення математичної складової цих методів рішення. Оскільки

метою інженерної діяльності є створення "найкращих" конструкцій. А вона досягається, взагалі кажучи, за допомогою декількох інструментів.

Перший - це дотримання певних нормативів і стандартів, в яких закладено досвід "попередніх поколінь". Ці джерела створювалися різними шляхами: систематизацією досвіду, експериментальним відпрацюванням, не виключені і випадки, коли аргументи розробників стандартів не дуже легко зрозуміти. Проте в переважній більшості ситуацій дотримання нормативів є найбільш надійний шлях. Також конструктори використовують інженерну інтуїцію, практичні навички, досвід попередніх розробок. Іноді цей шлях дає непогані результати, особливо коли вирішуються концептуальні питання-алгоритми генерації нових знань, незважаючи на певний прогрес в деталях, до сих пір невідомі.

Другий спосіб створення "кращих" виробів - це використання алгоритмів оптимального проектування. Зрозуміло, що найбільш підходящим варіантом є спільне використання всіх засобів.

Структурна механіка - лінійна задача (COSMOSWorks).

COSMOSWorks - це програмне забезпечення для вирішення завдань розрахунку на статичну міцність і стійкість в лінійній та нелінійній постановці, виділення власних частот, оптимізації форми деталей і складань в лінійній постановці, аналізу втоми і поведінки конструкції при падінні.

COSMOSWorks позиціонується як інструмент "інженерного" аналізу, тобто передбачається, що для фахівця-розраховувача потрібні більш "серйозні" розрахункові системи. Однак, як показує практика використання COSMOSWorks, переважна частина повсякденних завдань вітчизняного машинобудування (в тій їх частині, яка в принципі "підходить" для програм чисельного аналізу), може бути вирішена за допомогою даної програми. Більше того, раціональний інтерфейс і розумно обмежена функціональність дають інженеру можливість зосередитися на проектуванні, не відволікаючись на властиві "універсальним" пакетам подробиці. Як правило, запорукою створення вдалої конструкції є кваліфікація виконавця, а розрахункові програми використовуються для перевірки того, що вийшло, а також надають матеріал для подальших спроб. У цьому випадку застосування інструментів, інтегрованих в конструкторські програми, дозволяє перебирати

варіанти з мінімальними втратами часу на виконання рутинних операцій. COSMOSWorks дозволяє виконувати наступні види моделювання:

- статичний аналіз з розрахунком окремих деталей по просторовій або оболонковій моделі, а також складань в тривимірній постановці з урахуванням взаємодії деталей;
- розрахунок власних частот і відповідних їм форм для деталей у твердотільному або оболонковому поданні, а також складань з нерухомими деталями;
- розрахунок величин критичних навантажень втрати стійкості і відповідних їм форм для деталей в твердотільному або оболонковому поданні, а також збірок з нерухомими деталями;
- тепловий розрахунок з урахуванням явищ теплопровідності, конвекції, випромінювання, але без урахування руху середовищ;
- аналіз термопружності на базі результатів теплового розрахунку;
- параметрична оптимізація за критерієм мінімізації / максимізації маси, об'єму, власних частот і критичної сили;
- імітація деформування конструкції з урахуванням фізичної і геометричної нелінійності, а також з огляду на зміни навантажень і температури в часі;
- моделювання ефекту падіння конструкції на жорстку або пружну поверхню;
- втомний розрахунок з урахуванням кривих втоми, форми кривої навантаження, а також лінійної гіпотези підсумовування пошкоджень.

Послідовність розрахунку.

COSMOSWorks вимагає дотримання базової канви алгоритму методу скінченних елементів, надаючи всередині кожного етапу певну свободу в послідовності кроків підготовки моделі та розгляду результатів. Для розрахунку моделей в твердотільному поданні передбачена послідовність дій описана нижче.

1. Створення аналізу певного типу і визначення його параметрів. Останні можуть бути змінені в будь-який момент перед виконанням розрахунку.

2. Заповнення, якщо необхідно, таблиці параметрів, що визначає набір величин, які можуть змінюватися (конкретно - для яких можуть призначатися списки значень) в ході розрахунку.

3. Підготовка вихідних даних всередині заданого аналізу:
 - призначення матеріалу деталі або деталей;
 - призначення кінематичних граничних умов;
 - призначення статичних граничних умов;
 - призначення контактних граничних умов, якщо розраховується складання або деталей з декількох тіл;
 - створення сітки.
4. Зв'язування, в разі необхідності, параметрів з таблиці параметрів з відповідними аналізами.
5. Виконання розрахунку.
6. Обробка результатів:
 - створення необхідних діаграм;
 - аналіз діаграм;
 - експорт результатів.

Структурна механіка - нелінійна задача (COSMOSWorks).

Модуль нелінійного аналізу COSMOSWorks призначений для вирішення завдань механіки з урахуванням фізичної нелінійності середовищ і геометричної нелінійності об'єктів, зокрема оболонкових.

Типові види і джерела нелінійності в структурній механіці такі:

- **геометрична нелінійність**, пов'язана з тим, що вплив переміщення елементів механічної системи на величину або напрямок дії граничних умов (сил і затискань), а також на властивості самої конструкції стає значним у порівнянні з тим, коли ці явища не враховуються. Один з прикладів - розрахунок прогину опертої по краях пластини під дією розподіленого тиску. Коли величина прогину перевищує половину товщини пластинки, то лінійне рішення призводить до значної похибки (в алгоритмі, реалізованому в COSMOSWorks, враховується та його компонента, яка обумовлена зміною площі під навантаженням). Інший приклад пов'язаний з моделюванням втрати стійкості. Якщо для тонкої довгої пластини при дії стискаючої сили лінеаризований підхід дає прийнятне рішення, то навантаження дугової арки нормальною до поперхні силою призводить до переходу системи в новий рівноважний стан;
- **фізична нелінійність матеріалів** - вона виражається в залежності характеристик пружності матеріалу від історії наван-

- таження. Наприклад, це нелінійність кривої "напруга - деформація" (пластичність) або залежність деформації від часу (в'язкопружність, повзучість);
- **контактна нелінійність** - при аналізі складань може зустрічатися кілька ситуацій, здатних призводити до відхилення від лінійної реакції системи на вплив. По-перше, це ефекти, що виникають на кордоні контакту тіл при вході їх в контакт, коли навіть невелике навантаження в початковий момент передається через відносно малу площу. Як наслідок, в цій зоні можлива істотна зміна форми. По-друге, зустрічаються моделі, що мають деталі, здатні переміщатися "майже" як жорстке ціле. Багато роз'ємних з'єднань, будучи включені в якесь складання, породжують такі розрахункові випадки. Схожі наслідки здатні спричинити використання сполучних елементів COSMOSWorks. Ще одне потенційне джерело нелінійності при розрахунку складань - контактне тертя. Починаючи з версії 2007 року, в COSMOSWorks, дозволяє одночасно враховувати фізичну нелінійність та тертя.

Аерогідродинаміка й теплопередача.

Розрахунковий модуль Flow Simulation (раніше він називався COSMOSFloWorks, а до 2002 року просто FloWorks) повністю інтегрований в систему SolidWorks і призначений для моделювання аеродинамічних і теплових процесів. Він в першу чергу, призначений для використання в галузях промисловості з коротким циклом розробки (радіоелектронна, виробництво трубопровідної арматури, проектування вентиляції і теплообміну в житлових і виробничих приміщеннях тощо). У порівнянні з традиційними пакетами CFD (вирішення задач обчислювальної аеро- і гідродинаміки), цей продукт, безумовно, має важливі переваги:

- завдання вихідних даних і перегляд результатів безпосередньо у вікні графічного проектування;
- можливість використання інженером, а не CFD-спеціалістом;
- мінімальний час на підготовку вихідних даних і аналіз отриманих результатів.

Необхідність застосування модуля Flow Simulation в інженерній практиці виникає в разі проведення розрахунків течій текучих середовищ (газів і рідин). А у випадку інженерно-технічного проектування,

такі завдання виникають дуже часто. Наприклад, в таких випадках.

Для розрахунку силового (стаціонарного або нестаціонарного) впливу текучого середовища на обтічне нею тіло або його елементи, наприклад, в наступних випадках.

Тіло нерухоме, а середовище рухається:

- вітрові навантаження на споруди, наприклад, будівлі, телевежі, труби, мости, рекламні щити і т.п.;
- для визначення міцної стійкості споруд до дії таких навантажень;
- сили, що приводять у рух тіла, наприклад, вітрила кораблів, повітряні змії, рухливі деталі лічильників води, регулятори тиску, вітроенергетичні установки, сопла двигунів і т.п., - для визначення руху тіл під дією цих сил;
- сили і моменти, які необхідно долати при управлінні різними тілами, наприклад трубопровідною арматурою - затворами, вентилями, клапанами. У разі великих розмірів цієї арматури (гідроелектростанції, магістральні трубопроводи і т.п.) Ці сили і моменти можуть бути значними.

Середина нерухоме, а тіло рухається:

- сила опору, підйомна, бічна та інші сили впливу текучого середовища на рухомі в ній (наприклад, що рухаються по твердій або рідкій поверхні, що летять в атмосфері або пливають під водою) тверді тіла (автомобілі, поїзди, літаки, планери, дирижаблі, ракети, снаряди, підводні човни і т.п.).

Рухаються тіло і середовище:

- різні насоси, турбіни, крильчатки, шнеки, вентилятори, мішалки - необхідно, наприклад, визначити зусилля (моменти), які до цих тіл треба докласти, щоб забезпечити задану швидкість їх обертання; або навантаження (сили), що діють на елементи цих пристроїв (наприклад, на лопатки турбіни), з метою подальшої оцінки їх міцної стійкості до дії цих навантажень.

Для розрахунку силового (стаціонарного або нестаціонарного) впливу твердого тіла на текучу середу, наприклад:

- силового впливу каналу на середу що протікає через цей канал, тобто сили гідравлічного опору каналу;
- втрати повного тиску потоку при проходженні через трубопровідну арматуру (клапани, вентиля, коліна, звуження, роз-

- ширення, трійники і т.п.);
- витрати плинного середовища через насоси, компресори, крильчатки, шнеки, вентилятори в результаті впливу на це середовище рухомих частин цих пристроїв;
- перемішуючого впливу твердого тіла на склад текучого середовища, тобто наприклад визначення часу, за який дві раніше окремі рідини будуть повністю перемішані одна з одною в посудині до заданої однорідності за допомогою обертової мішалки;
- визначення відстані, на якому дві рідини, що надійшли в канал даного середовища, змішуються одна з одною до заданої однорідності.

Для розрахунку впливу різних фізичних факторів на склад і рух текучого середовища:

- визначення ефективності витяжної і/або припливної вентиляції (наприклад, в хімічній лабораторії) з урахуванням сил плавучості;
- визначення ефективності нагріву (охолодження) повітряного середовища в приміщенні (кімнаті, салоні) системою кондиціонування (штучного клімату) і формованих цією системою повітряних потоків в цьому приміщенні, розподілу відносної вологості по приміщенню;
- закипання рідин, вплив закипання на гідравлічний опір і теплообмін у каналах;
- зміни опору каналів і тіл;
- визначення місця розташування кавітаційних областей.

Для вирішення завдань сполученого теплообміну:

- визначення ефективності нагріву або охолодження твердих тіл текучим середовищем, наприклад в системах проточного зовнішнього охолодження (камерах згоряння двигунів, соплах ракетних двигунів);
- в системах вимушеного проточного і вільно-конвективного охолодження (наприклад, процесорів і різних пристроїв в комп'ютерах);
- визначення ефективності нагріву або охолодження текучого середовища твердими тілами;
- в теплообмінниках (хімічні виробництва, радіатори, апарати дистиляції і т.п.);

- в системах кондиціонування (штучного клімату).

Для розрахунку руху твердих та/або рідких частинок в потоці газу:

- визначення ефективності уловлювання частинок різними пристроями (циклонами та ін.);
- визначення ефективності розгону часток різними пристроями (піскоструйками та ін.);
- визначення ерозії твердих тіл в результаті випадання на них частинок (різної трубопровідної арматури, використовуваної в нафтовидобутку; лопаток та інших деталей компресорів, що працюють в запиленій атмосфері; сопел ракетних двигунів, що працюють на металізованих паливах і т.п.);
- визначення налипання крапель на тверді тіла (в металургії на фурмах конвертерів, в порошкової металургії при виробництві порошків металів).

Сьогодні для вирішення деяких з перерахованих вище завдань можна обійтися без проведення складних розрахунків з вирішенням диференціальних рівнянь течії і теплообміну (наприклад, рівнянь Нав'є-Стокса). Оскільки паралельно з розвитком техніки розвивалися також інженерні методи оцінки потрібних для інженерної практики величин, тобто методи які не потребують вирішення диференціальних рівнянь. Наприклад, опір труб течії однорідного середовища визначається за допомогою досить простих напівемпіричних залежностей.

Щоб розрахувати фізичний процес, тобто зміну фізичних параметрів в просторі і часі, його треба спочатку математично змодельовати. Оскільки фізичні процеси - це результат дії законів фізики, то найбільш адекватні фізичним процесам математичні моделі, являють собою систему що відображає закони фізики диференціальних і/або інтегральних рівнянь (із залученням, якщо треба, напівемпіричних і емпіричних констант і залежностей) з граничними і початковими умовами, прив'язують дану математичну модель до поставленої конкретної фізичної (інженерної) задачі, тобто визначають дані фізичні процеси в цьому завданні.

Оскільки використовувані в математичній моделі системи диференціальних і/або інтегральних рівнянь зазвичай не мають аналітичного рішення, вони зводяться до дискретного виду і вирішуються на деякій розрахунковій сітці. Зрозуміло, що рішення математичної задачі істотно залежить як від способу дискретизації рівнянь, так і від спосо-

бу вирішення отриманих в результаті рівнянь.

Очевидно, рішення математичної задачі буде тим точнішим, чим краще розрахункова сітка дозволяє області нелінійного поведіння рішення рівнянь, що як правило досягається використанням меншої розрахункової сітки в цих областях. Таким чином, в основі COSMOSFloWorks, як і будь-якій іншій розрахунковій методиці (наприклад, COSMOSWorks), лежить, по-перше, математична модель фізичних процесів які розраховуються, і по-друге, спосіб вирішення поставленої математичної задачі.

Проектування елементів механічних систем.

Для проектування типових елементів конструкцій у SolidWorks є спеціалізовані додатки: Toolbox - містить базу стандартних деталей, процедури розрахунку балок і підшипників; GearTrax - призначений для створення моделей зубчастих зачеплень, а також елементів зубчастих коліс, коробок передач; інші модулі групи SolidWorks Office, це зокрема - Animator, FeatureWorks, PhotoWorks. Всі вони мають фірмову локалізацію. Елементи інтерфейсу Toolbox надаються тільки в російськомовному варіанті.

За допомогою SolidWorks Toolbox можна створювати лінійні або кругові кулачки, для яких користувач визначає як тип штовхача, так і траєкторію. Можливе призначення 14 типів руху, включаючи постійний, гармонійний, циклоїдний, постійну швидкість і прискорення, поліноми різного ступеня. Штовхач може здійснювати зворотно-поступальний рух ортогонально напрямку руху для лінійного кулачка, а для кругового - в радіальному напрямку. Можна задати напрямок руху під кутом до нормалі (радіусу), а також вважати штовхач таким що коливається.

В SolidWorks Toolbox включена процедура розрахунку балок. Вона пов'язана з базою даних "**Конструкционная сталь**", з якої Toolbox бере інформацію про геометричні параметри перерізів.

Можливості Toolbox, що пов'язані з балками, базуються на двох функціях: базі даних зі стандартними профілями і процедурі розрахунку балок. База містить стандарти ANSI, ISO, DIN тощо. У кожен з каталогів включені кілька типів профілів, які, в свою чергу, містять номенклатуру розмірів. Для профілів доступні масово-інерційні характеристики. Створення профілю має на увазі створення ескізу на поточній активній площині редагованої деталі і копіювання на цей ескіз

контуру профілю. Подальші дії повністю залежать від користувача.

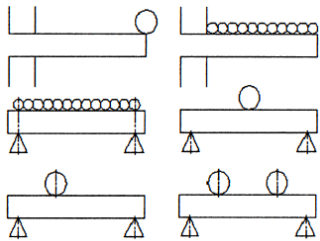


Рисунок 4.6 - Види статичних схем

Розрахунок балок заснований на застосуванні залежностей опору матеріалів, що мають на увазі недеформованість поперечного перерізу, лінійний розподіл напружень по висоті перерізу, відсутність поперечного зсуву. Причому ці гіпотези діють незалежно від співвідношення розмірів конкретного об'єкта. Доступні шість типів розрахункових схем (рис. 4.6). Дві з них - консольна балка з зосередженою силою на кінці і розподіленим по довжині навантаженням.

Решта - балка на двох опорах з однією або двома зосередженими силами і під дією розподіленого навантаження. Обчислювати можна як прогин, так і максимальне нормальне напруження.

Навантаження щодо перетину балки може бути зорієнтоване тільки в двох напрямках. SolidWorks включає в себе різноманітні інструменти для роботи з типовими об'єктами: конфігурації, стандартні елементи, деталі, складання з бібліотеки проектування. Найбільш універсальним засобом з точки зору організації конструкторської діяльності є Toolbox - модуль SolidWorks, призначений для управління базами стандартних елементів.

Toolbox містить базу даних типових елементів деталей - каналів, профілів прокату, а також базу стандартних деталей: кріплення, прокату, підшипників, штамтів і ущільнень, елементів трансмісій тощо, згрупованих у відповідності зі стандартами: ISO, DIN, JIS і т.д. База містить можливості поповнення. Тому в офіційну поставку входить бібліотека деталей ГОСТ (для країн СНД), розроблена фірмою SolidWorks Russia.

Кінематика й динаміка.

Для моделювання динамічних систем в середовищі SolidWorks призначений додаток COSMOSMotion. Оскільки продукт побудований на базі розробок фірми ADAMS, використовуваних, зокрема, в програмах лінії visualNastran і Dynamic Designer фірми MSC.

COSMOSMotion призначений для імітації руху механізмів з урахуванням кінематичних і силових факторів. Програма повністю

інтегрована в SolidWorks, функціонує на геометричній моделі SolidWorks, запис розрахункових параметрів і результатів також здійснюється в модель SolidWorks.

Ми не будемо детально розбирати можливості програми, обмежившись загальним описом її функціональності. Причина тут така. Розробники програми, в загалі не приховують великого числа "підводних каменів". На відміну від розглянутих раніше завдань міцності і аерогідродинаміки, тут видимий результат і фактичний стан речей відрізняються, як правило, незначно.

Тобто досить підібрати розумні параметри, що визначають точність і якість відображення результатів. Це твердження, звичайно, справедливо по відношенню до тих завдань, які в принципі "підходять" для цієї програми.

Помилки і похибки, як правило, досить просто ідентифікуються після анімації результату. Крім того, незважаючи на згадану актуальність програмних продуктів для аналізу кінематики і динаміки, фактична їх затребуваність зараз невелика.

Справа в тому, що якщо пару десятків років назад застосування складних механізмів було повсюдним, то тепер функції управління взяла на себе мікропроцесорна техніка, а приводи почали будуватися на базі контролерів. В результаті найскладніші рухи можуть бути реалізовані системами, цілком елементарними з точки зору кінематики.

Тому проектування руху звелось до програмування в тій чи іншій його формі. Область же застосування програм звузилася до розрахунку силових факторів, що діють в механізмах. Не слід також забувати і про власні можливості SolidWorks по симуляції кінематики.

Листовий метал - розгорнення й заготовки.

Завдання проектування виробів з листового металу в практиці конструктора зустрічається досить часто. Його особливість в тому, що воно найтіснішим чином пов'язане з питанням технологічної можливості бути реалізованим на даному підприємстві.

Функціональність, наявна в SolidWorks, дозволяє моделювати форми, що допускають отримання точних в геометричному сенсі розгорток, а також деяких типів наближених і умовних розгорток. Спеціальний додаток до SolidWorks - BlankWorks, здатний оперувати з поверхнями подвійної кривизни, супроводжуючи отримання розгорток первинною оцінкою технологічності (рис. 4.7).

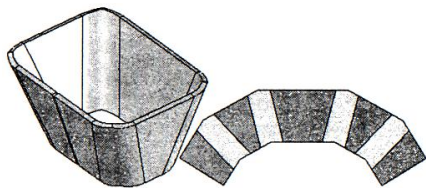


Рисунок 4.7 - Приклад об'єкта що точно розгортається

Як відомо, класифікація розгорткок криволінійних поверхонь в нарисній геометрії ділить їх на точні, наближені і умовні. Перші мають на увазі збереження всіх лінійних і кутових розмірів, тобто деформування матеріалу без розтягування / стиснення (за умови, що товщина прагне до нуля).

Точні розгортки можуть бути отримані тільки для певного класу об'єктів. Якщо користуватися поняттями аналітичної геометрії, то до них відносяться поверхні, у яких в будь-якій точці одна головна кривизна дорівнює нулю.

Нарисна геометрія вимагає для поверхні що розгортається, існування в будь-якій точці площини, яка торкається поверхні по прямій. Зрозуміло, фізичний зміст цих визначень еквівалентний. Прикладами точно розгорнутих поверхонь є циліндричні і конічні поверхні загального виду, а також лінійчаті поверхні з двома напрямними і площиною паралелізму. На рис. 4.7 наведено приклад точної розгортки твердого тіла, що імітує лінійчасту поверхню. Вона являє собою поєднання плоских і конічних поверхонь. Очевидно, що всі грановані поверхні, у яких будь-яка вершина належить максимум одній лінії згину, також мають точну розгортку.

Світлотехнічний аналіз і проектування.

Для проведення світлотехнічного та оптичного аналізу і проектування - призначений модуль OptisWorks. Так повелося, що в нашій країні, програмне забезпечення для моделювання оптичних явищ і об'єктів не дуже часто використовується в інженерній практиці.

З одного боку, це пояснюється недостатньою затребуваністю відповідних інструментів - оптична і світлотехнічна промисловість практично не розвиваються. Крім того, на відміну від вимог, наприклад, до механічних або теплових характеристик, які визначають функціональність об'єктів, запити до світлотехнічних параметрів не завжди формулюються строго, а, будучи сформульовані, нерідко порушуються. Наприклад, якщо придивитися уважно до побутових освітлювальних приладів, можна виявити приклади вельми невдалих проєктів: низький ККД, нерівномірність світлового потоку, локальний пе-

регрів. В якості компенсації споживачеві пропонується химерний дизайн, який і служить основним критерієм для вибору. Після установки приладу виникає відчуття незручності, формалізувати яке дуже важко.

Аналогічна ситуація в автомобілебудуванні: динаміка, гальмівний шлях - об'єктивні затребувані характеристики, а от якості же підсвічування панелі приладів - це те, на що увагу звертають лише після покупки. Те ж, до речі, стосується системи опалення та вентиляції. Базові технічні вимоги в принципі дотримані, але почуття комфорту відсутнє. В автомобільній промисловості у провідних виробників, програмне забезпечення для світлотехніки за значимістю стоїть на тому ж рівні, як для динаміки і міцності.

Питання для самоперевірки

1. Які математичні методи використовуються в програмах інженерного аналізу?
2. В яких галузях застосовуються CAE-системи?
3. На чому заснований метод кінцево-елементного аналізу?
4. Для вирішення якого типу задач застосовують метод кінцевих об'ємів?
5. Для вирішення якого типу задач застосовують метод кінцевих різниць?
6. Які види моделювання які дозволяє виконувати COSMOSWorks?
7. Розкажіть базовий алгоритм розрахунку у COSMOSWorks.
8. Назвіть види і джерела нелінійності в структурній механіці.
9. Які переваги й недоліки розрахункового модуля Flow Simulation?
10. Для розрахунку якого типу задач призначений Flow Simulation?
11. До якого типу задач відноситься розрахунок закипання рідин, вплив закипання на гідравлічний опір і теплообмін у каналах?
12. За допомогою яких додатків SolidWorks виконується проектування елементів механічних систем?
13. До якого типу задач відноситься розрахунок ерозії твердих тіл в результаті випадання на них частинок?
14. На чому заснований розрахунок балок у SolidWorks?
15. Для вирішення яких задач призначений додаток COSMOSMotion?
16. В чому особливість роботи із розгортками листового металу?
17. Для чого призначений модуль світлотехнічного аналізу?
18. В якому модулі можна вирішити задачі сполученого теплообміну?
19. Для чого призначений модуль GearTrax?

ЛЕКЦІЯ № 5. ОСНОВНІ МЕТОДИ РОБОТИ У СИСТЕМІ NX SIEMENS

План лекції. Інтерфейс. Моделювання твердих тел. Моделювання поверхонь. Моделювання в контексті. Робота з листовим металом. Синхронна технологія. Робота зі складаннями. Основи NX Advanced Simulation. Виконання креслень. Робота із шаблонами. Візуалізація.

Література: [1], [8], [9], [64]-[72].

Програмний пакет NX являє собою одну із самих популярних САПР, використовуваної практично у всіх галузях промисловості. Перша версія пакета NX, відомого ще як NX Unigraphics, була випущена в 2002 році, коли компанія EDS PLM Solutions збрала на одній платформі рішення пакетів Unigraphics та I-Deas. Як будь-яка система САПР важкого рівня, NX поєднує в собі функціонал для вирішення завдань конструювання й проектування (CAD), інженерного аналізу (CAE) і підготовки виробництва (CAM).

Цей функціонал згрупований у додатках, об'єднаних на базі єдиного геометричного ядра Parasolid. Систему NX випускають для платформ Windows, Linux і MacOS. А оскільки різні операційні системи мають свою реалізацію відображення елементів інтерфейсу прикладних програм, то й в інтерфейсі NX будуть деякі відмінності залежно від платформи. Але загальна логіка роботи системи й взаємодії з користувачем не залежать від платформи, тому опис версії NX для Windows, використовуваний в цій лекції, однаковий і для інших операційних систем.

Основні елементи головного вікна програми (рис. 5.1):

- 1 – заголовок вікна, у якому крім назви системи відображаються поточний додаток, ім'я робочої деталі та її стан у випадку зміни;
- 2 – головне меню, склад якого залежить від поточного активного додатка й ролі;
- 3 – панелі інструментів;
- 4 – панель вибору, яка містить набір команд і опцій, керуючих механізмом інтерактивного вибору користувача в процесі роботи над моделлю;

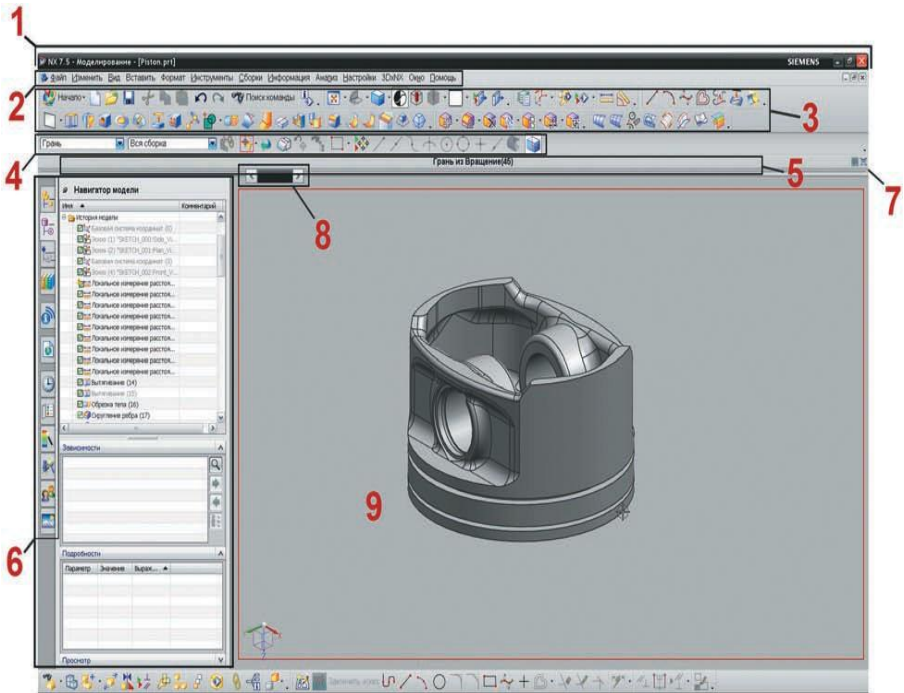


Рисунок 5.1 - Головне вікно системи NX

5 – рядок статусу й підказки, у якій відображаються контекстні підказки для користувача й поточний статус виконання операції;

6 – панель ресурсів, що містить набір різних вкладок, кожна з яких відповідає за певну функцію;

7 – кнопка перемикавання між стандартним і повноекранним режимами;

8 – «рейка» кріплення діалогових вікон. Цей елемент інтерфейсу призначений для позиціонування діалогових вікон команд, викликаних користувачем;

9 – графічна область, у якій відображається геометрія побудови.

На рисунку 5.1 показана система NX в «класичному» режимі, характерному для всіх Windows додатків. Існує ще один режим – повноекранний. Основне призначення повноекранного режиму, що перемикається кнопкою (7) – максимально розширити графічну область і мінімізувати кількість відображуваних панелей інструментів і меню.

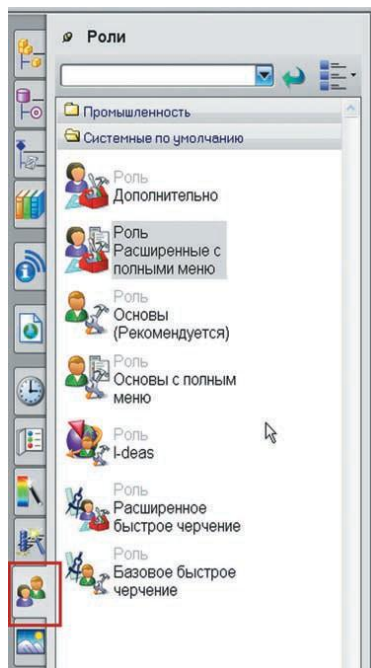


Рисунок 5.2 - Роли

Набір інструментів у рамках кожного додатка NX виражається у вигляді кнопочкових інструментальних панелей і додаткових елементів головного меню. Рідко коли для вирішення якого-небудь завдання в хід ідуть усі можливі команди додатків, тому користувачі воліють відображати тільки часто використовувані команди й видаляти ті, які не потрібні.

Так, кожний користувач системи NX у міру освоєння набудовує інтерфейс системи під себе. Для полегшення цього процесу в NX передбачений механізм ролей.

Роль – це збережений стан інтерфейсу, у якому запам'ятовуються набір відображуваних панелей і елементів меню, їх склад і положення на екрані. Для керування ролями в панелі ресурсів існує вкладка Ролі (рис. 5.2).

Механізм вибору об'єктів є одним із ключових для роботи користувача. Будь-яке завдання параметрів команд зводиться до призначення якихось числових параметрів і вибору яких-небудь об'єктів. Для керування логікою вибору й фільтрації обраних об'єктів NX надає набір допоміжних інструментів, реалізованих у вигляді інструментальної панелі й контекстних меню.

Інструментальна панель вибору завжди розташовується у верхній частині головного вікна під усіма іншими включеними панелями й безпосередньо над графічною областю (рис. 5.3). При цьому користувач може одержати доступ до компактного виду панелі вибору, нажавши праву кнопку миші безпосередньо на графічній області.

Панель вибору містить блок фільтрів вибору, блок керування множинного вибору й блок прив'язок. Фільтри вибору дозволяють обмежити вибір за певною ознакою. Перший фільтр у вигляді випадаючого списку (1), визначає який тип геометрії може бути обраний. За замовчуванням фільтр не встановлений, тому вибираються об'єкти

всіх типів, що не завжди зручно. Другий випадаючий список, визначає контекст, у якому проводиться вибір (2) – у поточній деталі, у всьому складанні або в поточній деталі й у всіх вхідних компонентах. Це найбільш часто використовувані фільтри вибору.

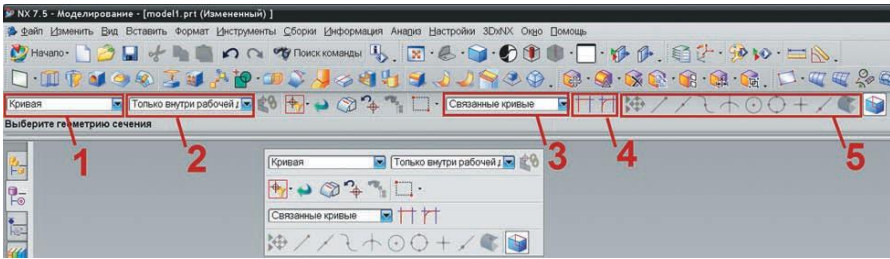


Рисунок 5.3 - Панель wyboru

Додатково в цьому блоці представлені фільтри, що працюють по інших ознаках, таких як колір, шар, найменування, атрибути, а також ряд допоміжних інструментів. Випадаючий список (3), а також набір кнопок (4) визначають логіку роботи системи при виборі безлічі об'єктів. Вони встановлюють поточний режим вибирання об'єктів у залежності від геометричних умов.

Моделювання твердих тіл.

Створювані геометричні тіла в NX діляться на поверхні й тверді тіла. Одним з підвидів твердого тіла є модель деталі з листового металу, для створення якої пропонується кілька спеціалізованих додатків NX. Твердотільне моделювання являє собою створення замкнутого геометричного об'єму, що описує геометрію деталі.

Для цього використовуються примітиви, одержувані витягуванням і обертанням плоских контурів, конструктивні елементи й логічні операції комбінування тіл. Явно вираженого модуля твердотільного моделювання в NX немає, тому що для цього застосовуються інструменти з різних додатків. Зокрема, тверді тіла можна одержувати шляхом додавання товщини поверхні створеної, у додатку "**Студия формы**", або заповненням замкнутого контуру з поверхонь.

Основна мета моделювання твердих тіл – створити точну геометрію проекрованої деталі, яка буде основою для випуску документації, проведення розрахунків і написання програм ЧПУ. З погляду системи,

геометричне представлення є результатом зв'язаної послідовності операцій, що складають дерево побудови моделі.

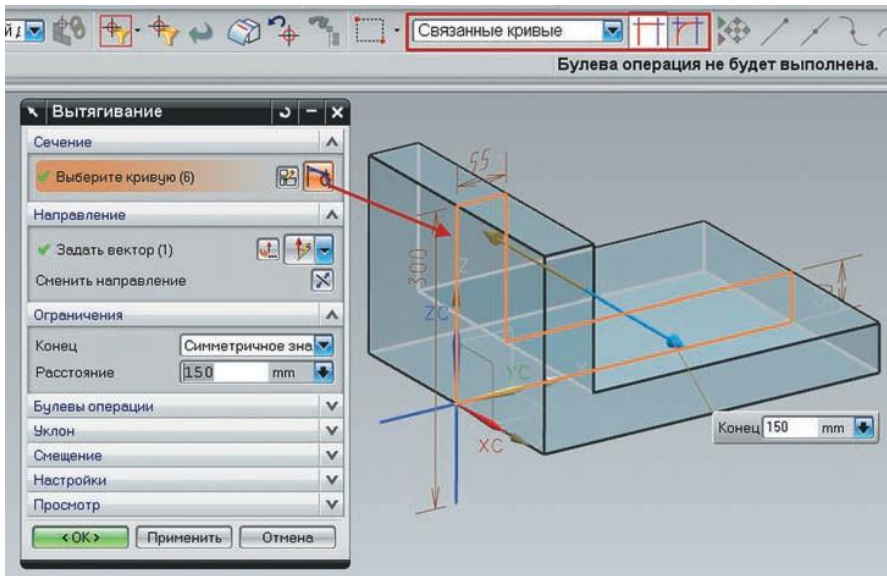


Рисунок 5.4 - Витягування ескізу при створенні твердого тіла

Робота користувача зводиться до додавання операцій у дерево побудови, що створюють ті або інші конструктивні елементи або, що модифікують геометрію. Це справедливо для класичного випадку моделювання з історією побудови. NX також підтримує моделювання без історії побудови. Для створення моделей ви можете використовувати типові конструктивні елементи або створювати тіла на базі двовимірних контурів, а також комбінувати ці два способи. Ескізи є основою для всіх тіл, одержуваних обертанням або протяганням уздовж траєкторії.

Моделювання поверхонь.

Уміння працювати з поверхнями необхідно всім користувачам, що працюють в CAD системах вищого рівня. Практично у всіх галузях промисловості зустрічаються деталі, для побудови моделей яких необхідно звертатися до функціонала поверхневого моделювання. Твердотільне моделювання дозволяє будувати 3D-модель, комбінуючи логічними операціями різні форми, отримані операціями протягання й

обертання плоских контурів. Це дає можливість будувати порівняно прості моделі, але коли виникає необхідність одержати більш складні форми, доводиться звертатися до поверхневого моделювання.

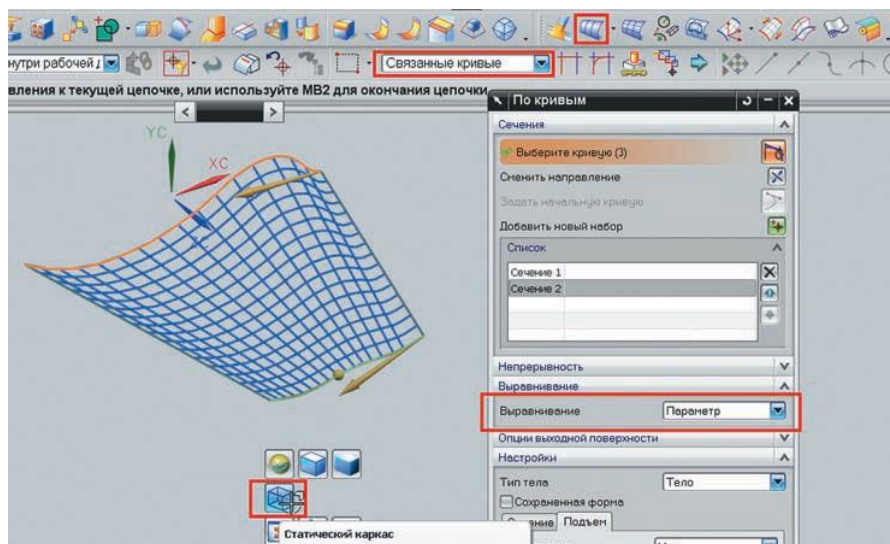


Рисунок 5.5 - Побудова поверхні по кривих

Звичайно при побудові моделей реальних виробів доводиться поєднувати твердотільне моделювання й моделювання поверхонь. Але є ряд завдань, які вирішуються тільки в модулі моделювання поверхонь. Наприклад, створення аеродинамічних обводів кузова автомобіля або моделювання корпусів виробів побутової техніки. Іноді побудувати твердотісну модель можливо тільки шляхом створення поверхневої оболонки заданої геометричної форми в модулі роботи з поверхнями й подальшої обробки отриманої поверхні в модулі твердотісного моделювання. Це характерно для завдань із області промислового дизайну.

У системі NX поверхня являє собою тіло нульової товщини, яке має дві розмірності. У користувача є можливість як одержати тверде тіло на основі поверхні, за допомогою спеціальної команди задавши товщину, так і робити зворотні операції одержувати поверхні на основі граней існуючих твердих тіл.

Деякі команди твердотісного моделювання також можуть

створювати й редагувати поверхні. У ряді випадків, цього функціонала досить для побудови простих поверхонь, і немає необхідності в інших інструментах створення поверхонь. Так, наприклад, операції **"Вытягивания" (Extrude)** або **"Вращения" (Revolve)** при використанні незамкнутого контуру або включення відповідної опції створять не тверде тіло, а поверхню. Також операції **"Обрезка тела" (Trim Body)** і **"Разделить тело" (Split Body)** можуть приймати в якості вхідних параметрів не тільки площини й грані тіл, а також поверхні.

У функціонал системи NX входять два модулі, призначені для роботи з поверхнями. Один з них, модуль поверхонь вільної форми (**Freeform Modeling**), входить у додаток **"Моделирование" (Modeling)** і представлений набором інструментальних панелей і меню, що містять команди побудови й редагування поверхонь. Другий модуль оформлений у вигляді окремого додатка **"Студия формы" (Shape Studio)**, яке необхідно активувати через меню **Начало > Все приложения > Студия формы (Start > Applications > Shape Studio)**.

Функціонал модуля **"Студия формы" (Shape Studio)** закриває більшу частину завдань моделювання поверхонь у машинобудуванні, і в той же час - освоєння можливостей цього модуля буде достатнім для одержання естетичних поверхонь, застосовуваних в області промислового дизайну й художнього моделювання.

Моделювання в контексті.

Завдання проектувати в контексті, тобто враховуючи оточення розроблювальної деталі або вузла, виникає досить часто. Як при проектуванні складних виробів із щільним компонованням, так і при створенні модифікацій існуючих вузлів, коли частина деталей залишається незмінною, а нові необхідно вписати в існуючий контекст. Це, у свою чергу, змушує створювати 3D-моделі розроблювальних вузлів, опираючись на геометрію й параметри вже існуючих деталей і складань, створюючи міжмодельні зв'язки та управляючи змінами.

Основним завданням конструктора при моделюванні деталі в контексті або при використанні посилань на геометрію інших деталей поза контекстом, є правильне визначення тих параметрів і геометричних об'єктів, які можна використовувати як посилання у своїй моделі. У системі NX реалізований досить потужний і гнучкий механізм для роботи з міжмодельними зв'язками, який одержав назву **WAVE**. Цей механізм використовується не тільки для створення моделі з викори-

станням геометричних посилань на інші об'єкти, але й для реалізації методу проектування зверху вниз.

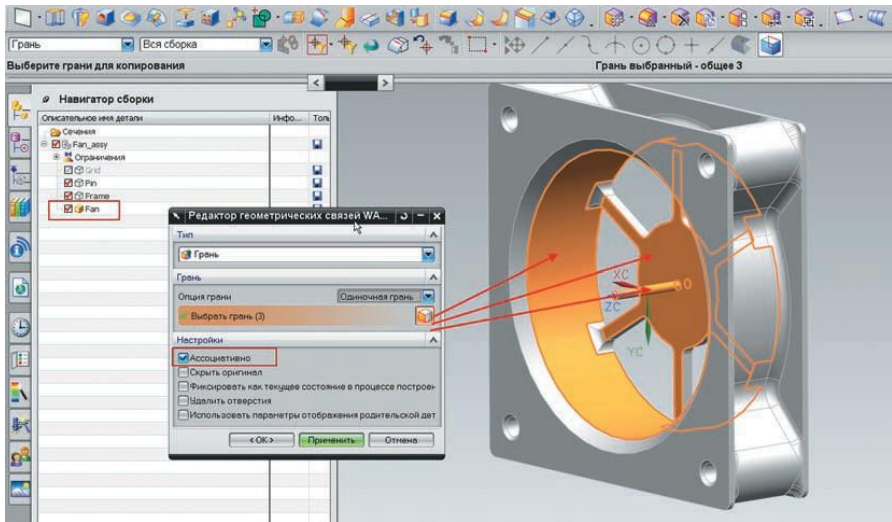


Рисунок 5.6 - Створення геометричних зв'язків

В обох випадках WAVE являє собою інструменти для створення й керування геометричними й параметричними зв'язками, а також відстеження їх поточного стану. Усе інше – визначення ключових параметрів, вибір визначальних геометричних об'єктів, визначення послідовності проведення змін – залишається за користувачем.

Робота з листовим металом.

Говорячи про роботу з листовим металом, мова в першу чергу йде про створення моделей деталей, одержуваних гнуттям і штампуванням. Процес моделювання таких деталей специфічний тим, що одержувані моделі існують у двох станах – вихідному й розгорнутому, а також тим, що товщина матеріалу постійна по всій моделі. Тому функціонал створення такого роду деталей був виділений з модуля Моделювання, тому що багато операцій у цьому модулі створюють елементи, що не сполучаються з листовим металом.

З версії NX 7.5 інструментарій моделювання деталей з листового металу в системі NX розділений на два модулі:

"Листовой металл NX" (NX Sheet Metal) – призначений для

вирішення завдань загального машинобудування в області моделювання з листового металу. Обмеження цього модуля стосуються можливостей роботи із криволінійними ребрами для побудови фланців і використання посиляльних поверхонь для створення елементів деталі;

"Авиационный листовой металл" (NX Aerospace Sheet Metal) – модуль, призначений для завдань моделювання деталей, специфічних для аерокосмічної галузі. Він містить інструментарій, що дозволяє моделювати елементи моделей, не типових для інших галузей, а також здатний працювати з елементами поверхонь при моделюванні деталей.

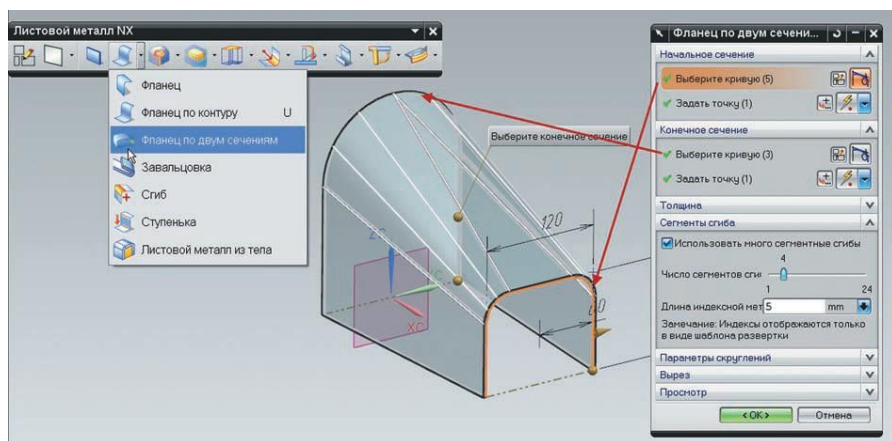


Рисунок 5.7 - Створення фланця з листового металу по двом перетинам

Додатково в цих модулях доступний функціонал модуля **"Расширенный листовой металл"**, який входив до складу додатків ще до версії NX7.5. У загальному випадку алгоритм створення моделей з листового металу досить простий:

- створення основи – плоского елемента на базі ескізу або кривих;
- побудова фланця на базі ребер основного елемента;
- створення необхідних вирізів і підштамповок;
- обробка стиків і кутів;
- одержання розгорнутої форми моделі й аналіз технологічності при необхідності;
- випуск конструкторської документації.

Результатом роботи в модулі листового металу є 3D-модель деталі, яка використовується в складі макета виробу, а також асоціативно зв'язане плоске розгорнення, по якому випускається креслення для виготовлення деталі. Оскільки побудова моделі та одержання розгорнення ведуться з урахуванням фізичних властивостей матеріалу й характеристик устаткування для виготовлення, то точність одержуваного розгорнення цілком залежить від правильності завдання необхідних параметрів. Під час роботи в модулі листового металу всі параметри матеріалу беруться із загальної бібліотеки NX, тому для коректної роботи й розрахунків розгорнень деталей, одержуваних штампуванням (з більшими пластичними деформаціями), необхідно забезпечити точність фізичних властивостей матеріалу.

Синхронна технологія.

Синхронна технологія (СТ) є розвитком засобів прямого моделювання геометрії, представлених у версіях NX5/NX6. Інструменти прямого моделювання доповнили стандартні засоби моделювання можливістю роботи з топологією моделі прямо, ігноруючи історію побудови. СТ розширило можливості прямого моделювання, додавши механізми «розумного» вибору й розпізнавання конструктивних елементів без історії побудови, а також увівши функціонал геометричних зв'язків між елементами моделі.

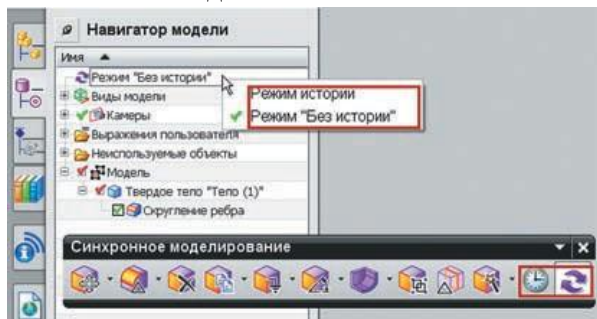


Рисунок 5.8 - Режими роботи з історією побудови

При роботі в NX можна використовувати два режими створення моделей.

З історією побудови – це традиційний спосіб моделювання в більшості систем САПР, заснований на впорядкованій послідовності

конструктивних елементів, які формують геометрію моделі. Будь-яка зміна проходить від місця його виникнення до кінця історії побудови. Цей режим використовується в тих випадках, коли важливо зберігати параметризацію й асоціативні зв'язки між моделями. Як правило, це характерно для етапу детального пророблення виробу.

Без історії побудови – у цьому випадку історія побудови не створюється й кожна нова команда моделювання оперує геометрією прямо. У силу відсутності дерева побудови немає ніякого хронологічного зв'язку між конструктивними елементами, з яких складена модель, тому будь-які модифікації стосуються певної ділянки геометрії.

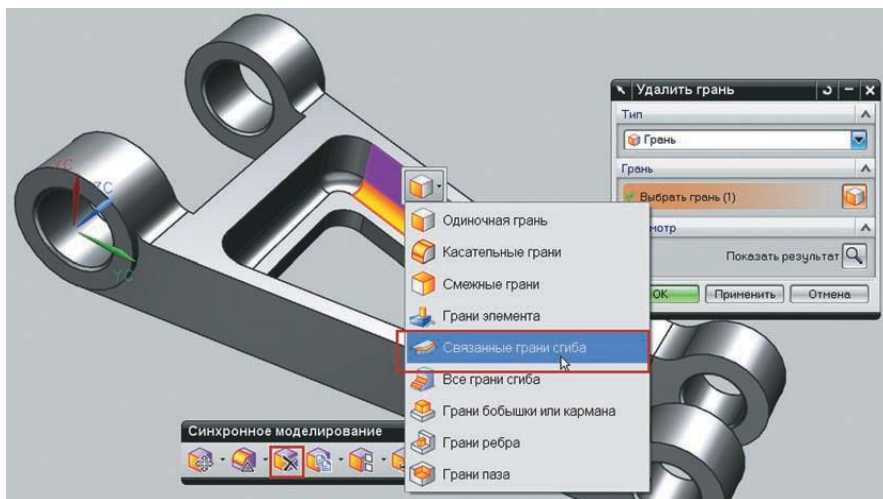


Рисунок 5.9 - Видалення елементів у режимі без історії побудови

Моделювання без історії побудови найчастіше використовується на етапах концептуального відпрацювання, коли проробляють різні варіанти спрощеного геометричного представлення моделі.

Робота зі складаннями.

Моделювання й аналіз складальних одиниць є однією з важливих складових процесу проектування в системі САПР. На цьому етапі всі створені різними учасниками моделі деталей збираються у загальне складання виробу. Для вирішення завдань, пов'язаних зі створенням складань і роботою з ними, в NX є два модулі – "Сборки" й "Ра-

расширенные сборки", об'єднані у один додаток.

Модуль **"Сборки"** містить основний інструментарій по створенню складань, позиціонуванню компонентів і накладенню складальних зв'язків. А модуль **"Расширенные сборки"**, представлений у вигляді додаткових інструментальних панелей, пропонує засоби аналізу маси, створення послідовностей складання й розбирання, та багато чого іншого.

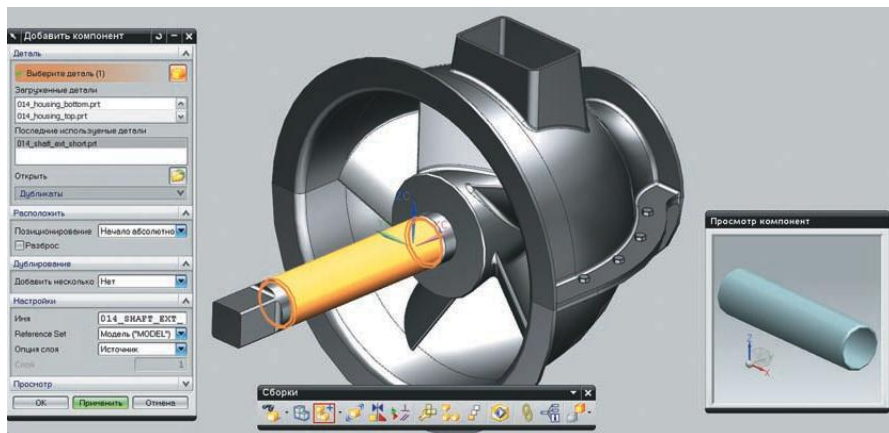


Рисунок 5.10 - Вставка компонента в складання

Складання в NX являє собою файл моделі, що містить посилання на інші моделі, які є компонентами складання. У загальному випадку будь-яка модель технічно може виступати складанням, і також будь-яка модель складання може зберігати в собі не тільки посилання на компоненти, але й свою власну геометрію.

Кожний компонент, що входить у складання, несе інформацію не тільки про геометрію моделі, на яку він посилається, але й додаткову інформацію, таку як шар розташування компонента, колір відображення, матрицю позиціонування даного екземпляра компонента й відображуваний посилальний набір.

Посилальним набором в NX називається певний набір геометричних об'єктів, які застосовуються для представлення компонента в складанні. Механізм посилальних наборів використовується для фільтрації вмісту моделі з метою надання тільки тих геометричних елементів, які необхідні для того або іншого завдання. Це допомагає знизити потребу в ресурсах пам'яті й відеокарті при роботі зі складаннями,

тому що дає можливість не завантажувати весь вміст моделей, а тільки необхідну частину. У загальному випадку модель може містити в собі кілька посиальних наборів – як системних, так і користувацьких. Кожний компонент складання також містить посилання на файл моделі, тому зміни цієї моделі відбиваються на всіх входженнях компонента складання. При цьому однакові компоненти можуть мати свої унікальні атрибути, що відрізняють одне входження від іншого.

Завантаження компонентів складання – їх стану, використовуваних версій, а також як вони відображаються на екрані – визначається опціями завантаження, які визначаються під час відкриття складання або визначаються для конкретного складання у вигляді файлу з опціями.

Основи NX Advanced Simulation.

Модуль **"NX Расширенная симуляция"** (NX Advanced Simulation) є для проведення інженерного аналізу в рамках роботи з єдиним середовищем проектування NX. Використання чисельних методів при проектуванні різних конструкцій і машин продиктоване необхідністю постійного підвищення надійності і якості виробів, а також можливістю використовувати нові сучасні матеріали, враховувати складні умови роботи сучасних конструкцій при необхідності підвищення їх конкурентоспроможності й надійності.

Максимальний ефект від використання технологій чисельного інженерного аналізу досягається при їхнім використанні починаючи із самих ранніх стадій проектування. При цьому знижуються вартість виробу, імовірність виникнення ризиків і строк випуску виробу на ринок. Дослідження механічної поведінки тривимірних конструкцій можна проводити за допомогою експериментального підходу.

Цей спосіб дозволяє оцінювати поведінку конструкції при впливі на неї різних зовнішніх факторів. Однак він є досить дорогим, вимагає більших тимчасових витрат, а іноді взагалі не може бути здійсненим. У наш час у процесі розробки високотехнологічної конкурентоспроможної продукції, провідні фірми світу використовують кінцево-елементне (КЕ) моделювання, намагаючись замінити дорогий натурний експеримент більш дешевим обчислювальним експериментом.

КЕ-моделювання дозволяє оцінити поведінку тривимірних конструкцій під впливом різних зовнішніх факторів. Сучасний рівень комп'ютерної техніки дає можливість вирішувати складні завдання на потужних робочих станціях протягом декількох годин. Слід також

зазначити, що при проведенні реальних експериментів, як правило, інформацію можна одержувати лише в десятках або сотнях точок, при чисельному моделюванні таких точок може бути кілька сотень тисяч, а при необхідності їх число може досягати мільйона.

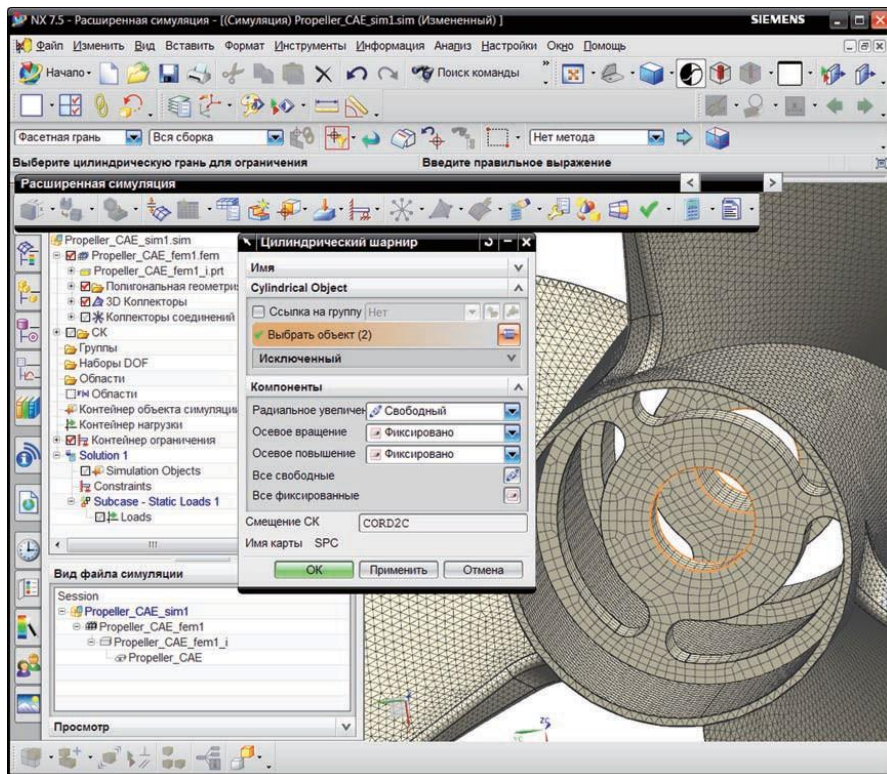


Рисунок 5.11 - Завдання навантажень і граничних умов кінцево-елементної моделі в NX Advanced Simulation

Більшість функцій і операцій, чисельного інженерного аналізу на базі методу кінцевих елементів, доступні в NX починаючи з версії 5 і вище. Однак при роботі з NX 4, слід враховувати той факт, що функціонал попередніх версій може бути значно меншим, а інтерфейс – відрізнитися на рівні іконок, меню і т.д.

Звичайно інженер-конструктор для попередньої оцінки міцності/працездатності конструкції застосовує інженерні підходи, які в ос-

новному складаються з представлення конструкції у вигляді простих вузлів і елементів, для яких існують аналітичні оцінки пошуку напружено-деформованого стану. До таких оцінок можна віднести використання найпростіших формул для пошуку напруг у балках при їхнім розтяганні, згинанні або крутінні, пошуку відносного подовження, моментів інерції, сил реакції і т.д.

Раніше інженер-конструктор був змушений працювати з великою кількістю спеціалізованої літератури для пошуку необхідних виражень і законів. Але з початком використання комп'ютерних систем чисельного аналізу все змінилося.

Тепер інженер має можливість моделювати конструкції й машини будь-якої складності, з будь-яким ступенем деталізації за допомогою інструменту аналізу реального розподілу напруг і деформацій у конструкції - модуля **"NX Расширенная симуляция"** на базі промислового вирішувача NX Nastran (та інших модулів компанії Siemens PLM Software). Тобто тепер інженер має можливість працювати з різними додатками, залишаючись у єдиному звичному для себе середовищі проектування NX. Причому масштабованість модуля **"NX Расширенная симуляция"** дозволяє вирішувати як найпростіші, так і найскладніші завдання з різних областей механіки.

Виконання креслень.

Креслення є класичним документом, що описує розроблюваний виріб, будь те деталь або складання. Сучасні системи САПР, крім модулів створення тривимірного представлення виробу, пропонують і інструментарій по створенню креслень на основі створених моделей деталей і вузлів. У системі NX цей інструментарій реалізований у вигляді модуля **"Черчение" (Drafting)**, який вирішує задачі формування асоціативних двовірних креслень на основі розроблених тривимірних деталей і складань.

У версії NX7.5 був представлений додатковий модуль **"NX Быстрое черчение" (NX Power Drafting)**, який запускається окремим ярликом і являє собою базовий модуль NX у комбінації з модулем **"Черчение"** й додатковим модулем розширення функціонала роботи із кресленнями (рис. 5.12). Цей додаток вирішує тільки завдання створення креслень, як на основі 3D-моделей, зроблених в основній системі NX, так і без них. Використання окремого додатка для роботи із кресленнями дозволяє розділити робочі місця на ті, що використовую-

ються для проектування, і ті, які служать для випуску конструкторської документації.

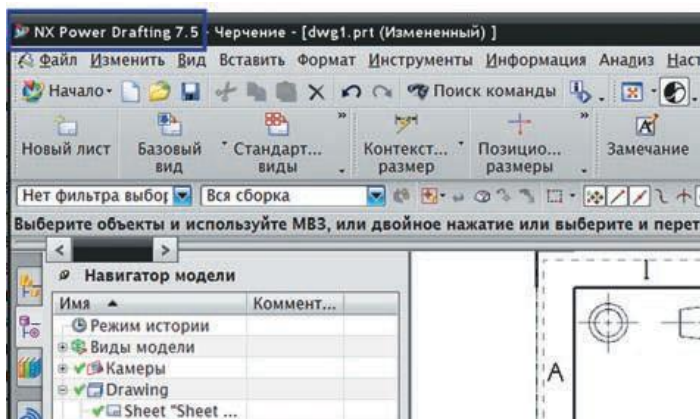


Рисунок 5.12 - NX Power Drafting

Це допомагає знизити вартість системи САПР, тому що використання повного робочого місця NX тільки для випуску креслень не завжди виправдане.

Одна з переваг систем САПР вищого рівня полягає в можливості побудови наскрізного ланцюжка проектування, частина з якого складається з асоціативно зв'язаних 3D-моделей і двовірних креслень. Важливою умовою для створення наскрізного ланцюжка є первинність тривимірної моделі виробу перед кресленням. Тобто першоджерелом інформації про геометрію, й опціонально про вимоги до виготовлення та розмірах - повинна бути модель, а креслення повинно бути вторинним і являти собою звіт по моделі з необхідною доповнюючою інформацією. Тобто мається на увазі в першу чергу те, що будь-які, навіть самі незначні зміни розмірів повинні в першу чергу проводитися на моделі і тільки потім обновлятися на кресленні.

Будь-яка зміна представлення креслярського виду або виправлення розміру, зробленого в рамках креслення, автоматично робить модель неактуальною, а отже розриває ланцюжок. Зміна креслення без відповідних змін у моделі приводить до того, що виготовлена деталь не буде відповідати тій моделі, яка була використана в складаннях, що чревате проблемами зі збиранням, а також до того, що при наступних змінах прийдеться оперувати з моделлю, яка не відповідає виготов-

лень деталі. Креслення моделі може існувати у двох видах – у файлі самої моделі, що містить вихідну геометрію, з якої робиться креслення, або ж у вигляді окремого файлу з посиланням на вихідну 3D-модель (концепція майстер-моделі).

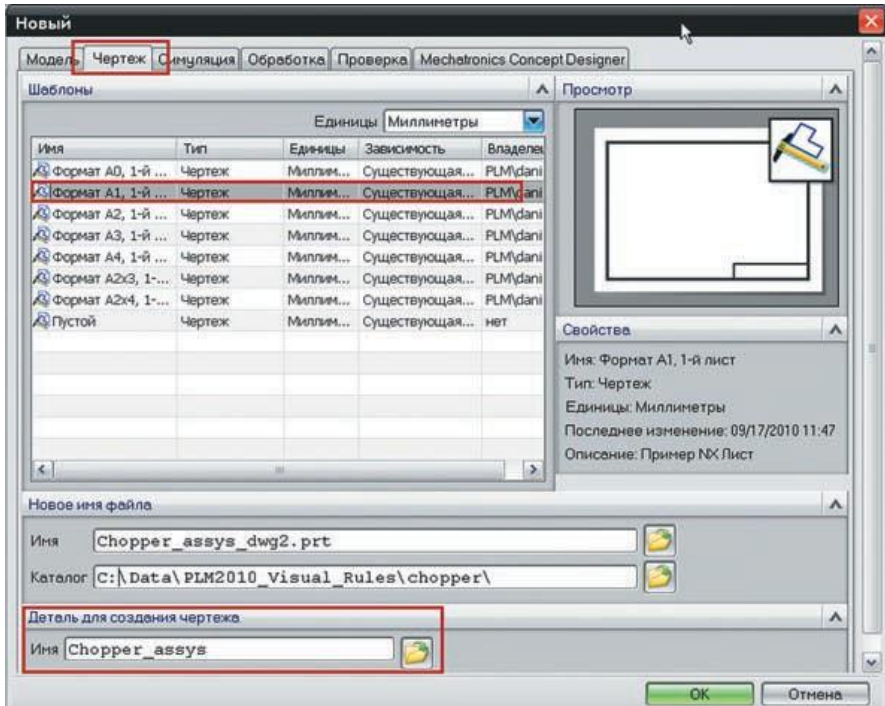


Рисунок 5.13 - Створення нового файлу креслення у системі NX

Незважаючи на те що перший варіант видається зручнішим, другий спосіб є більш кращим з погляду процесу розробки. Коли 3D моделі й креслення зберігаються в рамках одного файлу, досить важко забезпечити незалежний випуск цих двох об'єктів, а також незалежне проведення змін. Адже далеко не всі зміни на кресленні, зокрема зміни в технічних вимогах на полі креслення, вимагають змін у геометрії моделі. Додаткове обмеження, що виникає при використанні одного файлу для моделі й креслення, проявляється в неможливості розділити роботи між декількома учасниками по створенню 3D моделі й формуванню креслень із них.

Для створення креслення у файлі моделі досить просто за допомогою меню **"Начало > Все приложения > Черчение"** (**Start > All Applications > Drafting**) активувати креслярський модуль при поточній, відкритій 3D-моделі деталі або складання. У файл моделі буде додано аркуш креслення, і буде запропоновано створити базовий вид з поточної моделі.

Для створення креслення в окремому файлі необхідно створити новий файл за допомогою команди головного меню **"Файл > Новый"** (**File > New**) або відповідної кнопки інструментальної панелі й у діалозі, що з'явився, вибрати вкладку із шаблонами (форматами) креслень. Потім вибрати підходящий розмір і, переконавшись, що в полі **"Деталь для создания чертежа"** (**Part to create a drawing of**) обрана саме та модель, для якої повинно бути зроблене креслення, нажати **ОК** (рис. 5.13). У цьому випадку буде створений новий файл, що посилається на вихідну модель, у якому на базі обраного шаблону буде підготовлений перший аркуш, і запуститься команда створення нового виду. При використанні майстер-моделі для створення креслення створюється псевдо-складання, у якій головним є компонент креслення, а компонентами – моделі, з яких робиться креслення.

Робота із шаблонами.

Тема шаблонів досить популярна при роботі із САПР вищого рівня. Шаблони допомагають гармонізувати знання й досвід, оформити їх у вигляді певної частини конструкції виробу й повторно використовувати в різних проектах. Поняття шаблону користувацького елемента, або елемента, обумовленого користувачем (**Used Defined Feature**), уже давно прижилося серед користувачів САПР.

У загальному випадку елемент, обумовлений користувачем, являє собою згрупований послідовний набір команд системи, що виконують певні дії над вхідними даними, що задаються. Такі об'єкти дозволяють створити типові елементи геометрії деталі, які можуть при вставці в дерево побудови адаптуватися залежно від заданих контекстних параметрів.

Звичайно шаблони елементів працюють у межах дерева побудови однієї деталі, тобто являють собою частину цього дерева. Коли мова йде про шаблон усієї деталі або шаблону складання, то отут вже елемент, що задається користувачем, не дозволяє повноцінно реалізувати такі об'єкти. Звичайно, завжди можна вибрати існуючу модель,

перезберегти її під іншим іменем і, змінюючи контекстні геометричні посилання та значення числових змінних, намагатися перебудувати цю модель. Як правило, це досить трудомісткий процес, тим більше якщо модель створювалася іншим користувачем – доводиться розбиратися в дереві побудови, залежностях і логіці. Було б набагато зручніше, якби в моделях був зрозумілий інтерфейс, де були б винесені всі необхідні параметри, що позбавило б від необхідності розбиратися в дереві побудови моделі.

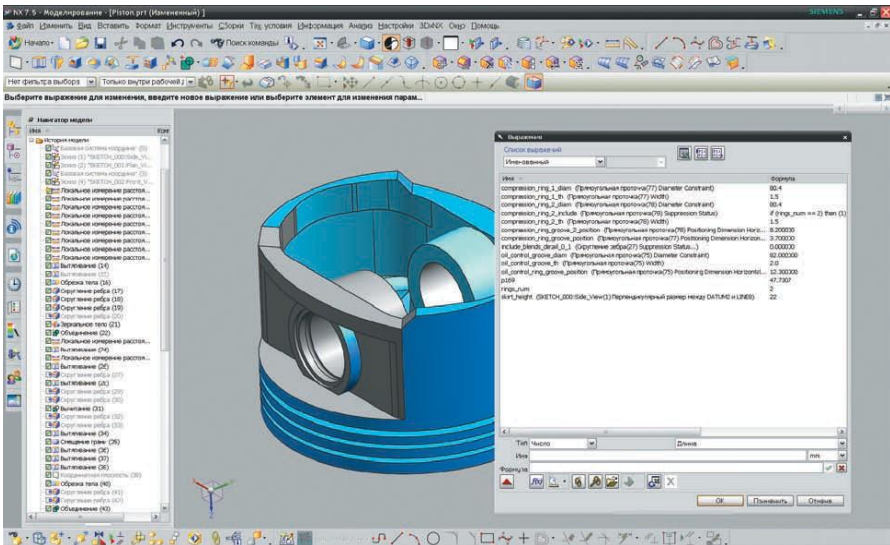


Рисунок 5.14 - Модель поршня для створення шаблону

Для цих цілей в NX5 була представлена "**Студия разработки шаблонов**" (**Product Template Studio - PTS**). Призначення PTS створювати шаблони деталей і складань на базі існуючих параметричних моделей. При створенні PTS ставилася мета створити простий і надійний інструмент, який забезпечить функціонал створення шаблонів для досвідчених користувачів системи NX.

Не секрет, що часто коли на підприємствах ставиться питання про створення «розумних» шаблонів або заготовок для типових вузлів конструкції, то як правило, крім досвідчених користувачів системи САПР, залучають ще й програмістів, які за допомогою програмного коду реалізують більш складну логіку роботи шаблонів, чим це досту-

пно стандартним командам системи. У випадку з PTS упор робився саме на виключення необхідності прибігати до написання якого-небудь програмного коду й на реалізацію логіки шаблону засобами PTS. Для створення шаблону за допомогою PTS необхідна тільки закінчена параметризована модель деталі або складання й розуміння того, як ця модель повинна працювати. Природно, для того що шаблон був робочим у межах передбачуваної області його застосування, необхідно впевнитися, що дерево побудови моделі відпрацьовує закладену в нього логіку на всіх припустимих значеннях ключових параметрів – як геометричних, так і чисельних. PTS на основі дерева побудови моделі й заданих ключових параметрів створює діалоговий інтерфейс, за допомогою якого користувачі взаємодіють із шаблоном.

Візуалізація.

Візуальні звіти з'явилися у версії NX7 і з тих пор знаходять усе більше застосування в процесах розробки й аналізу розроблювального виробу. Механізм візуальних звітів вирішує завдання швидкого надання необхідної інформації про виріб безпосередньо на тривимірному макеті самого виробу. Не секрет, що розробка будь-якого виробу супроводжується великими обсягами супутніх даних, і досить значна частина цих даних так чи інакше стосується конкретних вузлів, складань і деталей, що входять до складу виробу.

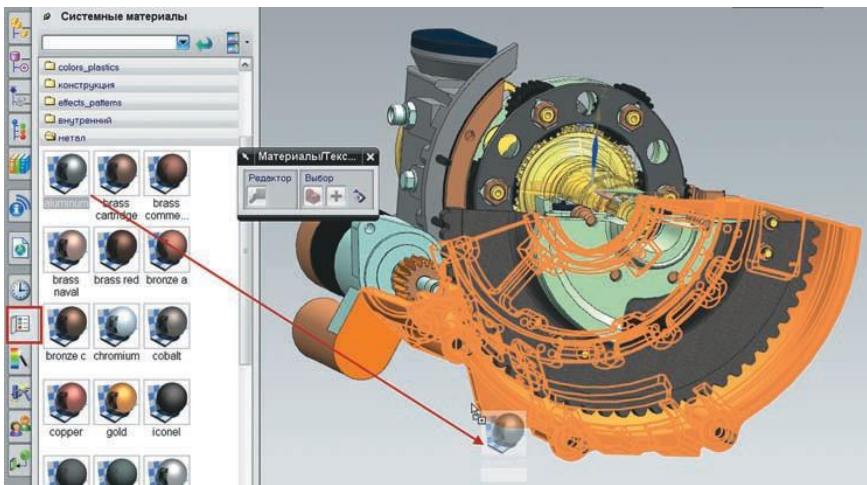


Рисунок 5.15 - Призначення матеріалів із системної бібліотеки NX

Це можуть бути дані про вагу, стан готовності, актуальність і багато про що інше, що звичайно представляється у вигляді текстової інформації в PDM системі або в електронних таблицях. Недолік такої подачі інформації у тому, що в CAD системі користувач бачить тривимірний макет виробу, а для одержання супутньої інформації він змушений звертатися до інших джерел, які не завжди зручні з погляду одержання швидкої відповіді на питання, які цікавлять.

Добре, коли виріб невеликий і розробляється одним-двома виконавцями. В іншому випадку навіть одержання відповіді на прості питання про поточний стан розробки за якимись критеріями вимагає значних працезатрат. Механізм візуальних звітів пропонує альтернативну подачу супутньої інформації. Вони відображають інформацію не в окремій вибірці, а безпосередньо на моделях компонентів складу розроблювального виробу. Це дає наочну прив'язку інформації до об'єктів і рятує від необхідності перемикатися між декількома джерелами даних. Візуальний звіт являє собою набір певних логічних операцій над атрибутами об'єктів і опис області дії цих операцій. Звіт відображається у вигляді колірного розфарбування й графічних тегів, які формуються на підставі обробки кожного компонента складу виробу логічними операціями, заданими у звіті.

Питання для самоперевірки

1. Розкажіть порядок створення твердотільної моделі деталі в NX.
2. Як здійснюється побудова поверхні по кривим?
3. Як створюються міжмодельні зв'язки та їхнє подальше оновлення при моделюванні в контексті?
4. Як створити розгортку листового металу?
5. В чому полягає суть синхронного моделювання геометрії деталей?
6. Яка основна мета моделювання твердих тіл?
7. Що являє собою поверхня в системі NX?
8. Коли необхідно застосовувати поверхнєве моделювання?
9. В чому полягає суть моделювання в контексті?
10. Яка специфіка роботи з листовим металом в системі NX?
11. Розкажіть алгоритм створення моделей з листового металу.
12. Яке призначення модуля NX Advanced Simulation?
13. За допомогою якого модуля виконуються креслення в системі NX?
14. В чому полягає суть роботи із шаблонами?
15. Що таке візуалізація і навіщо вона потрібна?

ЛЕКЦІЯ № 6. РОБОТА У СИСТЕМІ SOLIDWORKS. СТВОРЕННЯ ЕСКІЗІВ

План лекції. Основні принципи побудови ескізів. Створення простого ескізу. Використання дзеркального відбиття об'єктів. Створення складного ескізу. Додавання округлень і фасок. Використання команд побудови масивів. Використання сплайнів в ескізах. Тривимірні ескізи.

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

Ескізи є основою для створення тривимірних твердотільних моделей деталей. Тому створення будь-якої деталі в SolidWorks, якою б простою або складною вона не була, починається з малювання ескізу. Ескіз може бути двовимірним або тривимірним.

Звичайно використовується двовимірний ескіз (плоский), приблизно такий, як це роблять люди на аркуші паперу. В SolidWorks такі ескізи рисуються на площині. За замовчуванням при створенні нової деталі подається три взаємно ортогональні площини, що проходять через початок координат (рис. 6.1). Далі можна додавати будь-яку кількість площин, що мають необхідну орієнтацію в просторі.

Але в деяких випадках зручно використовувати тривимірний ескіз, коли необхідно побудувати довгомірну деталь, наприклад, трубу, що міняє свій напрямок у просторі, або зварену конструкцію, що складається із профілів певного перетину. Усі ескізи, як двовимірні, так і тривимірні, будуються на трьох взаємно ортогональних площинах **"Спереди, Сверху и Сбоку"** (рис. 6.1).

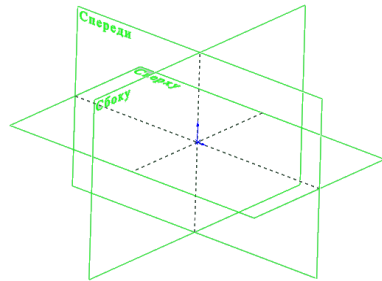


Рисунок 6.1 - Видові площини
SolidWorks

Первісний вибір тієї або іншої площини не має істотного значення. Звичайно процес малювання ескізу починається з передньої площини. Крім того, можна створювати свої власні площини (навіть не ортогональні) і побудову ескізу починати з них. У кожному ескізі є

своя вихідна точка, тому в деталі звичайно буває кілька вихідних точок. Коли відкритий ескіз, не можна відключати відображення його вихідної точки.

Вихідна точка відображається червоним кольором  у відкритому ескізі й допомагає визначити координати точок ескізу. Малювання будь-якого ескізу рекомендується починати із цієї точки, тоді елементи ескізу автоматично здійснюють прив'язку до неї й не потрібно додаткових взаємозв'язків для повного визначення ескізів. Для орієнтації площини ескізу в просторі на екрані в графічній області

завжди є присутнім значок тріади  - "**Система координат**". Система координат з'являється в документах деталей і складань, щоб допомогти орієнтуватися в просторі при перегляді моделей. Система координат служить тільки для довідки. Її не можна вибрати або використовувати в якості точки формування. Систему координат можна сховати або вказати для неї кольори. При обертанні площини з ескізом тріада також обертається й показує поточне просторове положення площини ескізу.

При побудові ескізу необхідно стежити, щоб він мав замкнений контур. SolidWorks допускає в одному ескізі наявність декількох замкнених контурів, при цьому формується багатотільна деталь. У цьому випадку при витягуванні ескізу програма попросить вказати розташування контуру. Якщо контур не замкнути, то при витягуванні програма буде інтерпретувати ескіз як тонкостінний елемент і попросить указати його товщину. При створенні ескізів можна вирізати або копіювати й вставляти об'єкти ескізу, як з одного ескізу в інший, так і усередині одного ескізу.

У процесі малювання ескізу з'являються лінії формування, які працюють разом з покажчиками, прив'язками й взаємозв'язками, щоб графічно відобразити, як об'єкти ескізу впливають один на одного. **Лінії формування** - це пунктирні лінії, які з'являються в міру створення ескізу. Коли покажчик наближається до висвітлених міток, наприклад, середнім точкам, лінії формування використовуються як орієнтири залежно від існуючих об'єктів ескізу. І нарешті, двовимірні ескізи можна створювати тільки на площинах або на існуючих гранях деталі, а тривимірні ескізи - у тривимірному просторі.

Запуск програми здійснюється клацанням миші по значкові програми на робочому столі, або вибором команди **"Пуск | Программы | SolidWorks"**. Після запуску програми будуть доступні два варіанти подальшої роботи: відкриття існуючих файлів деталей, складань або креслень, або створення нових файлів.

Скористаємося другим варіантом для створення нового файлу. Якщо у вас уже є які-небудь файли, створені в SolidWorks, скористайтесь першим варіантом. Якщо файли створені в попередніх версіях SolidWorks, то SolidWorks їх відкрис, тому що наступні версії програми читають файли попередніх версій. У вікні, що з'явилося (рис. 6.2), у вкладці **"Шаблоны"** виберіть шаблон **"Деталь"**, виділивши відповідний значок, і натисніть кнопку **ОК**.

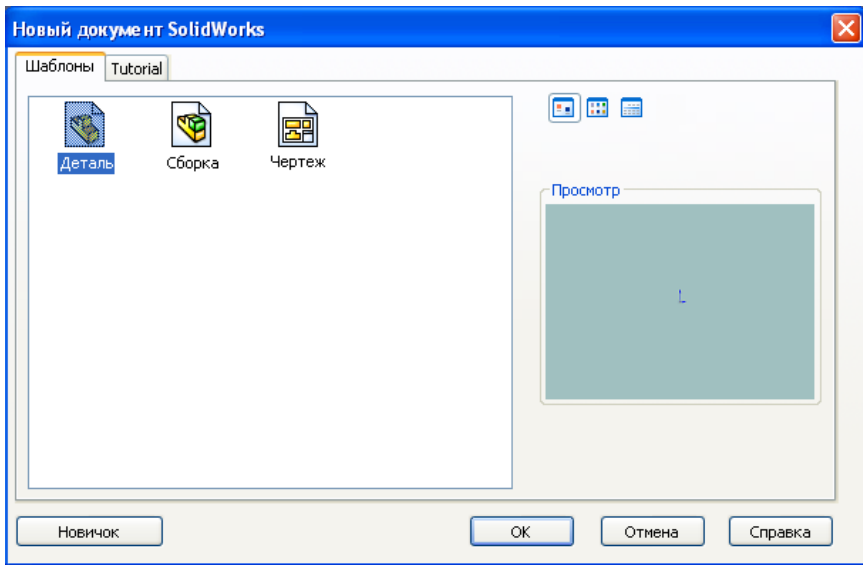


Рисунок 6.2 - Вкладка **"Шаблоны"**

Далі перед нами відкрився користувацький інтерфейс SolidWorks, з відкритою вкладкою **"Эскизы"** (рис. 6.3). Основні елементи інтерфейсу показані на рис. 6.4. Програма написана для роботи з Windows, тому всі стандартні елементи інтерфейсу розташовані на звичних місцях. При створенні нової деталі в правому нижньому куті може з'являтися помічник **"Справка: Быстрые советы"**.

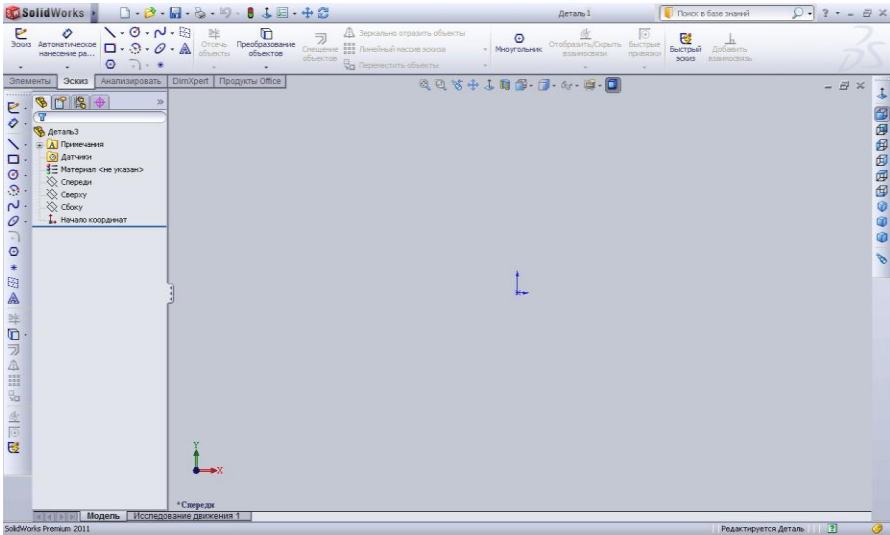


Рисунок 6.3 - Интерфейс SolidWorks з відкритою вкладкою "Эскизы"

Покладайте мишею по элементам списка **"Что необходимо сделать?"** - і програма вкаже вам, якими кнопками краще скористатися в тому або іншому випадку.

Якщо ви не потребуєте помічника, то сховайте його, нажавши мишею на знак питання в нижньому правому куті екрана. У верхній частині інтерфейсу перебуває рядок меню команд програми. Меню може бути приховано значками часто використовуваних команд.

Щоб відкрити меню, наведіть покажчиком миші на логотип програми. Наприклад, у меню **"Файл"** згруповані такі команди, як **"Новый, Открыть, Закрыть, Сохранить"**, що працюють із файлами.

Меню **"Правка"** дозволяє вирізати, копіювати, вставляти й видаляти елементи побудови, а також скасовувати введені команди.

Меню **"Вид"** поєднує команди, що задають орієнтацію моделі й виду проектованої деталі або складання. Меню **"Вставка"** призначене для додавання різних елементів побудови. Меню **"Инструменты"** дозволяє набудовувати інтерфейс SolidWorks, а також застосовувати інструменти для виміру, визначення й аналізу характеристик моделей.

Через меню **"? (Справка)"** можна одержати доступ до великої електронної довідкової системи SolidWorks.

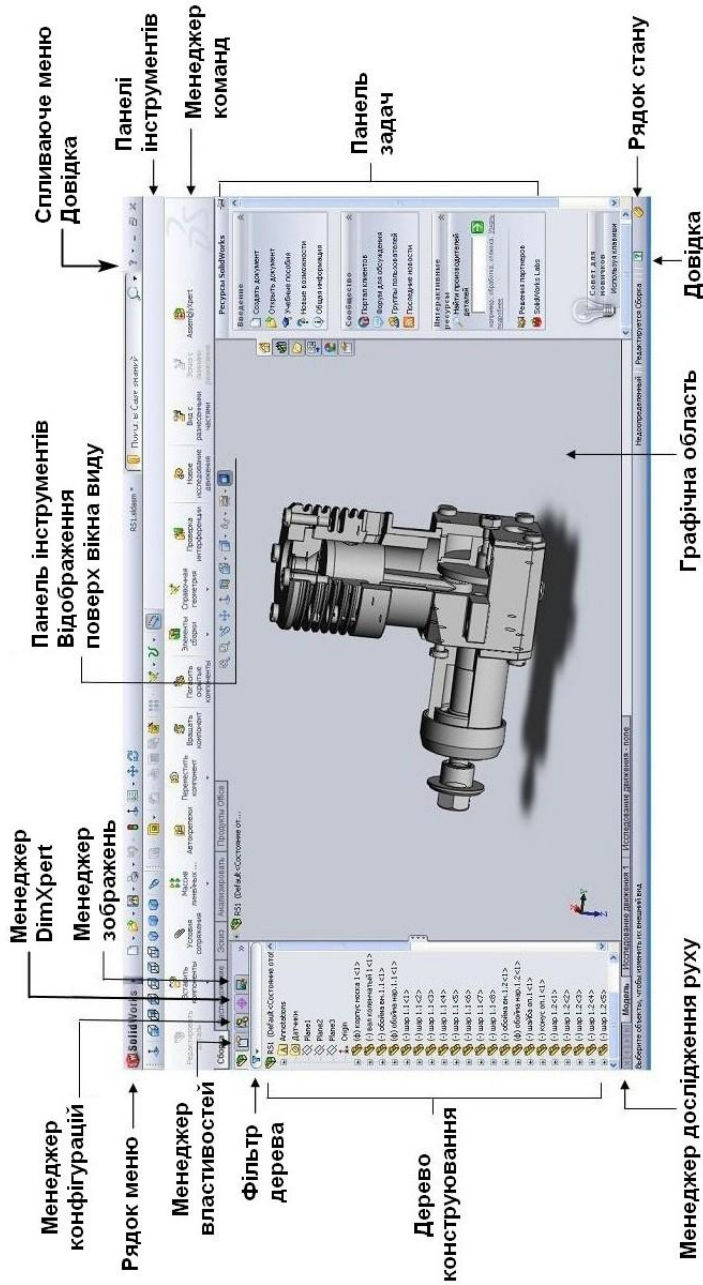


Рисунок 6.4 - Основні елементи інтерфейсу SolidWorks

З допомогою меню **"? (Справка)"** досвідчений користувач швидко освіжить у пам'яті призабуті команди, а новачок довідається про функціональні можливості програми.

У списку кожного меню є пункт **"Настройка меню"**, який дозволяє набудовувати вид списку. Наприклад, виберіть команду **"Файл | Настройка меню"**.

З'явиться меню, що випадає, показане на рис. 6.5. У цьому меню синіми прапорцями відзначені ті пункти меню **"Файл"**, які будуть відображатися при його виклику. Знімаючи й установлюючи ці прапорці, ви набудовуєте інтерфейс під себе. Трохи нижче рядка меню розташовуються значки, які призначені для швидкого виклику команд, тобто вони дублюють команди, розташовані в меню.

У загальному випадку практично кожна команда SolidWorks може бути викликано двома або навіть трьома способами: з рядка меню; за допомогою команд у відповідній панелі інструментів; за допомогою **"Менеджера команд"**; комбінацією

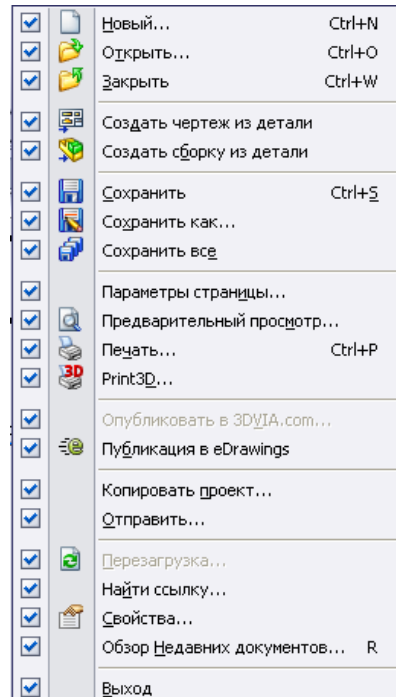


Рисунок 6.5 - Настроювання меню

гарячих клавіш; за допомогою випадаючого меню правої кнопки миші.

У процесі освоєння програми ви поступово знайдете інші способи й визначите для себе, яким з них у кожний конкретний момент вам зручніше буде користуватися. Усі значки зібрані в інструментальні панелі, які, у свою чергу, також можна набудовувати - відключати, переставляти на екрані і т.д. Крім того, кожен інструментальну панель можна оперативнo перемістити на екрані простим перетаскуванням миші, захоплюючи курсором заголовок панелі. При цьому курсор миші набуває певного вигляду.

Для того щоб додати або вилучити інструментальні панелі, не-

обхідно в меню **"Інструменти | Налаштування"** на вкладці **"Панель інструментів"** установити або забрати відповідні прапорці (рис. 6.6).

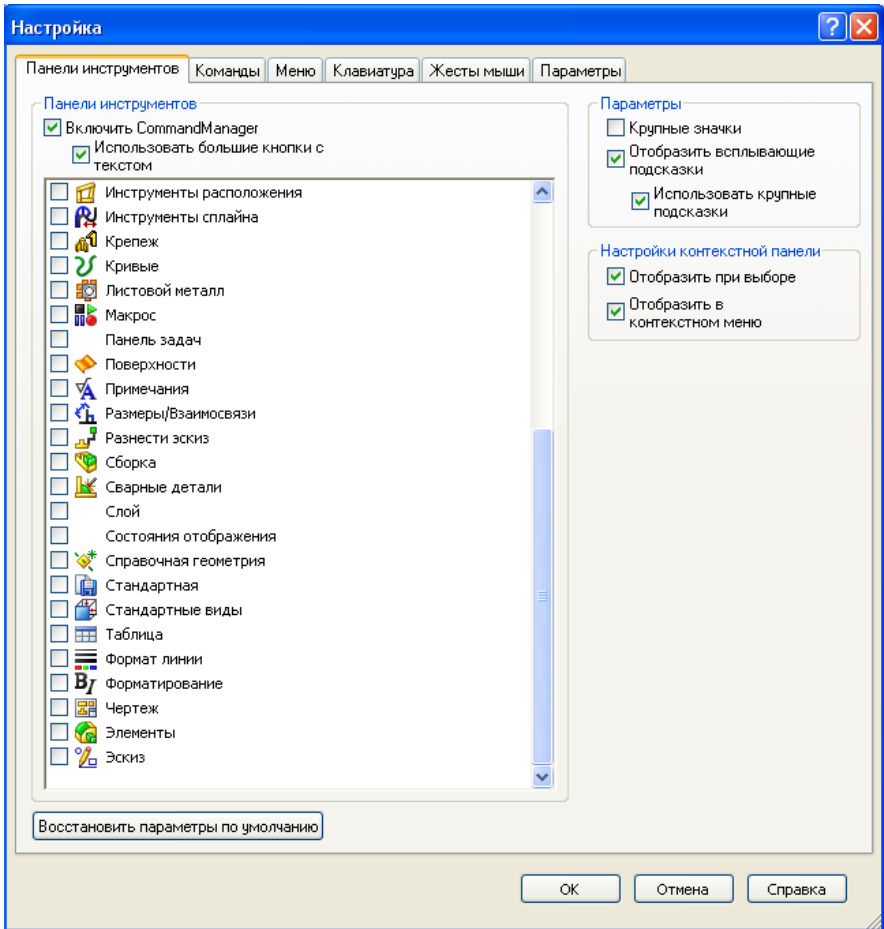


Рисунок 6.6 - Настроювання інструментальних панелей

Якщо перейти на вкладку **"Команды"**, можна додати або забрати окремі значки на панель інструментів. Усі значки розбиті по категоріях для зручності їх систематизації й вибору (рис. 6.7). При наведенні покажчика миші на значок команди з'являється спливаюча підказка про призначення цієї команди. Якщо команда має визначену

комбінацію гарячих клавіш, то ця комбінація також буде зазначена. Наприклад, для команди створення нового файлу служить комбінація гарячих клавіш <Ctrl>+<N> (рис. 6.7).

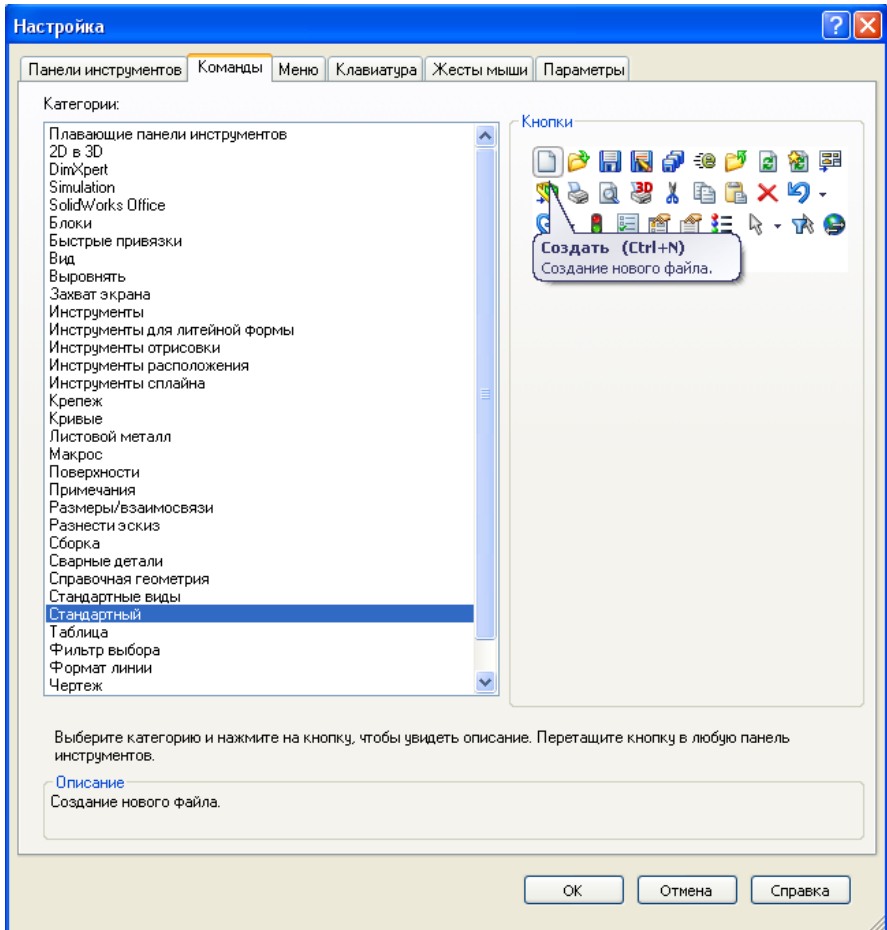


Рисунок 6.7 - Настроювання меню команд

Щоб додати значок на панель інструментів, необхідно знайти його у відповідній категорії, а потім, навівши покажчик миші на значок, натиснути ліву кнопку й, утримуючи її, перетягнути в зручне місце на панелі інструментів і відпустити кнопку. Доданий значок відобра-

зиться на екрані в панелі інструментів. Щоб витягнути значок, необхідно "схопити" його мишею в інструментальній панелі вікна програми й перетягнути у вікно налаштувань.

Після того як кнопка миші буде відпущена, значок зникне з екрана. Після всіх маніпуляцій зі значками натисніть кнопку **ОК** у вікні **"Налаштування"**. За замовчуванням у лівій частині екрана розташоване **"Дерево Конструювання"** (рис. 6.8), у якому будуть відображатися всі наші побудови.

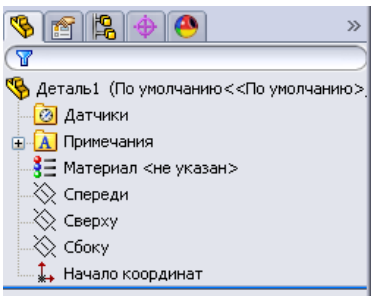


Рисунок 6.8 - Вікно **"Дерево Конструювання"**

Ми тільки збираємося почати створювати модель, тому дерево конструювання порожнє: є тільки вихідні площини **"Спереди, Сверху и Сбоку"**, на яких можна починати побудову ескізів, і точка **"Начало координат"** у місці перетинання стандартних площин. Ці площини розташовані одна до одної ортогонально, дозволяючи ефективно будувати тривимірну модель, використовуючи всі три напрямки одночасно.

Інші об'єкти дерева конструювання до ескізів не відносяться, і ми їх розглянемо пізніше. Інструментальна панель **"Элементы"**, що служить для створення твердотільної моделі, за замовчуванням перебуває у верхній частині екрана. У цей момент у ній доступні тільки дві команди: **"Вытянутая бобышка/основание"** й **"Повернутая бобышка/основание"**, тому що тільки ці команди можуть створити новий ескіз.

Щоб відобразити команди малювання ескізу, клацніть лівою кнопкою миші на вкладці менеджера команд. Можна також викликати панель інструментів **"Эскиз"** на екран, пройшовши шлях **"Вид | Панель инструментов | Эскиз"**, панель інструментів що з'явилася, можна транспортувати мишею в будь-яке зручне для вас місце екрана. Інструментальна панель **"Эскиз"** містить у собі основні команди створення ескізів. В інструментальних панелях недоступні в цей момент команди мають блідо-сірий колір. Такий спосіб організації дозволяє уникнути надмірної перевантаженості інтерфейсу.

Для того щоб перейти в режим малювання ескізу, клацніть лівою кнопкою миші в дереві конструювання на площині **"Спереди,**

Сверху или Сбоку" й потім на кнопці **"Эскиз"**. Після натискання кнопки **"Эскиз"** потрібно вибрати площину, на якій ви збираєтеся створювати ескіз. Укажіть одну із площин у дереві конструювання або в графічній області побудов.

При вході в режим малювання ескізу на екрані з'являється координатна сітка. Сітку також можна набудувувати. Для цього виберіть команду **«Инструменты | Параметры»** або просто натисніть кнопку — **«Настройка»**, потім перейдіть на вкладку **«Свойства документа»** й виберіть пункт **«Масштабная сетка/Привязать»**. З'явиться поле **«Масштабная сетка»** (рис. 6.9), у якому можна настроїти крок сітки, інтервал прив'язки або взагалі її забрати. Після всіх маніпуляцій з установкою й видаленням прапорців не забудьте натиснути кнопку **ОК**.

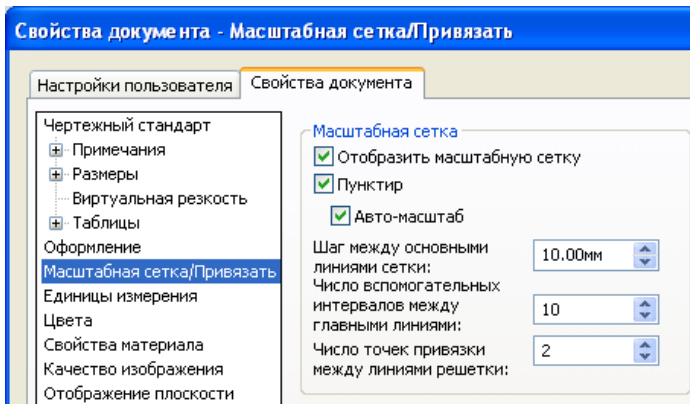


Рисунок 6.9 - Настроювання масштабної сітки

Якщо необхідно встановлювати прив'язки елементів ескізу до координатної сітки або інших елементів, виберіть команду **«Инструменты | Параметры»** на вкладці **«Настройки пользователя»** в пункті **«Взаимосвязи /привязки»** (рис. 6.10).

У центрі екрана відповідним значком відображений початок координат. У цій точці перетинаються вихідні площини **«Спереди, Сверху и Сбоку»**. Малювати ескіз рекомендується починати із цієї точки, тоді елементи ескізу автоматично прив'язуються до неї. Якщо ж контур ескізу не буде проходити через початок координат, прийдеється задавати додаткові розміри з метою визначення положення ескізу щодо цієї точки.

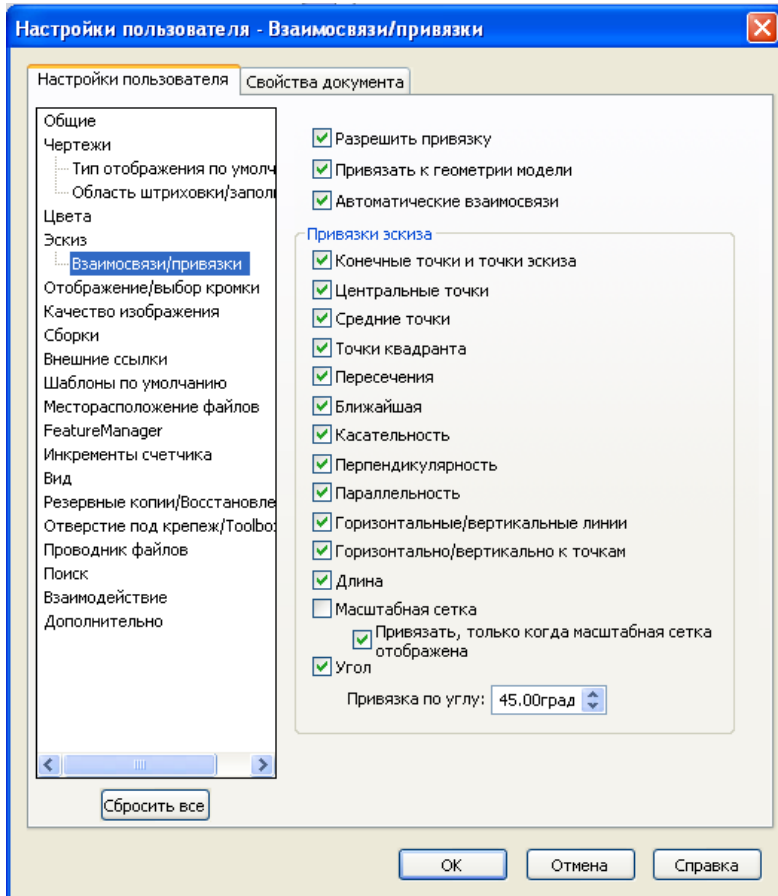


Рисунок 6.10 - Настроювання прив'язок

У нижній лівій частині області малювання ескізу розташовується тріада ескізу, яка вказує розташування площини побудови в тривимірному просторі. Оскільки SolidWorks є програмою тривимірного моделювання, усі плоскі ескізи ви малюєте в тривимірному просторі. У цьому легко переконатися, якщо ви натиснете в області малювання колесо миші й, не відпускаючи, поведете нею. Площина малювання почне обертатися в просторі. Цього ж результату можна добитися, якщо викликати команду — «**Врацать вид**» у панелі інструментів «**Вид**». При цьому курсор здобуває відповідний до команди вид. Пло-

щина змінить своє положення. Проте, ескіз малювати можна й на поверненій площині. Щоб повернути площина малювання у вихідний стан, натисніть кнопку **«Предыдущий вид»** у панелі інструментів **«Вид»**. Або просто натисніть кнопку **«Перпендикулярно»** в тій же панелі інструментів. Площина побудов повинна повернутися у вихідний стан і збігатися із площиною екрана.

У нижній частині екрана розташовується статусний рядок, у якому вказуються поточні координати курсору й режимні параметри моделі.

Створення простого ескізу.

Прості ескізи, як правило, складаються із примітивів: відрізків, окружностей, дуг тощо, з'єднаних у замкнений контур. Крім того, SolidWorks дозволяє створювати деталі з декількох замкнених контурів, а також тонкостінні деталі з незамкнутих контурів. Більш складні ескізи передбачають використання додаткових можливостей, які при правильному застосуванні прискорюють процес проектування. Але доцільність застосування тих або інших можливостей ескізного інструментарію, в остаточному підсумку, буде визначатися досвідом роботи в SolidWorks.

Розглянемо створення простого ескізу на прикладі деталі **«Кронштейн»**. Як уже було показано, відразу після створення файлу деталі можна включити режим побудови ескізів, вибравши площину й нажавши кнопку **«Эскиз»** панелі інструментів **«Эскиз»**. Вікно, у якому проводяться побудови, за замовчуванням покрите сіткою. Якщо сітки немає, її можна відобразити, вибравши команду **«Инструменты | Параметры»** й на вкладці **«Свойства документа»** в розділі **«Масштабная сетка»** встановивши прапорець **«Отобразить масштабную сетку»**. Для оперативного включення й вимикання масштабної сітки рекомендується винести значок **«Масштабная сетка/Привязать»** на панель інструментів **«Эскиз»**.

Тут також можна задати бажані параметри сітки й установити прив'язку елементів ескізу до масштабної сітки. Після установки всіх параметрів натисніть кнопку **ОК** і поверніться в режим малювання ескізу. Параметри масштабної сітки можна викликати в будь-який момент редагування ескізу. Масштаб сітки можна також змінювати обертанням колеса миші. Сітка дає користувачеві візуальну уяву про розміри й кути.

Мишею виберіть команду малювання лінії **«Линия»** інструмен-

тальної панелі «Ескиз». Ліворуч у менеджері властивостей виникає вікно «Вставити лінію» (рис. 6.11).

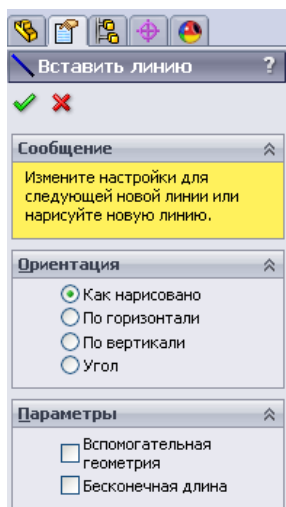


Рисунок 6.11 - Вікно «Вставити лінію»

При цьому дерево конструювання переміщається в область побудов. Таке переміщення дерева конструювання дозволяє здійснювати безперервний контроль над процесом проектування навіть у тому випадку, якщо з'являються діалогові вікна менеджера властивостей при виконанні команд. У вкладці «Ориентация» можна задати положення передбачуваної лінії, якщо відомо, що вона повинна бути строго горизонтальна, вертикальна або розташовуватися під певним кутом. Для нашого випадку залишимо активною позицію «Как нарисовано». Перемістіть курсор в область малювання. При цьому він здобуває вид олівця з лінією. Підведіть курсор до початку координат, де планується розташувати початкову точку лінії. Поруч повинен виникнути символ прив'язки.

Натисніть ліву кнопку миші й, утримуючи її, починайте переміщати курсор до кінцевої точки лінії. Зверніть увагу на динамічну лінію, яку програма проводить до курсору від зазначеної раніше точки. Як тільки курсор досягне кінцевої точки відрізка, відпустіть клавішу миші. Не намагайтеся витримувати лінії строго вертикально або горизонтально, далі ми побачимо, як цього добитися без яких-небудь утруднень. Отже, намалюйте горизонтальний відрізок довжиною близько 100 мм. При проведенні відрізка поточна довжина відображається поруч із курсором (рис. 6.12).



Рисунок 6.12 - Побудова горизонтального відрізка

При малюванні ескізів особливої точності дотримувати не пот-

рібно: довжина може трохи відрізнятись від 100 мм, а лінія бути не строго горизонтальною (як, наприклад, показано на рис. 6.12).

Однак якщо намалювати відрізок занадто довгим або занадто коротким, тобто, швидше за все, ескіз може прийняти неправильну форму при проставлянні розмірів, і тоді буде потрібно додаткове коректування його елементів.

Якщо при побудові відбулася помилка, то слід натиснути кнопку **«Отменить ввод»** на інструментальній панелі **«Стандартная»** а потім повторно викликати команду **«Линия»** з інструментальної панелі **«Эскиз»**. Відмінити ввод можна або вибравши команду **«Правка | Отменить ввод | Линия»**, або просто нажавши комбінацію клавіш **<Ctrl>+<Z>**. Якщо команда побудови ліній усе ще активна, можна відразу ж додати в ескіз другий відрізок.

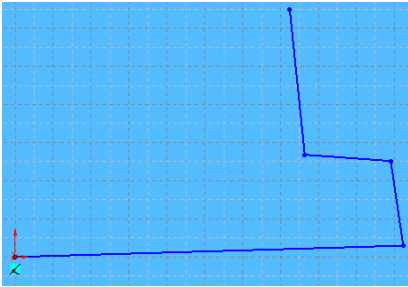


Рисунок 6.13 - Побудова вертикального відрізка

Підведіть курсор до кінця відрізка, від якого ви прагнете продовжити ескіз. Поява двох концентричних окружностей на жовтому тлі поруч із курсором свідчить про захват кінця відрізка, у результаті чого відрізки будуть з'єднані. Якщо провести другий відрізок до появи цього значка, то перший відрізок не з'єднається із другим, і ескіз не буде замкненим. Будуємо вертикальний відрізок довжиною 20 мм.

Під час побудови можуть з'являтися ортогональні пунктирні лінії формування. Ці лінії дозволяють орієнтуватися при побудові ескізів. Контур з відрізків можна будувати шляхом почергового позиціонування курсору в необхідному місці й клацання миші. Для завершення ланцюжка необхідно виконати подвійне клацання миші або, нажавши праву кнопку миші, у спливаючому меню вибрати пункт **«Завершить цепочку»**. Побудуйте другий горизонтальний відрізок довжиною приблизно 20 мм і ще один вертикальний довжиною приблизно 40 мм. У підсумку ви повинні одержати ескіз, показаний на рис. 6.13.

Для того щоб створити дуговий сегмент ескізу, виберіть команду **«Касательная дуга»** в панелі інструментів **«Эскиз»** і розмістіть курсор точно наприкінці четвертого відрізка. Далі клацніть мишею й ведіть курсор, як би продовжуючи відрізок нагору й трохи вліво. Про-

грама динамічно буде формувати дугу. Причому дуга буде дотичною до відрізка, від якого вона почала будуватися.

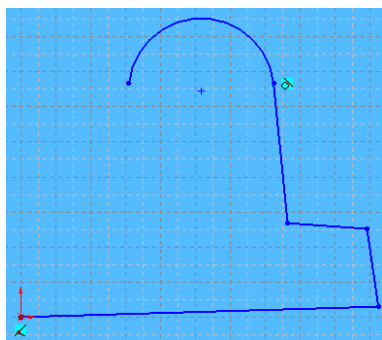


Рисунок 6.14 - Побудова дуги

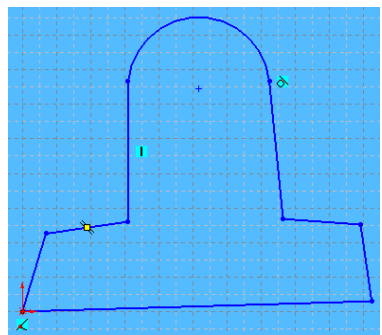


Рисунок 6.15 - Замкнений ескіз

Траєкторія руху по дузі повинна приблизно відповідати показаній на рис. 6.14, щоб центральний кут дуги був близький до 180° . Особливої точності домагатися не треба. Ескіз повинен мати поки приблизні форми й розміри. Після клацання миші, до ескізу додається півколо. Якщо у вас дуга з першого разу не вийшла, натисніть клавішу **<Delete>** і спробуйте ще раз. Для завершення команди в контекстному меню правої кнопки миші є пункт **«Выбрать»**. Знову активізуйте команду побудови відрізків і намалюйте відрізки, приблизно симетричні побудованим. Залежно від того, наскільки близько до ідеального розташування вказувалися точки, ескіз може виявитися правильним або злегка перекрученим. Ескіз може вийти, наприклад, таким, як показано на рис. 6.15. Нічого страшного, що ескіз поки "кривий". Наступними діями ми приведемо його в порядок.

Для того щоб накласти на ескіз додаткові взаємозв'язки елементів, необхідно викликати команду **«Добавить взаимосвязь»** панелі інструментів **«Размеры/взаимосвязи»**. При цьому виникає діалогове вікно, показане на рис. 6.16. Спочатку вікно **«Выбранные объекты»** порожнє. Виділяємо мишею відрізки, які повинні бути в ескізі горизонтальними. Обрані відрізки відразу відображаються у вікні **«Выбранные объекты»**. У вкладці **«Добавить взаимосвязи»** напівжирним шрифтом позначаються ті взаємозв'язки, які найбільш близькі до побудованої фігури. Наприклад, при виборі об'єкта **«Линия1»** напівжирним шрифтом відзначений взаємозв'язок **«Горизонтальный»** (рис. 6.16). Натисніть на цю кнопку, і ви побачите, що нижня лінія нашого ескізу стала строго горизонтальною, а у вкладці **«Существующие**

взаимосвязи» з'явився напис «Горизонтальность1».

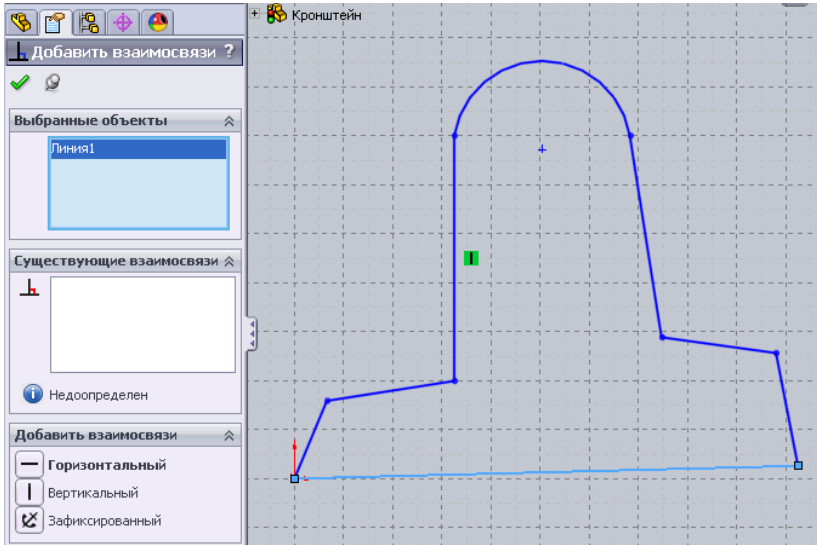


Рисунок 6.16 - Накладення взаємозв'язків

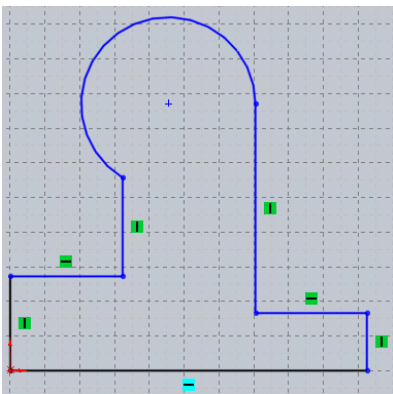


Рисунок 6.17 - Накладені взаємозв'язки

Аналогічно встановіть взаємозв'язок вертикальності для відрізків. У результаті цих дій ескіз може трохи змінити свою форму (рис. 6.17). Нічого страшного. Головне, щоб не з'явилися пересічні відрізки. Якщо таке відбулося, необхідно підкоректувати розміри ескізу. Зверніть увагу, що поруч із елементами ескізу проставлені значки доданих взаємозв'язків. З одного боку, вони показують, які зв'язки накладені на елемент ескізу, з іншого боку цими значками можна управляти, наприклад, вилучити взаємозв'язок.

Положення елемента в ескізі при цьому не зміниться, але зв'язок буде вилучений. Для видалення взаємозв'язку клацніть по його позначенню й натисніть клавішу **<Delete>**.

В інструментальній панелі «Размеры/взаимосвязи» викличте

команду «**Автоматическое нанесение размеров**» і клацніть мишею на нижньому горизонтальному відрізку для нанесення розміру. Потім перемістіть мишу трохи нижче. З'являється динамічний зразок розміру. Для проставлення розміру в обраному місці клацніть мишею. З'явиться поле з поточним розміром відрізка. При нанесенні розміру між паралельними лініями необхідно виділити мишею спочатку одну лінію, потім другу, вказати місце для динамічного зразка розміру (рис. 6.18).

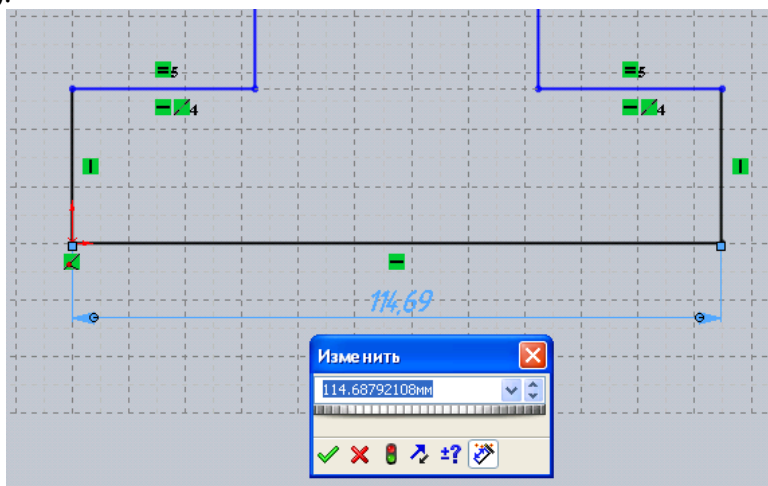


Рисунок 6.18 - Нанесення розмірів

Значення тільки що нанесеного розміру визначається тим, у яких точках користувач робив клацання мишею при побудові ескізу. Нам потрібно, щоб довжина нижнього відрізка становила точно 100 мм. Для того щоб добитися цього, просто двічі клацніть на розмірі. Відкривається діалогове вікно «**Изменить**» (рис. 6.18). У ньому введене поточне значення розміру. Введіть число 100 із клавіатури. Тому що SolidWorks - програма параметричного моделювання, уся геометрія ескізу підбудовується під нове значення ширини й відбувається зміна місця розташування сусідніх зв'язаних елементів. Натисніть кнопку **ОК**.

Додамо в наш ескіз кронштейна окружність із центром, що збігається із центром дуги. Викличте команду «**Окружность**» панелі інструментів «**Эскиз**». Підведіть курсор до перехрестя — центру дуги

(близько курсору повинен з'явитися символ прив'язки на жовтому тлі). Натисніть ліву кнопку миші. Далі, відводячи мишу від центру, позначте положення передбачуваної окружності й натисніть ліву кнопку миші ще раз. З'явиться новостворена окружність. Задайте розмір окружності (рис. 6.19).

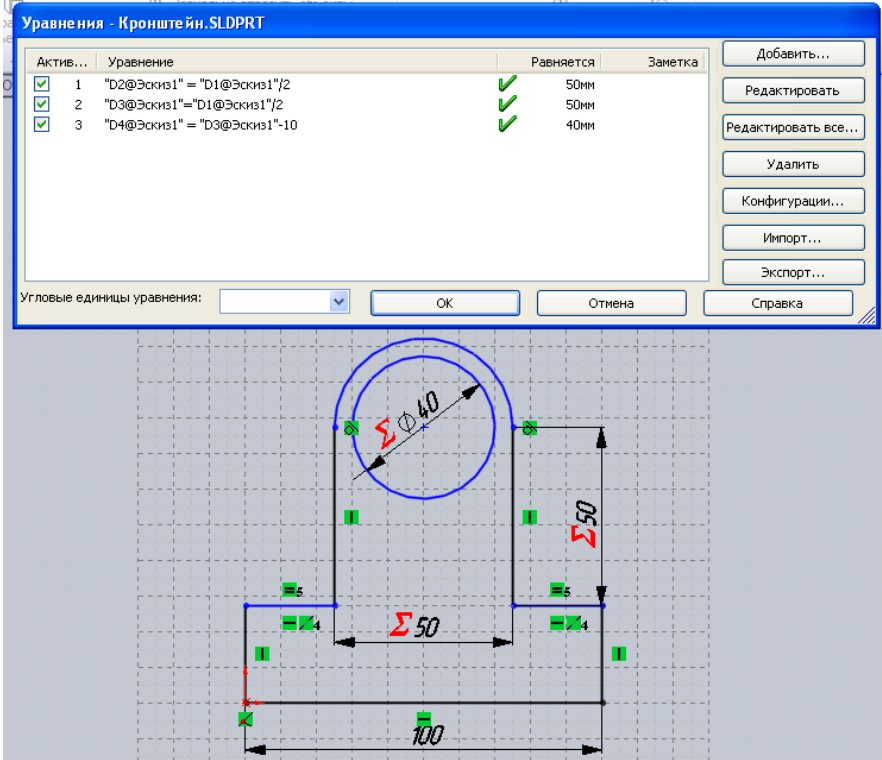


Рисунок 6.19 - Побудова окружності

Далі встановіть товщину кільця кронштейна 5 мм. Для цього використовуйте розмір між двома вертикальними лініями й діаметр окружності: додайте нове рівняння зв'язку розміру окружності й горизонтального розміру, які повинні відрізнятись друг від друга на 10 мм (рис. 6.19). У завданні розміру бере участь не тільки ім'я розміру (D1, D2, D3 і т.д.), але ім'я ескізу (Ескіз) зі значком @. Тим самим розміри можуть управлятися даними не тільки із цього ескізу, але й з інших ескізів.

Повне визначення ескізу.

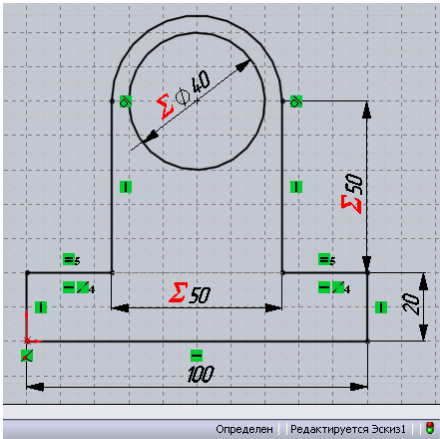


Рисунок 6.20 - Повне визначення ескізу

Якщо ви звернули увагу, деякі елементи нашого ескізу мають синій колір, а в статусному рядку SolidWorks зазначено **«Недоопределен»**. Це означає, що наш ескіз не повністю готовий: ми можемо, зачепивши мишею за який-небудь елемент ескізу, перетягнути його. Недовизначення ескізів може позначитися надалі при створенні складань, коли одна з деталей знезацька змінить свою форму або взаємне положення елементів у багатотільної деталі. Щоб цілком визначити ескіз,

необхідно його жорстко зафіксувати щодо центру координат. Наш ескіз можна повністю визначити, додавши додаткові взаємозв'язки. В ескізі кронштейна необхідно вказати розмір висоти плічок, наприклад, 20 мм. Зробіть це й побачите, що колір елементів ескізу став чорним, а в статусному рядку зазначено **«Определен»**. Тепер ескіз має єдине рішення, показане на рис. 6.20.

Використання дзеркального відбиття об'єктів.

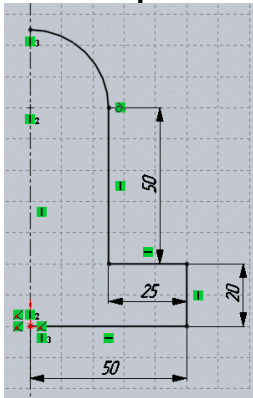


Рисунок 6.21 - Половина ескізу

Команда дзеркального відбиття об'єктів буває корисною тоді, коли ескіз має площину симетрії. У цьому випадку немає необхідності повністю малювати ескіз, досить намалювати його половину й дзеркально відобразити. Послідовність застосування даної команди наступна:

1. Малюємо елементи ескізу.
2. Проводимо осьову лінію.
3. Здійснюємо дзеркальне відбиття обраних елементів.

Продемонструємо це на прикладі ескізу кронштейна. Побудуйте ескіз половини кронштейна, показаний на рис. 6.21.

Далі потрібно вказати розміри й зробити ескіз повністю визначеним уже відомим вам способом. Тепер активізуйте команду «**Осевая линия**» і проведіть осьову лінію вертикально через початок координат аналогічно тому, як раніше ви проводили лінію простого ескізу. У результаті у вас повинен вийти ескіз із осьовою лінією (рис. 6.21).

Тепер побудуємо дзеркальне відбиття нашого ескізу, викликавши команду «**Зеркально отразить объекты**» з панелі інструментів «**Эскиз**». У менеджері властивостей відобразиться діалогове вікно «**Зеркальное отражение**» (рис. 6.22), у якому слід вибрати елементи для відображення й лінію, щодо якої необхідно відобразити обрані елементи.

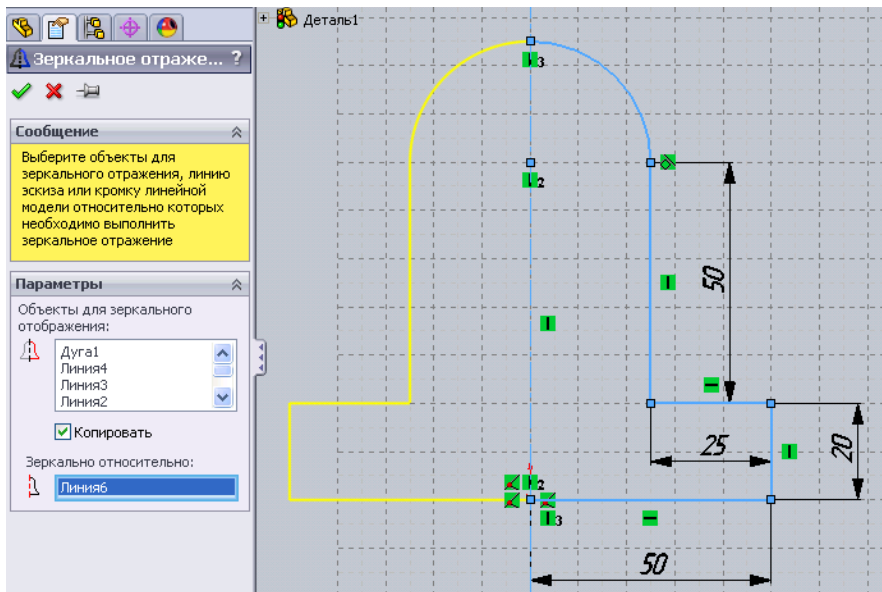


Рисунок 6.22 - Діалогове вікно «Зеркальное отражение»

Клацніть мишею в полі «**Зеркально относительно**» й укажіть осьову лінію. У вікні повинне з'явитися найменування лінії, наприклад, «**Линия6**». Номер лінії може відрізнитися від показаного на рис. 6.22. Це залежить від того, якою за рахунком елементом ескізу була створена осьова лінія. Далі клацніть мишею в полі «**Объекты для зеркального отображения**» й укажіть послідовно всі елементи ескізу (крім осьової лінії). По мірі вказування елементів будуть з'являтися

їхні відбиті образи (рис. 6.22). В разі необхідності додавання до побудованого ескізу фасок, слід використовувати діалогове вікно **«Скругление»** з панелі інструментів **«Эскиз»**, відповідно у менеджері властивостей треба вибрати вкладку **«Настройки фаски»** (рис. 6.23).

Проробивши все це, натисніть кнопку **ОК** у менеджері властивостей, і у вас повинен вийти ескіз, показаний на рис. 6.24.

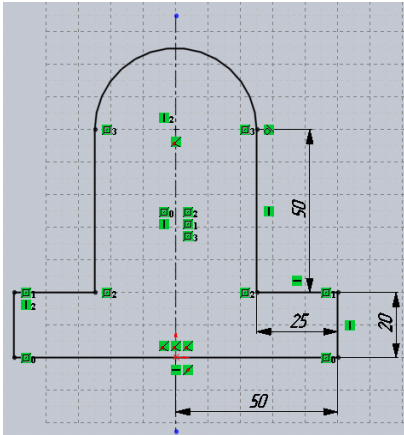


Рисунок 6.24 - Готовий ескіз

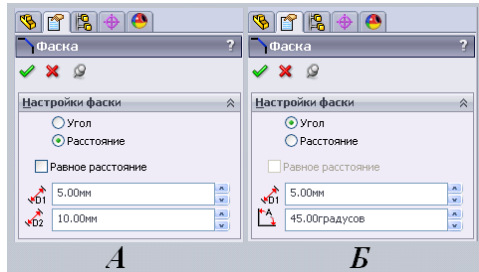


Рисунок 6.23 - Вкладка «Настройки фаски»

Використання команд отрисовки массивів.

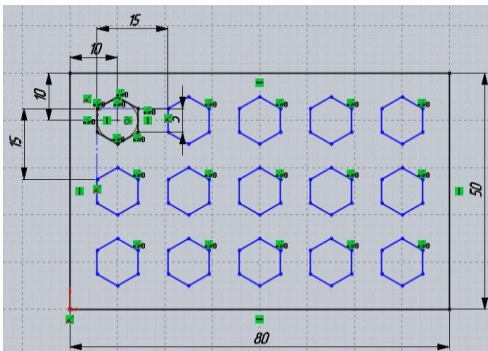


Рисунок 6.25 - Приклад лінійного масиву

Команди отрисовки массивів призначені для ескізів з багаторазово повторюваними елементами. В SolidWorks розрізняють два види массивів: лінійний массив ескізу та круговий массив ескізу.

Лінійні массиви використовуються для створення копій, які можна розмістити на однаковій відстані уздовж однієї або двох траєкторій наприклад ескіз плити із гніздами складної форми (рис. 6.25).

Круговий массив застосовується в тих випадках, коли необхідно

намалювати кілька однакових елементів ескізу навколо деякої точки. Для прикладу на рис. 6.26 показана побудова ескізу окружності з пелюстками у вигляді напівеліпсів.

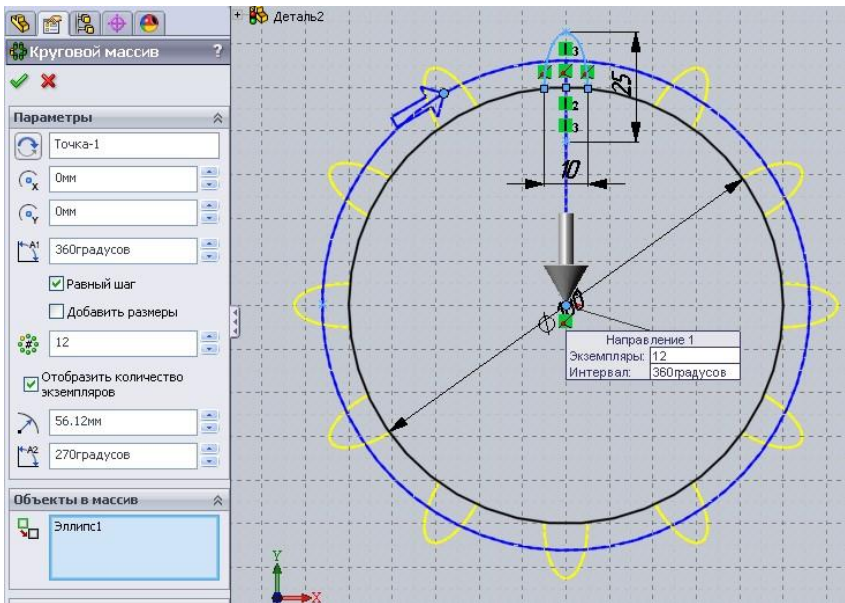


Рисунок 6.26 - Побудова ескізу окружності з пелюстками у вигляді напівеліпсів

Використання сплайнів в ескізах.

Сплайни призначені для малювання складних профілів або профільованих поверхонь. Задаючи точні координати точок сплайна, можна формувати поверхні таких деталей, як лопатки турбін, кулачки і т.д. Розглянемо використання сплайна на прикладі створення профілю кулачка. Відкрийте для редагування нову область побудови й намалюйте ескіз початкової окружності радіусом 40 мм і із центром на початку координат. По команді «Сплайн» у менеджері властивостей з'явиться діалогове вікно «Сплайн». Починаючи ліворуч від окружності, ставлячи послідовно точки вище цієї окружності, проведіть сплайн так, як показано на рис. 6.27.

Щоб завершити малювання сплайна, клацніть правою кнопкою миші в графічній області побудови ескізу й у контекстному меню ви-

беріть пункт «**Завершить сплайн**». Якщо у вас точки встануть трохи криво, то надалі положення точок можна буде виправити. Тепер просто натисніть кнопку **ОК**.

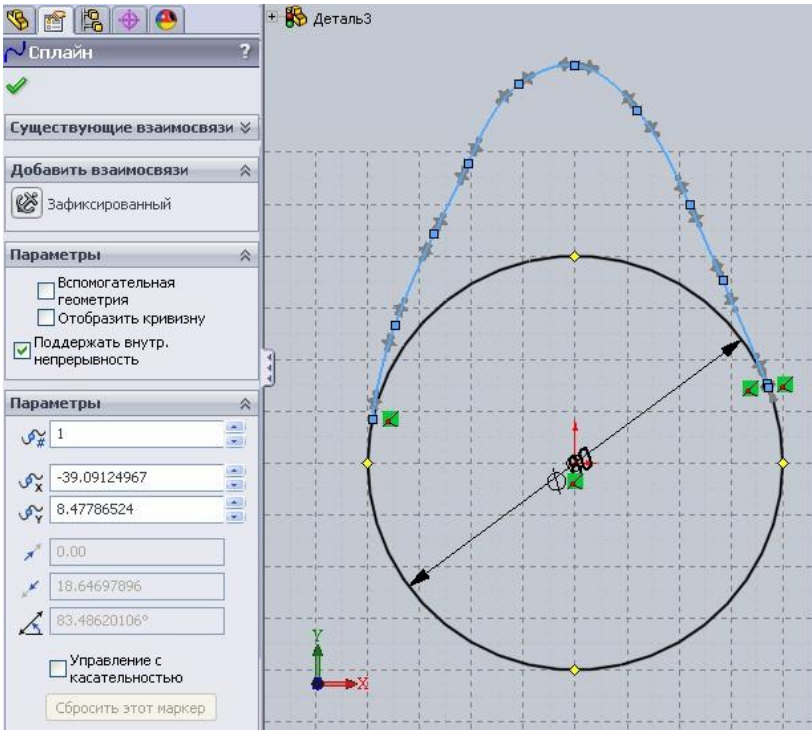


Рисунок 6.27 - Побудова сплайна

Для більш точної побудови профілю можна скористатися інструментом, який буде епюру кривизни сплайна в кожній точці. Наведіть курсор миші на сплайн і в контекстному меню правої кнопки виберіть пункт «**Отобразить обозначения кривизны**». На сплайні виникне епюра кривизни, а в діалоговому вікні властивостей «**Масштаб кривизны**» за допомогою движка можна задати коефіцієнт збільшення епюри. Натисніть кнопку **ОК**, коли епюра буде необхідної кривизни. Відключення відображення позначення кривизни проводиться аналогічно включенню. Тепер, міняючи положення точок сплайна, можна стежити за епюрою і коректувати сплайн.

Тривимірні ескізи.

При створенні двовимірного ескізу вся геометрія проектується на площину, і всі точки простору, розташовані за нею, виявляються поза видимістю. Силуетні крайки стають плоскими об'єктами так, що певні кути, округлення й циліндри відображаються як дуги й лінії. Тому для малювання будь-якого каркаса або звареної деталі із профілів зручно користуватися тривимірними ескізами.

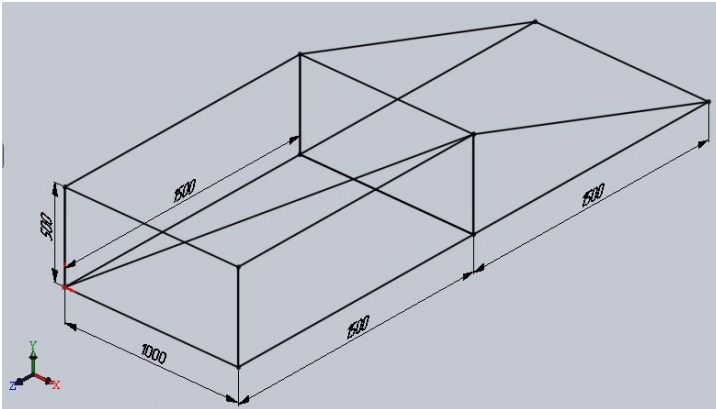


Рисунок 6.28 - Тривимірний ескіз естакади

При роботі із тривимірним ескізом можна скористатися графічним помічником, який допомагає зберегти орієнтацію під час малювання на декількох площинах. Цей помічник називається **маркером координат** - він з'являється при визначенні першої точки лінії або сплайна на обраній площині. За допомогою маркера координат можна вибрати вісь, уздовж якої необхідно виконати малювання. Крім того, при малюванні в тривимірному ескізі можна використовувати систему координат ескізу, яку можна відобразити в області побудов. Для цього в режимі малювання тривимірного ескізу натисніть праву кнопку миші в графічній області малювання й у контекстному меню, що випадає, виберіть пункт «**Отобразити триаду ескиза**».

У процесі малювання тривимірного ескізу систему координат можна залишити на місці, заданому за замовчуванням, або перетягнути її на поверхню або криву, так, що осі будуть орієнтовані на дану геометрію.

При цьому можна скористатися двома способами:

- вибрати на триаді вісь або площину, клавнувши мишею по стрілці триади або по сектору, і перетягнути геометрію. Геометрія при цьому буде переміщатися уздовж обраної осі або в обраній площині триади;
- перетягнути триаду на точку. При цьому триада буде прив'язана до даної точки, і згодом можна буде перетаскувати цю точку, перетаскуючи вісь або площину триади. Якщо триада буде зафіксована на місці, то геометрію однаково можна буде перетаскувати.

Щоб перейти в одну із двох площин за замовчуванням, виберіть команду ескізу й натисніть клавішу **<Tab>**. Відобразиться вихідна точка поточної площини ескізу. Для створення тривимірних ескізів можна використовувати одну із команд: окружності, дуги, прямокутника, лінії, сплайни, точки. При малюванні тривимірного ескізу можна створювати об'єкти на робочій площині або в довільній точці тривимірного простору. Процес побудови тривимірного ескізу нічим не відрізняється від побудови звичайного ескізу, тільки для початку побудови треба використовувати команду «Трёхмерный эскиз» з панелі інструментів «Эскиз».

Питання для самоперевірки

1. Що таке ескіз і навіщо він потрібний?
2. Навіщо потрібні ортогональні площини?
3. З якої площини можна починати побудову ескізу?
4. Чи допускає SolidWorks в одному ескізі наявність декількох замкнених контурів?
5. Що таке лінія формування?
6. Що таке Лінії формування? Яке їхнє призначення?
7. За допомогою яких команд можна настроїти інтерфейс програми?
8. Яке призначення "Дерева конструирования"?
9. Як настроїти прив'язки при побудові ескізу?
10. Як можна наносити розміри на ескіз?
11. Що слід розуміти під повним визначенням ескізу?
12. Розкажіть послідовність створення дзеркального відбиття об'єктів.
13. Для чого призначені команди побудови масивів?
14. Навіщо потрібні сплайни в ескізах?
15. Що таке тривимірний ескіз і як він будується?
16. Коли застосовується круговий масив?

ЛЕКЦІЯ № 7. ЗАГАЛЬНІ ПРИНЦИПИ СТВОРЕННЯ ДЕТАЛЕЙ

План лекції. Основні способи побудови деталей. Додаткові можливості. Призматичні деталі. Деталі - тіла обертання. Деталі типу трубопроводів. Деталі складної конфігурації. Деталі на основі поверхонь.

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

Основні способи побудови деталей.

Деталлю в SolidWorks називається окремий тривимірний об'єкт, що складається з елементів. Деталь може бути компонентом складання, а також може бути представлена видами на плоскому кресленні.

Усі деталі в SolidWorks проектуються у шаблоні «Деталь» і зберігаються в окремих файлах з розширенням «sldprt». У дереві конструювання можна задати матеріал, а також оцінити масові характеристики деталі.

В SolidWorks існує кілька базових прийомів, використовуючи які можна створити тривимірні деталі. Ці прийоми можуть бути альтернативними або доповнювати один одного в процесі проектування складної деталі. Програма SolidWorks надає конструкторові практично необмежені можливості для втілення своїх задумів. Ми розглянемо основні способи побудови тривимірних моделей, а вирішувати, яким з них користуватися в кожному конкретному випадку, повинні ви самі.

В SolidWorks існують наступні способи конструювання тривимірних деталей.

Витягування - найпростіший спосіб формування твердого тіла, з якого звичайно й починається знайомство з SolidWorks, заснований на витягуванні ескізу в одному або двох напрямках. Ця команда активізується кнопкою «**Витягнутая бобышка/основание**» панелі інструментів «**Элементы**». Функція команди полягає в заповненні об'єму, описаного контуром ескізу при його паралельному прямолінійному переміщенні, віртуальним матеріалом твердого тіла. Можна здійснювати витягування ескізу під кутом, тобто формувати тверде тіло у вигляді конуса. При витягуванні також можна створити тонкостінну деталь, указавши це при виконанні команди й задавши товщину стінки.

Обертання - інший доволі розповсюджений спосіб побудови твердого тіла виконується натисканням кнопки **«Повернутая бобышка/основание»** панелі інструментів **«Элементы»**. При виконанні команди ескіз повертається навколо заданої осі, а простір, описуваний контуром ескізу в результаті обертання, заповнюється матеріалом твердого тіла. При цьому ескіз деталі, формованої методом обертання, обов'язково повинен складатися з контуру деталі й осі повороту. Обертання контуру навколо осі може здійснюватися на будь-яку бажану величину кута аж до 360°.

SolidWorks пропонує також кілька способів створення деталей складної конфігурації: трубопроводів, пружин, деталей зі змінними перетинами, деталей із криволінійними гранями. Можливості SolidWorks великі й дозволяють спроектувати деталь практично будь-якої складності, втілюючи в реальність самі сміливі фантазії конструктора за умови, що такі деталі можна виготовити в дійсності. Отже розглянемо перераховані способи побудови деталей складної конфігурації докладніше.

Витягування елемента по траєкторії. Суть цього методу полягає в тому, що формування твердого тіла відбувається в результаті заповнення віртуальною речовиною (матеріалом) об'єму, який утворюється при переміщенні профілю по деякій траєкторії. Команда для витягування елемента по траєкторії запускається натисканням кнопки **«Бобышка/основание по траектории»** панелі інструментів **«Элементы»**. Для проектування деталей по траєкторії необхідно створити мінімум два ескізи - ескіз профілю та ескіз траєкторії. У якості профілю звичайно виступає контур ескізу, який повинен бути замкненим. А в якості траєкторії - контур ескізу, який може бути як замкненим, так і незамкнутим. У процесі переміщення профіль може залишатися паралельним самому собі або ж зберігати незмінним початковий кут із траєкторією. Можна також задати обертання профілю в процесі його переміщення по траєкторії. Крім того, профіль може міняти свої розміри й конфігурацію згідно з формою напрямної кривої. Способом витягування елемента по траєкторії зручно створювати деталі типу пружин, при цьому траєкторією є спіраль. Як і у випадку простого витягування, при формуванні елемента по траєкторії можна проектувати тонкостінні деталі. Ця можливість широко використовується при конструюванні трубопроводів.

Витягування елемента по перетинах. Команда витягування

твердих тіл на основі перетинів активізується кнопкою - **«Бобышка/основание по сечениям»** на панелі інструментів **«Элементы»** й дозволяє проектувати деталі шляхом створення плавних переходів між профілями (перетинами). Профілі являють собою ескізи, розташовані на різних площинах. Ці площини можуть розташовуватися як паралельно одна одній, так і під кутом. В SolidWorks існує цілий набір прийомів для створення допоміжних площин. При проектуванні деталей за допомогою команди **«Бобышка/основание по сечениям»** можна також використовувати в якості допоміжного елемента напрямну криву, у цьому випадку плавні переходи між профілями будуть будуватися згідно з формою цієї напрямної.

Оформлення вирізів. Для формування вирізів і отворів в SolidWorks використовуються ті ж можливості, що й для створення твердого тіла. Кнопки команд для оформлення вирізів розташовуються на панелі інструментів **«Элементы»** або в меню **«Вставка | Виріз»**. Розрізняють наступні **основні види вирізів**:

- витягнутий виріз - запускається однойменною командою **«Вытянутый вырез»** - можна активізувати кнопкою **«Повернутый вырез»**;
- виріз по траєкторії - запуск команди здійснюється кнопкою **«Вырез по траектории»**;
- виріз по перетинах - команда активізується натисканням однойменної кнопки.

Додаткові можливості.

В SolidWorks можна формувати окремі елементи деталей: фаски, скруглення, купола, ухили. У розпорядженні конструктора є також команди, що значно прискорюють процес побудови деталей: масиви (лінійний, круговий та ін.) і дзеркальне відбиття.

Команда **«Скругление»** активізується натисканням однойменної кнопки панелі інструментів **«Элементы»** й дозволяє округлити будь-яку виділену крайку деталі. Для цього необхідно лише вказати крайку й задати радіус скруглення.

Кнопка - **«Фаска»** також розташовується на панелі інструментів **«Элементы»** й дозволяє зняти фаску із зазначеної крайки деталі. Для побудови фаски необхідно вказати величину фаски та її кут або розміри фаски у двох напрямках.

«Купол» - команда дає можливість перетворити одну із граней деталі в увігнутий або опуклий купол, для чого потрібно активізувати

кнопку - **«Купол»** і задати величину витягування купола.

Можна змінювати кути між гранями вже побудованої деталі. Команда **«Уклон»** запускається натисканням відповідної кнопки - **«Уклон»** на панелі інструментів **"Элементы"**, потім вказуються тип ухилу, кут ухилу, нейтральна площина й грань, положення якої в просторі повинне змінитися.

Команда - **«Оболочка»** дозволяє із твердотільної деталі сформувати порожню деталь, при цьому одна або кілька граней можуть бути вилучені, а інші перетворюються в тонкостінні. За допомогою цієї команди можна побудувати також замкнену порожню деталь.

Масиви значно прискорюють процес конструювання деталей, тому що дозволяють розмножувати раніше створені елементи деталі.

Програма SolidWorks має у своєму розпорядженні можливості побудови кругових і лінійних масивів. При проектуванні зубчастих коліс необхідно лише активізувати команду - **«Круговой масив»**, вказати кількість зубів і вісь масиву.

Команда - **«Линейный масив»** дозволяє вказати копіюваний елемент і інтервали між елементами. Команду - **«Зеркальное отражение»** зручне використовувати при проектуванні симетричних деталей.

Далі розглянемо практичне застосування пропонованих програмою SolidWorks прийомів побудови твердих тіл на конкретних прикладах.

Деталі - тіла обертання.

Тіла обертання широко використовуються в сучасному машинобудуванні. Яскравими представниками цього класу є зубчасті колеса, манжети й вали. Хоча такі деталі в SolidWorks можна найчастіше побудувати методом простого витягування, але використання команди - **«Повернутая бобышка/основание»** дозволяє значно прискорити процедуру. Крім того, деякі елементи деталей, такі як вирізи, можна оформити тільки з використанням можливостей повороту ескізу навколо осі. Перейдемо до розгляду конкретних прикладів.

Отже манжета є класичною деталлю, при конструюванні якої в SolidWorks найкраще використовувати команду **«Повернутая бобышка/основание»**. Розглянемо побудову цієї деталі поетапно. Для створення ескізу виберемо площину Попереду, увійдемо в **«Эскиз»** і намалюємо перетин манжети (рис. 7.1). Як видно з рис. 7.1, ескіз манжети представляє складну замкнену криву, з радіусами округлення. На

новимо курсор на рядку «Матеріал <не указан>» і викличемо правою кнопкою миші панель зі списком різних матеріалів (рис. 7.4).

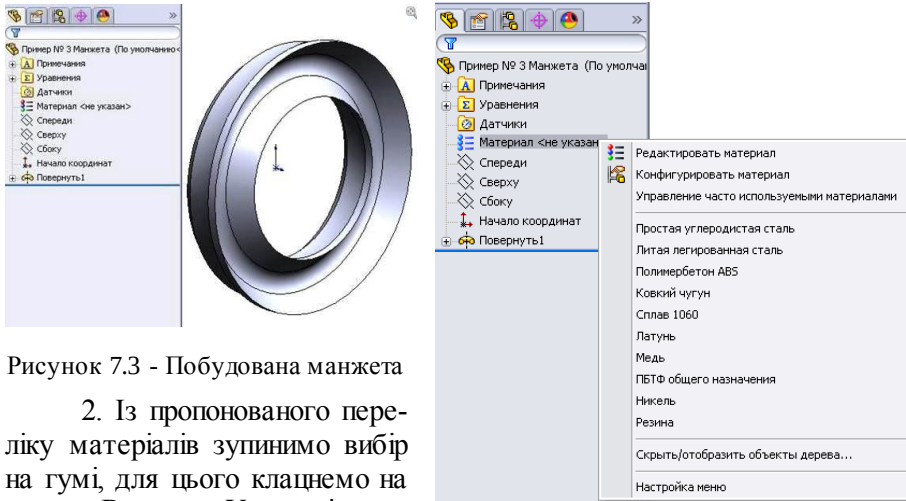


Рисунок 7.3 - Побудована манжета

2. Із пропонованого переліку матеріалів зупинимо вибір на гумі, для цього клацнемо на рядку «Резина». У дереві конструювання, у рядку «Матеріал» з'явиться напис «Резина», а деталь офарбиться в характерний для гуми чорний колір (рис. 7.5).

Рисунок 7.4 - Панель зі списком різних матеріалів

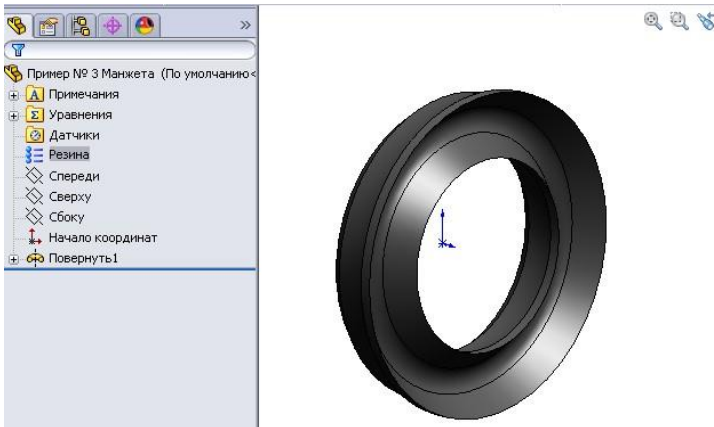


Рисунок 7.5 - Зміна зовнішнього виду манжети після призначення матеріалу

3. Після того як заданий матеріал, можна визначити її масові ха-

рактеристики: масу, об'єм, площу поверхні тощо. Для цього досить увійти в меню «**Инструменты | Массовые характеристики...**» (рис. 7.6). На екрані відобразиться вікно, у якому будуть зазначені масові характеристики з урахуванням щільності гуми (рис. 7.7).

4. Закінчимо конструювання деталі «**Манжета**», зберігши всі побудови.

Ми розглянули приклад створення тривимірної моделі ущільнювальної манжети - деталі складної форми, яку програма SolidWorks дозволяє легко й швидко спроектувати. Крім того, показали спосіб завдання матеріалу деталі й визначення її масових характеристик в автоматичному режимі.

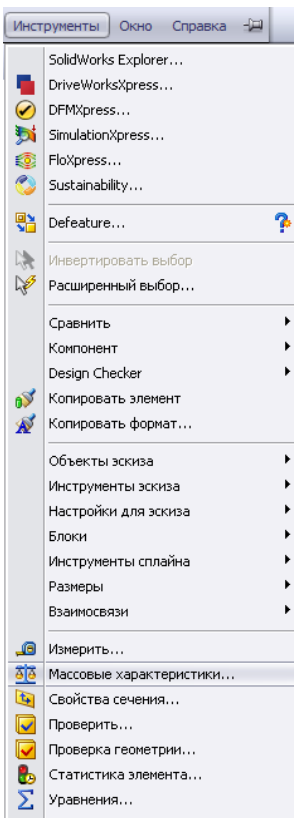


Рисунок 7.6 - Визначення масових характеристик

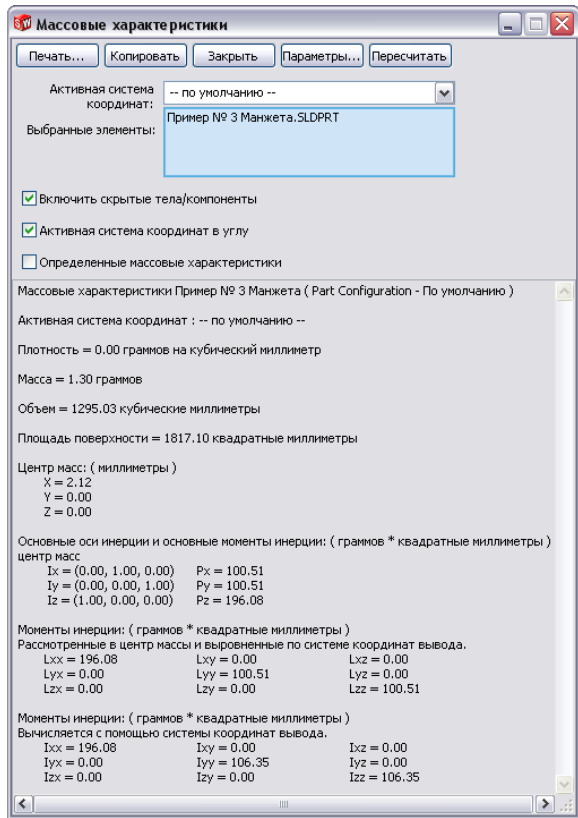


Рисунок 7.7 - Масові характеристики манжети

Далі розглянемо приклад побудови тривимірної моделі в програмі SolidWorks з використанням команди «**Бобышка/основание по траектории**». Типовим прикладом таких деталей є вигнуті труби.

Отже для побудови труби, як елемента по траєкторії, необхідно намалювати два ескізи - замкнений профіль, який для труби має вигляд окружності, і ескіз траєкторії (лінію вигину труби).

Намалюємо ескіз профілю труби. Для цього в тривимірному просторі SolidWorks виберемо площину «**Спереди**», увійдемо в ескіз і побудуємо окружність діаметром 60 мм, яка буде представляти надалі зовнішній діаметр труби (рис. 7.8).

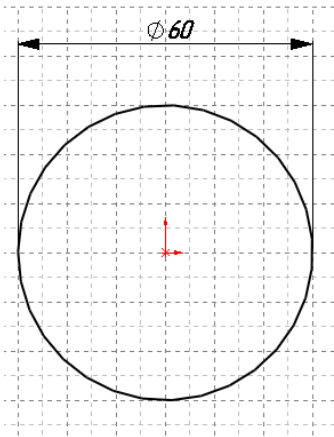


Рисунок 7.8 - Ескіз замкнутого профілю

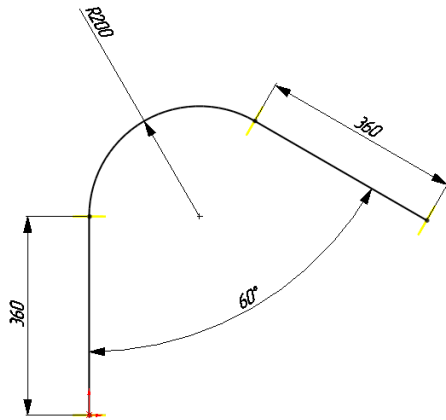


Рисунок 7.9 - Ескіз траєкторії (лінії вигину труби)

Натиснемо **ОК** і вийдемо з ескізу. Таким чином, ми створили профіль труби. Далі побудуємо ескіз траєкторії, для чого виберемо площину «**Сверху**» й увійдемо в режим малювання ескізу. Намалюємо траєкторію труби (рис. 7.9).

Ескіз траєкторії завжди будується в площині, розташованій під кутом до площини профілю. Ми для цієї мети вибрали площину «**Сверху**», яка перпендикулярна площини «**Спереди**», хоча можна було вибрати площину «**Сбоку**». Крім того, слід пам'ятати, що траєкторія повинна починатися або перетинати площину, у якій розташований профіль. У результаті наведених побудов вийшло два ескізи, які позначені в дереві конструювання як «**Эскиз1**» і «**Эскиз2**» (рис. 7.10).

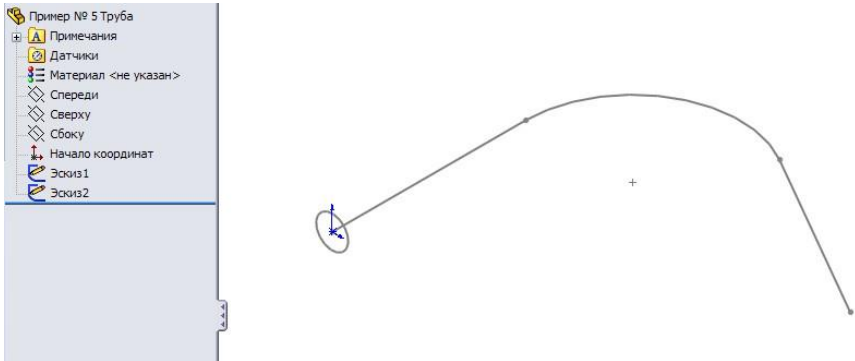


Рисунок 7.10 - Эскизы подготовлені для створення елемента по траекторії

Оформимо трубу як витягнуту бобишку по траекторії. Активізуємо кнопку - **«Бобышка/основание по траектории»**. На екрані з'явиться вікно **«По траектории»**. У цьому вікні, у розділі **«Профиль и направление»**, виділимо профіль **«Эскиз1»**, а також маршрут (напрямок) **«Эскиз2»**. Вікно **«Профиль»** позначене відповідним значком (рис. 7.11).

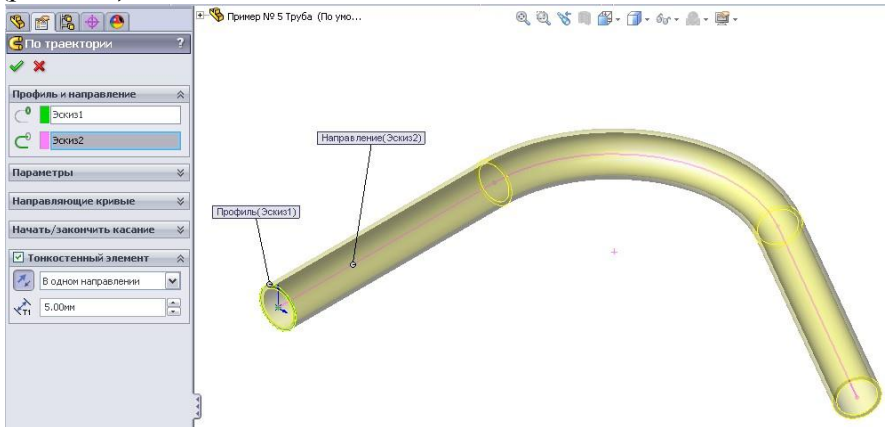


Рисунок 7.11 - Процес створення елемента по траекторії

Необхідно також указати, що деталь **«Труба»** витягається як тонкостінний елемент із товщиною 5 мм (рис. 7.11). Закінчимо побудову труби, нажавши кнопку **ОК** (рис. 7.12). Ми розглянули з вами приклад побудови тонкостінної деталі з використанням команди **«Бо-**

бышка/основание по траектории». У такий же спосіб можна побудувати виріз по траєкторії.

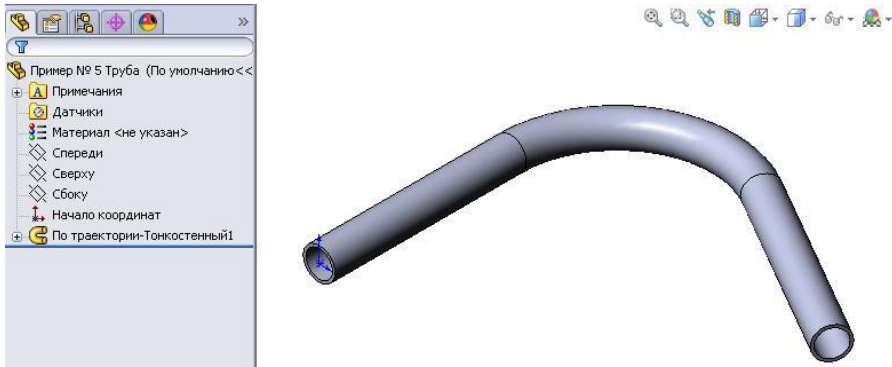


Рисунок 7.12 - Створена деталь «Труба»

Деталі складної конфігурації.

Далі розглянемо побудову деталей складної конфігурації, використовуючи команди **«Бобышка/основание по сечениям»** або **«Вырез по сечениям»**. Як ви вже знаєте, основний принцип побудови елементів по перетинах полягає в плавному з'єднанні профілів перетинів, які розташовуються на різних площинах. Профіль являє собою замкнений і непересічний ескіз у деякій площині. Обов'язкова умова - площини із профілями повинні бути розташовані на деякій відстані один від одного, паралельно або під кутом.

В SolidWorks існує цілий набір методів побудови допоміжних площин. Для створення допоміжної (довідкової) площини необхідно натиснути кнопку - **«Плоскость»** панелі інструментів **«Справочная геометрия»** або скористатися командою меню: **«Вставка | Справочная геометрия | Плоскость...»** На екрані Менеджера властивостей відкривається вікно **«Плоскость»** (рис. 7.13). Об'єкти **«Первая справочная, Вторая справочная и Третья справочная»** будуть використовуватися для побудови нової площини. Такими об'єктами можуть бути площини **«Спереди, Сверху, Справа»**, грані, крайки або вершини твердого тіла. Після вибору довідкових об'єктів пропонується задати тип сполучення допоміжної площини з довідковими об'єктами (рис. 7.14): паралельно, перпендикулярно, збіг, під кутом, на заданій відстані, від середньої поверхні, відносно, проект.

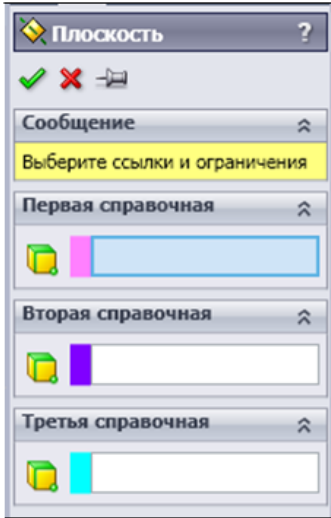


Рисунок 7.13 - Створення допоміжної площини

Тип сполучення «**Проект**» - дозволяє створити проекцію точкового об'єкта (точки, вершини або початку координат) на неплоску поверхню й використовувати цю проекцію для побудови допоміжної площини. Для створення точної форми елемента по перетинах можна використовувати напямну криву.

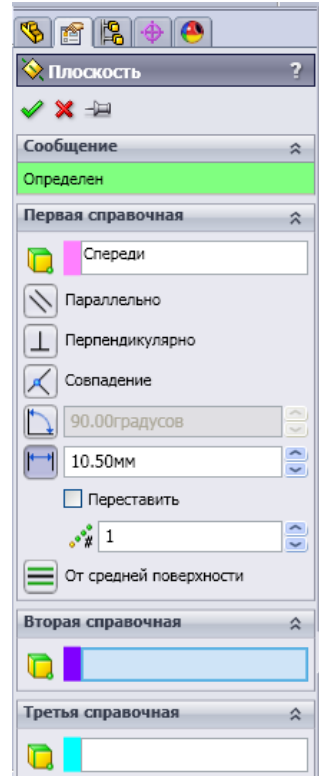


Рисунок 7.14 - Вибір типу сполучення

У загальному випадку при побудові напямної кривої необхідно дотримуватися кілька правил:

- напямна повинна лежати в площині, яка перетинає профілі перетинів;
- напямна повинна перетинати всі профілі;
- напямна крива може бути довше елемента по перетинах;
- у якості напямних можна використовувати раніше створені елементи, крайки об'єктів і будь-які інші криві;
- напямних може бути декілька.

Якщо напямна крива не перетинає профілі, необхідно застосовувати взаємозв'язки «**Совпадение**» або «**Точка пронзания**». У тому випадку, якщо напямна крива відсутня, її роль виконує віртуальна

крива, яка виходить при з'єднанні профілів один з одним під час побудови елемента по перетинах. У якості прямої також може виступати осьова лінія, що проходить через середину перетинів і не дотична їхніх контурів.

Перейдемо до конкретних прикладів. Розглянемо побудову деталі «Патрубок». Патрубок будується на основі двох профілів, які з'єднуються між собою за допомогою прямої осової лінії. Для оформлення патрубка необхідно створити два профілі в різних площинах і одну пряму.

1. Відкриємо тривимірний простір SolidWorks, виберемо площину «Спереди» й увійдемо в ескіз. Намалюємо ескіз лівого кінця патрубка (рис. 7.15). Цей ескіз у дереві конструювання позначиться як «Ескиз1».

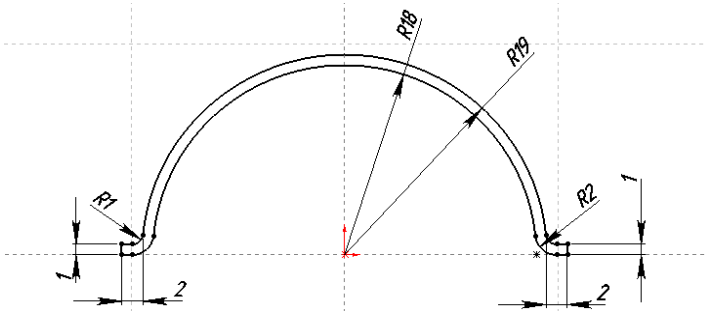


Рисунок 7.15 - Ескіз патрубка

2. Витягнемо цей ескіз на 30 мм, використовуючи команду «Витягнутая бобышка/основание» на панелі інструментів «Элементы» (рис. 7.16). У результаті створена витягнута бобышка, а в дереві конструювання з'явився рядок «Бобышка-Витянуты1».

3. Тепер побудуємо пряму криву: у площині «Сверху» (перпендикулярної площини «Ескиз1») намалюємо дугу радіусом 132 мм (рис. 7.17). На відміну від звичайної прямої, осова пряма не повинна перетинатися або сполучатися з контурами перетинів.

4. Створимо допоміжну площину для побудови другого профілю під кутом 60° до площини «Спереди» й перпендикулярно прямій кривій. Активізуємо команду «Плоскость» на панелі інструментів «Справочная геометрия» або скористаємося командою меню: «Вставка | Справочная геометрия | Плоскость».

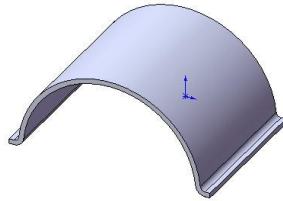
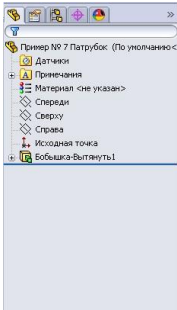


Рисунок 7.16 - Витягнення ескізу на 30 мм

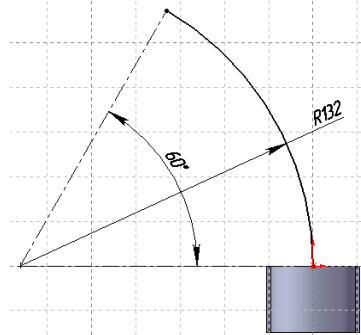
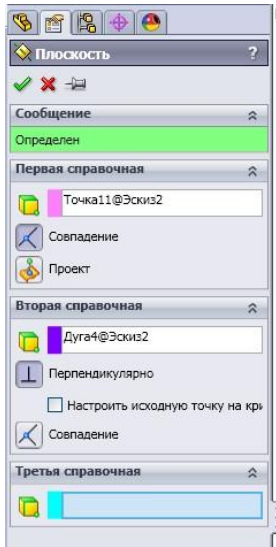


Рисунок 7.17 - Побудова дуги



Пример № 7 Патрубок (По ...

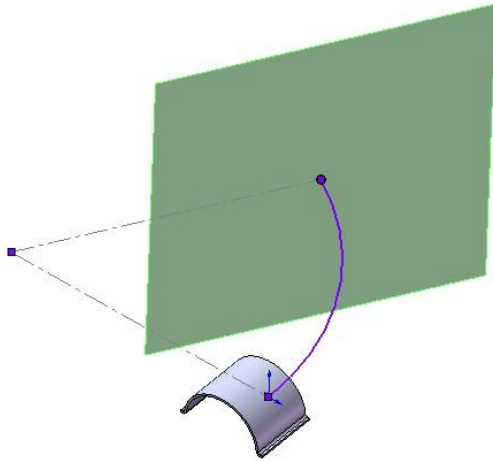


Рисунок 7.18 - Створення допоміжної площини

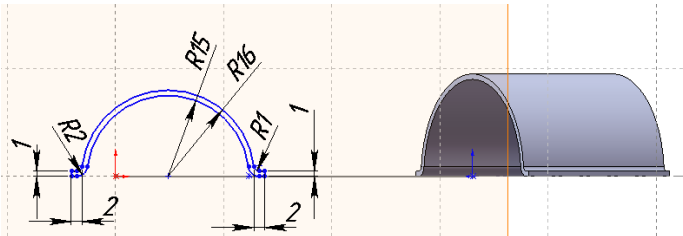


Рисунок 7.19 - Побудова другого ескізу деталі

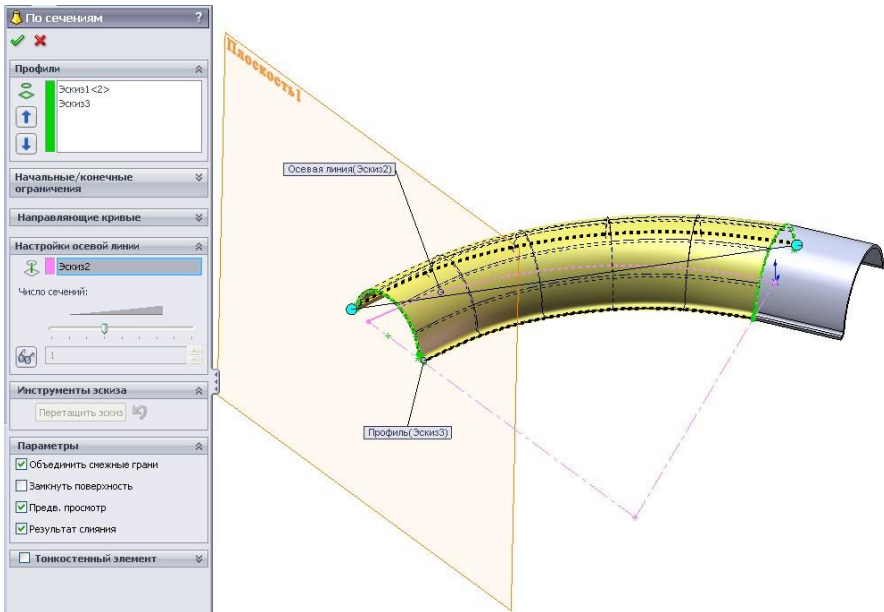


Рисунок 7.20 - Побудова элемента по перетинах

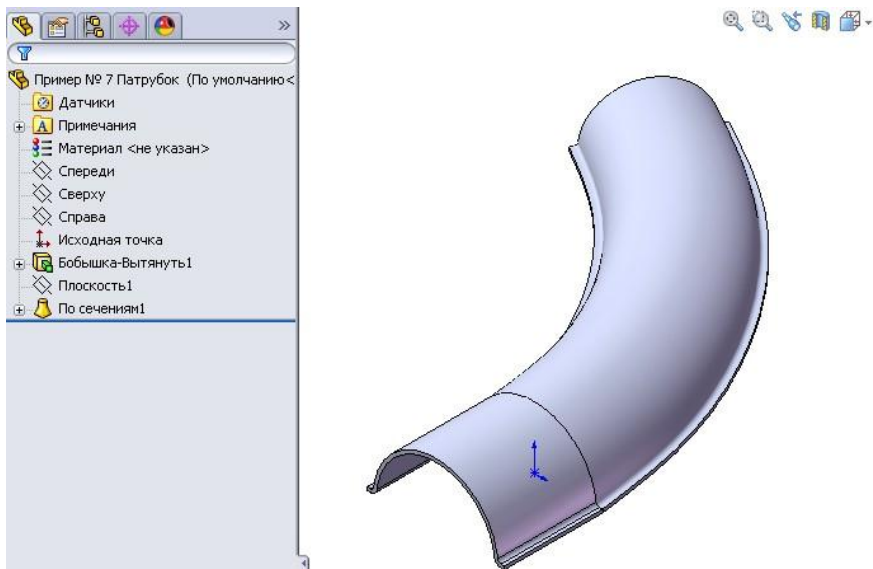


Рисунок 7.21 - Патрубок побудований по перетинах

У розділі **«Первая справочная»** задамо кінцеву точку прямої кривої, через яку буде проходити нова площина - **Точка11@Эскиз2**, а також виберемо тип сполучення - **«Совпадение»**. У розділі **«Вторая справочная»** вкажемо напрямну криву - **Дуга4@Эскиз2**, тип сполучення - **«Перпендикулярно»** (рис. 7.18). Натиснемо кнопку **ОК** і на екрані, а також у дереві конструювання з'явиться нова довідкова **«Плоскость1»**.

5. Побудуємо другий перетин патрубкa, для чого виберемо **«Плоскость1»** і намалеємо ескіз другого профілю деталі (рис. 7.19). Для оформлення патрубкa як елемента по перетинах необхідно плавно з'єднати між собою **«Эскиз1»** і **«Эскиз3»**, використовуючи напрямну криву - **«Эскиз2»**.

6. Побудуємо елемент по перетинах, для чого на панелі інструментів **«Элементы»** активізуємо кнопку - **«Бобышка/основание по сечениям»**. На екрані з'явиться вікно **«По сечениям»** (рис. 7.20). У розділі **«Выбор»** відзначимо профілі **«Эскиз1»** і **«Эскиз3»**, а в розділі **«Настройки осевой линии»** вкажемо напрямну осьову - **«Эскиз2»** (рис. 2.80). У вікні налаштувань **«По сечениям»** можна вказувати не тільки профілі й напрямні для побудови елемента по перетинах, але й тип сполучення цього елемента й профілів. У розділі **«Начальные/конечные ограничения»** (рис. 7.20) зі списку, що випадає, можна вибрати тип обмеження (сполучення) створюваного елемента по перетинах з початковим і кінцевим профілем.

7. Натиснемо кнопку **ОК**, закінчивши побудову патрубкa (рис. 7.21). Діючи аналогічним образом, в SolidWorks можна побудувати виріз по перетинах.

Деталі на основі поверхонь.

Перш ніж почати розмову про деталі на основі поверхонь, визначимося з тим, що являють собою поверхні і як вони будуються. Поверхня - це елемент нульової товщини, що відіграє допоміжну роль при побудові твердого тіла, і не відображається на кресленні деталі.

Побудувати поверхню можна методом простого витягування, поворотом контуру навколо осі, а також створити як елемент по траєкторії або по перетинах. Її можна подовжити, відігнути, округлити, заповнити, зшити і т.д. Усі перераховані команди перебувають на панелі інструментів **«Поверхности»**. Для того щоб помістити цю панель на екран, необхідно звернутися до меню **«Инструменты | Настройка**

| **Панелі інструментів**» і встановити прапорець **«Поверхности»**.

В SolidWorks представлено два основні методи побудови деталей на базі поверхонь: методом витягування ескізу до поверхні й методом стовщення поверхні. Розглянемо на конкретних прикладах різні способи конструювання й зміни поверхонь, а також прийоми проектування з їхньою допомогою деталей. Виберемо як приклад досить складну деталь - корпус редуктора.

Корпус редуктора є симетричною деталлю із двома осями симетрії. Із цієї причини немає необхідності будувати корпус цілком. Ми спроектуюмо лише чверть корпусу, яку потім, для одержання цільної деталі, скопіюємо за допомогою команди **«Зеркальное отражение»**.

Порядок побудови корпусу буде наступним: спочатку створимо набір окремих елементарних дотичних поверхонь, потім зшиємо поверхні між собою, а потім побудуємо тверде тіло, додавши цим поверхням товщину.

1. Виберемо в дереві конструювання площину **«Спереди»** й намалюємо ескіз першої поверхні (рис. 7.22). Ескіз для побудови поверхонь, на відміну від твердих тіл, може бути як замкненим, так і незамкнутим контуром.

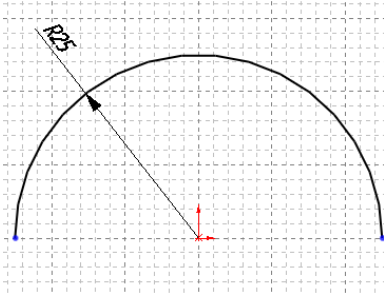


Рисунок 7.22 - Ескіз першої поверхні

2. Активізуємо кнопку - **«Витянутая поверхность»**, яка перебуває на панелі інструментів **«Поверхность»**. У вікні налаштувань що з'явилася, **«Поверхность - Витянуть»** вкажемо глибину витягування - 15 мм (рис. 7.23).

3. Закінчимо побудову першої поверхні у формі півкільця, нажавши кнопку **ОК**. У дереві конструювання вона позначиться як елемент **«Поверхность-Витянуть1»** (рис. 7.24).

4. Побудуємо другу поверхню: виберемо знову площину **«Спереди»** й створимо ескіз другої поверхні (рис. 7.25).

5. Витягнемо цей ескіз на 61 мм. Активізуємо кнопку - **«Витянутая поверхность»**, на панелі інструментів **«Поверхность»** й у вікні **«Поверхность-Витянуть»** укажемо параметри витягування (рис. 7.26). Витягування другої поверхні робимо в протилежну сторону.

6. Побудуємо третю поверхню, яка буде з'єднувати між собою

дві перші. Для цього також виберемо площину «Спереди» й створимо ескіз третьої поверхні у вигляді описаного прямокутника «Эскиза2» (рис. 7.27). Для сполучення можна використовувати команду - «Добавить взаимосвязь» і тип взаємозв'язку точок «Эскиза2» і «Эскиза3»- «Совпадение».

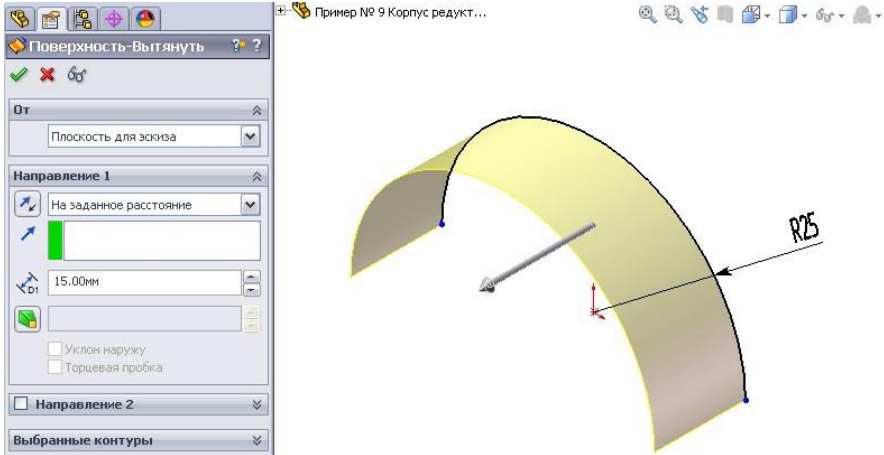


Рисунок 7.23 - Задаємо глибину витягування - 15 мм

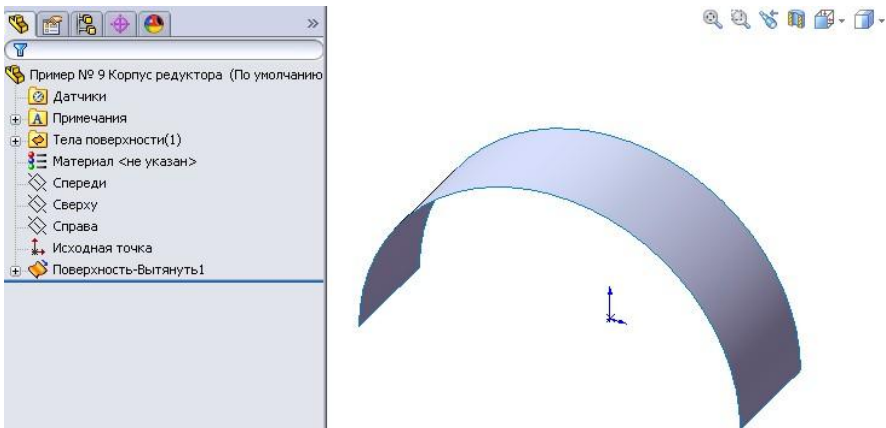


Рисунок 7.24 - Завершена побудова першої поверхні

7. Активізуємо команду - «Плоская поверхность» й у розділі «Ограничивающие объекты» задамо «Текущий эскиз» або «Эс-

киз3» (рис. 7.28).

8. Закінчимо побудову, нажавши кнопку **ОК**. Три поверхні позначені як «Поверхність-Витянуть1, Поверхність-Витянуть2 и Поверхність-Плоскость1» (рис. 7.29).

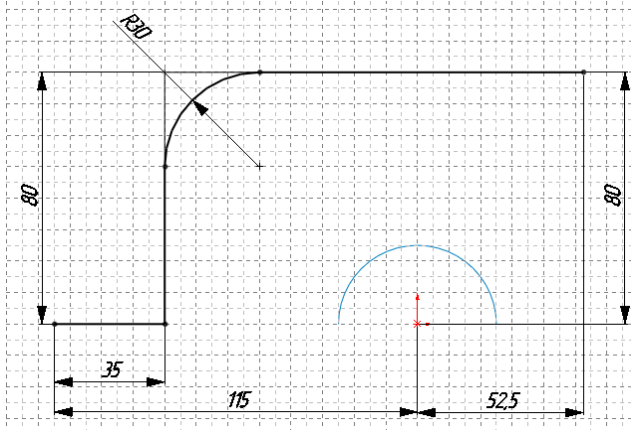


Рисунок 7.25 - Ескіз другої поверхні

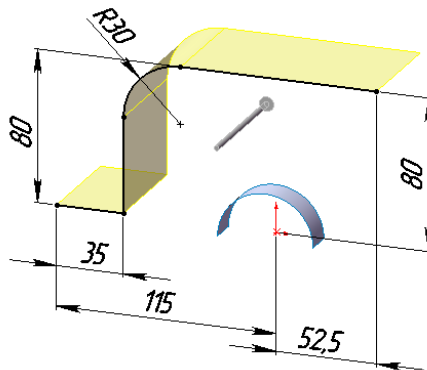
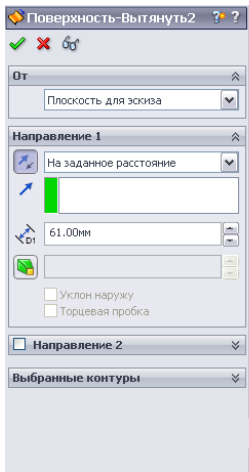


Рисунок 7.26 - Вказуємо параметри витягування ескизу

9. Очевидно, третя плоска поверхня виступає за межі перших двох. Відігнемо непотрібні частини третьої поверхні. Для цього натиснемо кнопку - «**Отсечь поверхность**» на панелі інструментів «Пове-

рхность». У розділі «Тип отсечения» поставимо прапорець «Стандарт». У розділі «Вибір» позначимо в якості інструмента поверхню, що відтинає - «Поверхность-Вытянуть2», а в розділі - «Сохранить выбранные параметры» вкажемо ту частину плоскої поверхні, яка повинна залишитися (рис. 7.30).

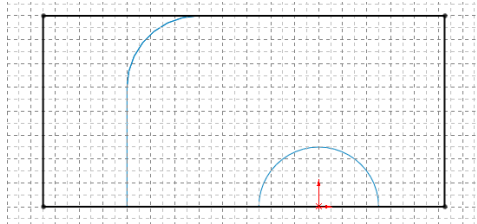


Рисунок 7.27 - Ескіз третьої поверхні

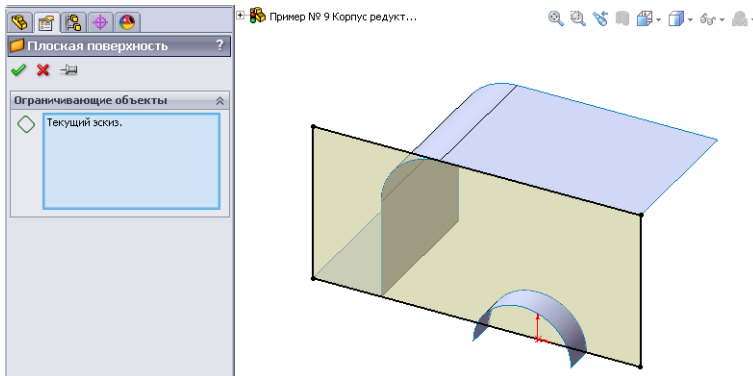


Рисунок 7.28 - Побудова плоскої поверхні

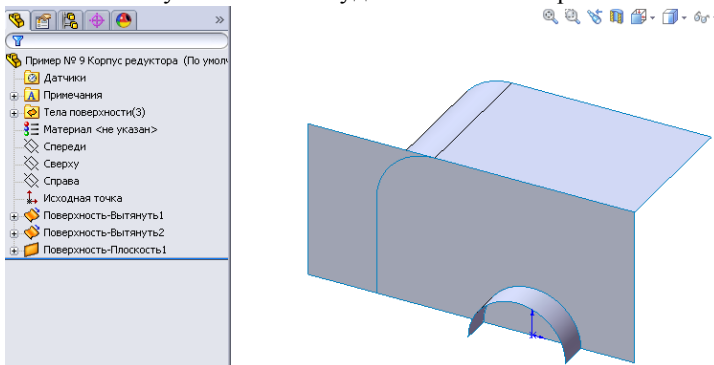


Рисунок 7.29 - Закінчені побудови трьох поверхонь

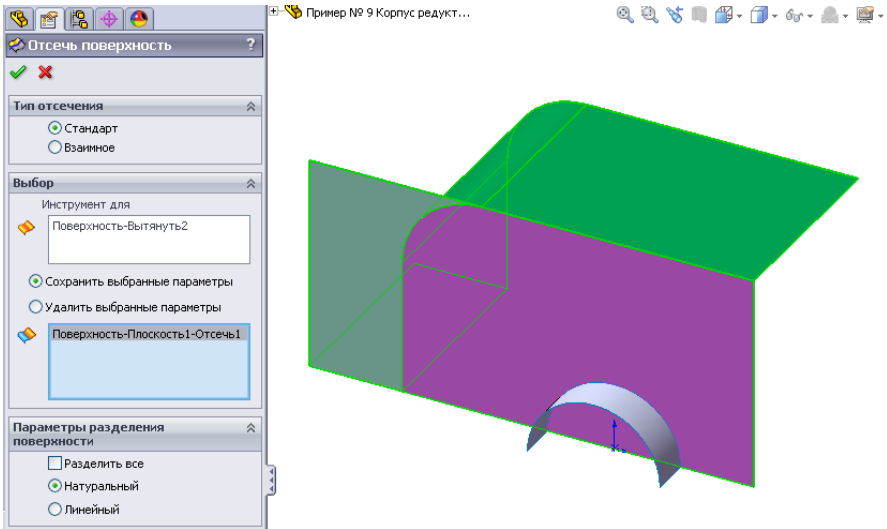


Рисунок 7.30 - Відсікання непотрібних частин третьої поверхні

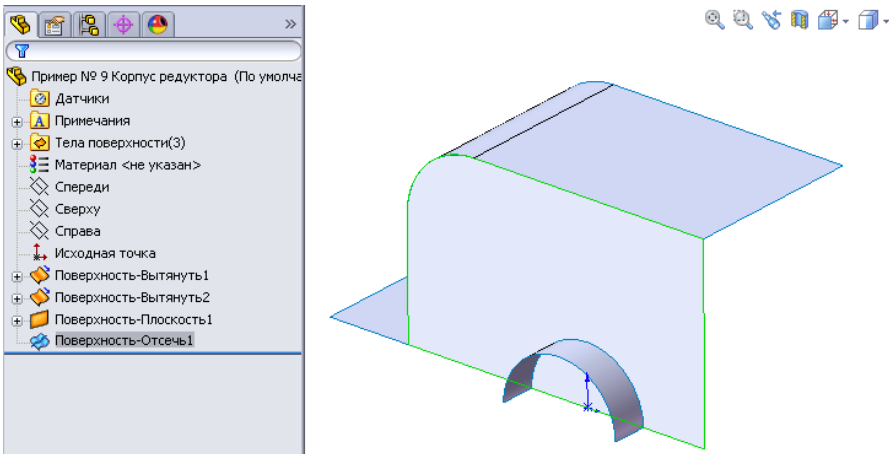


Рисунок 7.31 - Результат вилучення зайвих частин плоской поверхности

10. Натиснемо кнопку **ОК**, і всі зайві частини плоской поверхні будуть вилучені, а в дереві конструювання з'явиться рядок «**Поверхность-Отсечь1**» (рис. 7.31).

11. Аналогічним способом вилучимо частину плоской поверхні, яка відтинається циліндричною поверхнею (рис. 7.32).

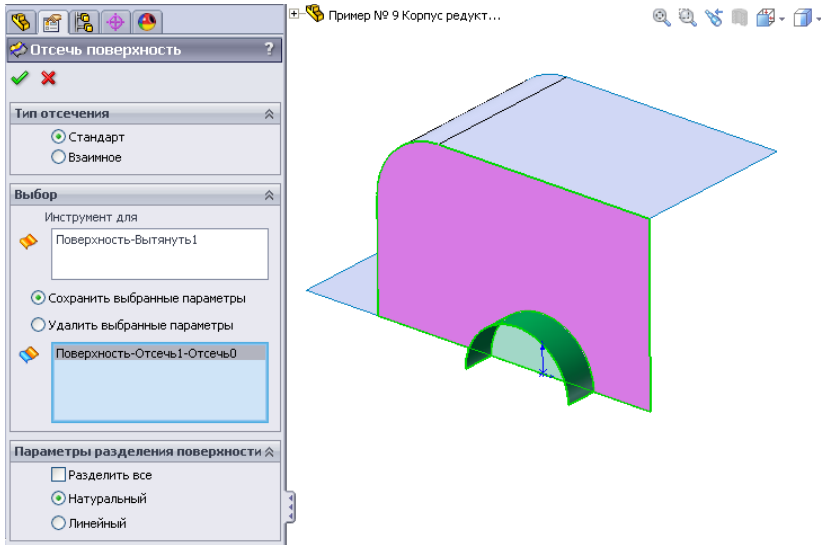


Рисунок 7.32 - Вилучення частини плоскої поверхні

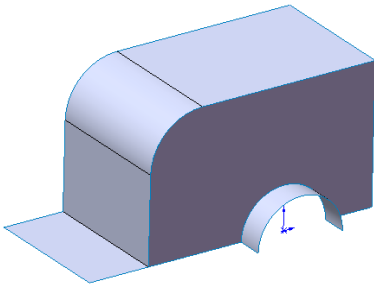


Рисунок 7.33 - Кінцевий результат

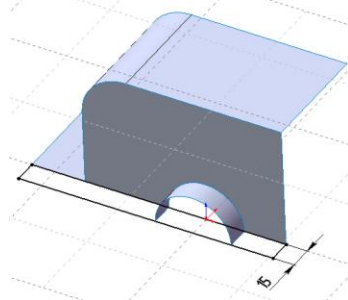


Рисунок 7.34 - Побудова ескізу

12. Закінчимо зміни плоскої поверхні натисканням кнопки **ОК**. У результаті вийшов набір із трьох сполучених поверхонь (рис. 7.33).

13. Побудуємо четверту поверхню: виберемо площину «Сверху» й намалюємо ескіз четвертої поверхні у формі прямокутника (рис. 7.34). Доцільно додати взаємозв'язки між ескізами поверхонь - «Совпадение».

14. Оформимо цей ескіз як плоску поверхню на панелі інструментів «Поверхность». У результаті одержимо «Поверхность-Плоскость2» (рис. 7.35).

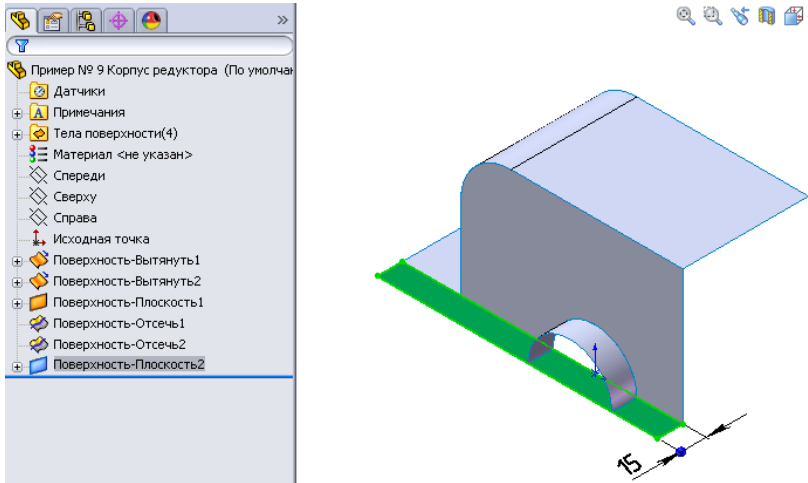


Рисунок 7.35 - Створення плоскої поверхні

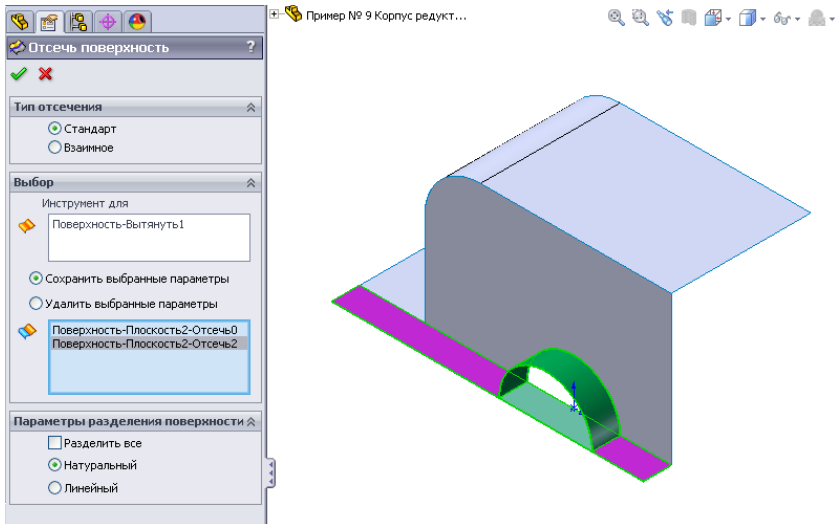


Рисунок 7.36 - Вилучення зайвої частини плоскої поверхні

15. Вилучимо зайву частину цієї плоскої поверхні (рис. 7.36).

16. Закінчимо побудову поверхонь натисканням кнопки **ОК**. У результаті одержимо чотири поверхні, які сполучаються між собою (рис. 7.37).

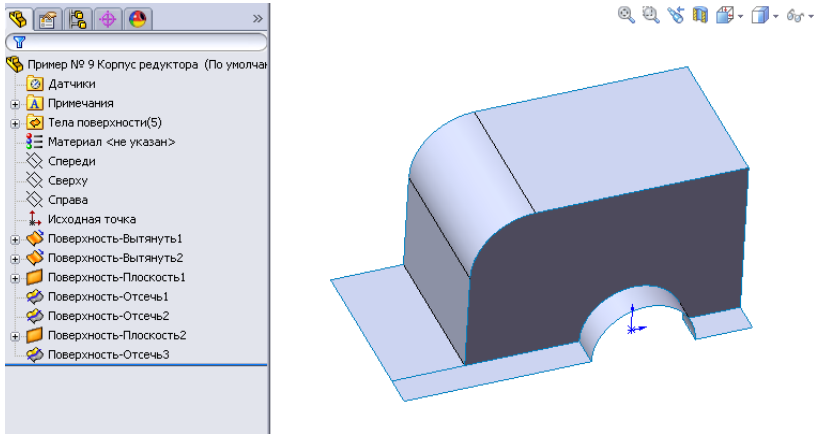


Рисунок 7.37 - Чотири сполучені між собою поверхні

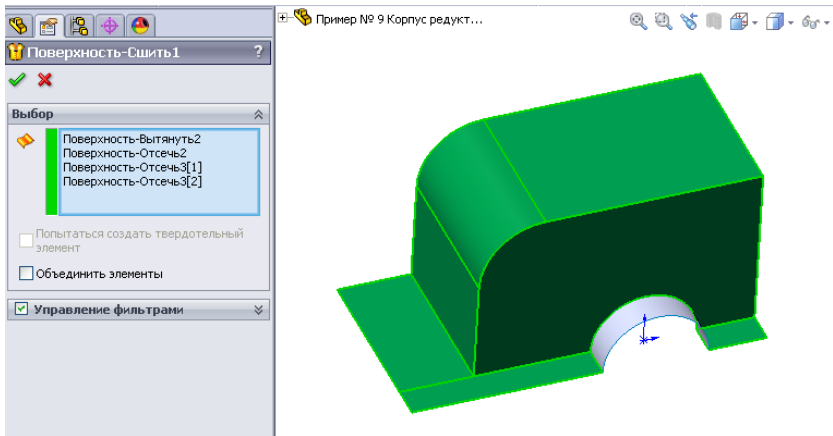


Рисунок 7.38 - Процес зшивання чотирьох поверхонь

17. З'єднаємо три із чотирьох поверхонь командою «**Сшить поверхность**» на панелі інструментів «**Поверхность**». Можна також скористатися меню «**Вставка | Поверхность | Сшить поверхность...**» У розділі «**Выбор**» укажемо всі поєднувані поверхні (які зшиваються) (рис. 7.38). Крайки поверхонь, що зшиваються, повинні бути суміжними й стикатися між собою без зазорів і перекриттів. Максимально припустимий зазор між поверхнями що зшиваються, можна вказати в розділі «**Управление фильтрами**».

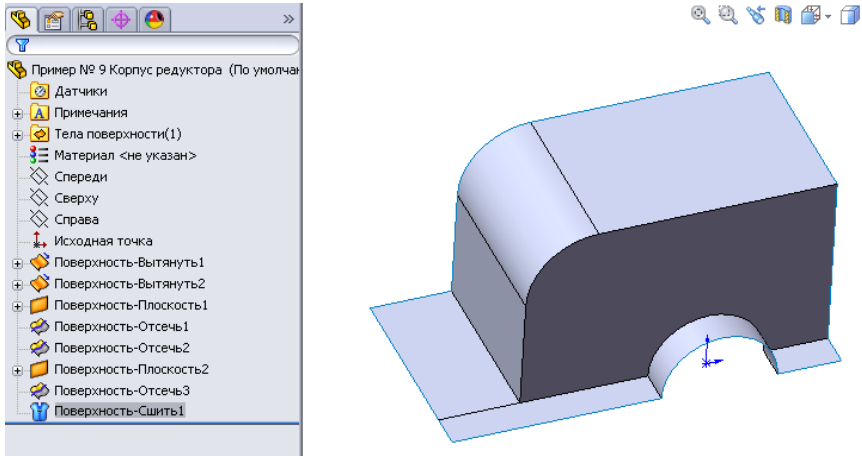


Рисунок 7.39 - Результат зшивання чотирьох поверхонь

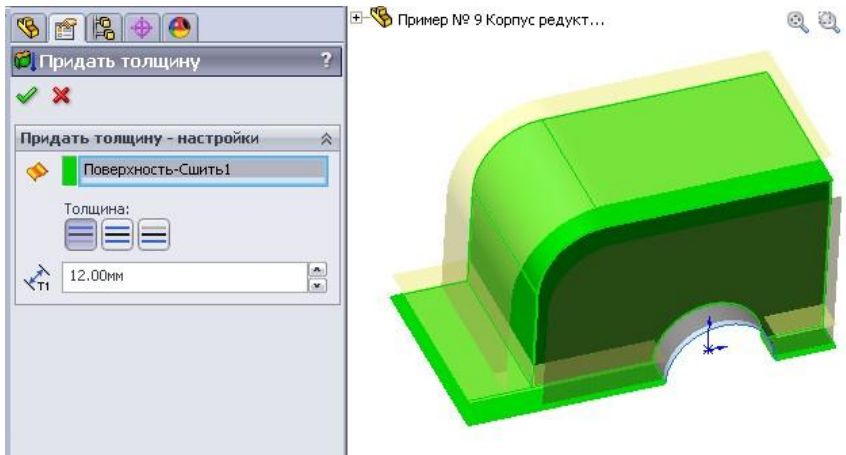


Рисунок 7.40 - Збільшення значення товщини

18. Закінчимо зшивання поверхонь, нажавши кнопку **ОК**. У результаті із чотирьох поверхонь вийде одна поверхня, яка в дереві конструювання буде позначена як елемент «**Поверхность-Сшить1**», при цьому зовнішній вигляд зшитих поверхонь не зміниться (рис. 7.39). На основі зшитих поверхонь тепер можна побудувати частину деталі, задавши товщину 12 мм. Збільшимо товщину циліндричної поверхні на 22 мм (тому з іншими поверхнями її не зшивали).

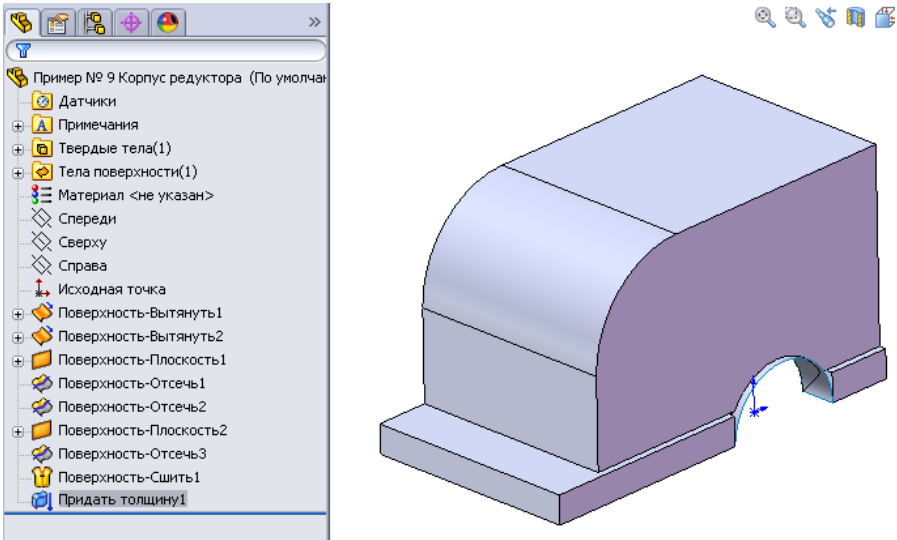


Рисунок 7.41 - Результат збільшення значення товщини

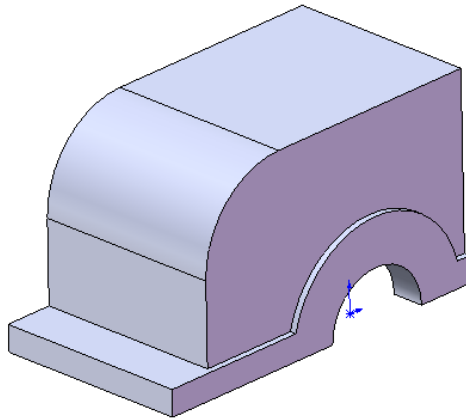


Рисунок 7.42 - Збільшення товщини циліндричної поверхні

19. Оформимо тверде тіло на основі створених поверхонь командою - «**Придать толщину...**» У розділі «**Придать толщину поверхности**» вкажемо поверхню збільшеної товщини - «**Поверхность-Сшить1**», а в розділі «**Толщина**» задамо значення товщини - 12 мм (рис. 7.40).

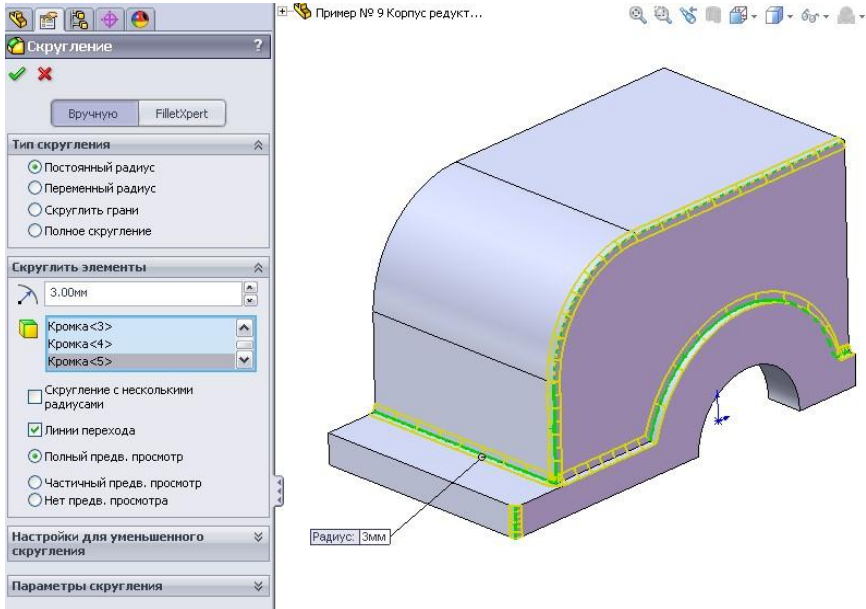


Рисунок 7.43 - Округления крайков та радіусів

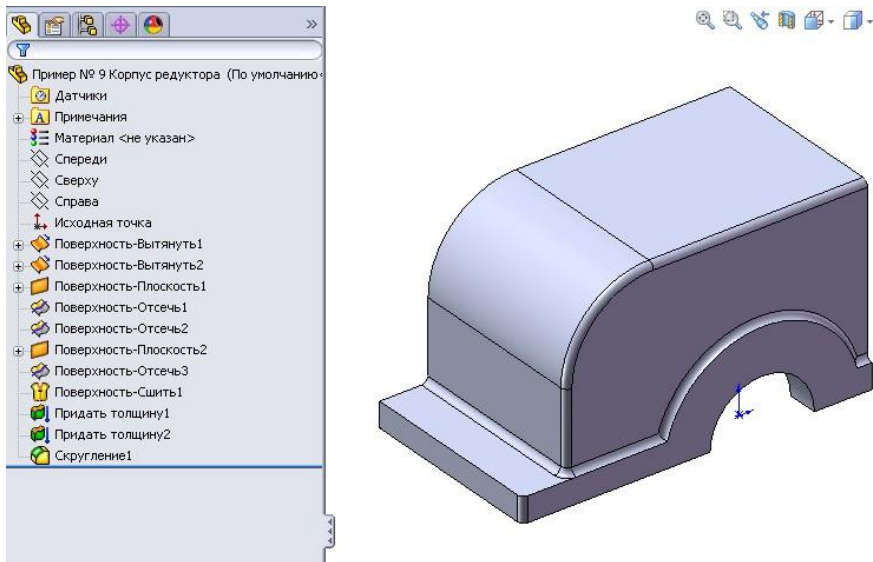


Рисунок 7.44 - Четверть корпуса редуктора

20. На закінчення натиснемо кнопку **ОК**, у результаті одержимо наступну деталь (рис. 7.41).

21. Тепер аналогічним образом збільшимо товщину циліндричної поверхні на 22 мм (рис. 7.42).

22. Корпуса редукторів звичайно виготовляють методом лиття, і грані цієї деталі будуть сполучатися через округлення радіусом 3 мм. Звернемося до команди - **«Скругление»** на панелі інструментів **«Элементы»**, у вікні, що з'явилося, вкажемо округлені крайки й радіус округлення (рис. 7.43).

23. Натиснемо кнопку **ОК** і одержимо чверть корпуса редуктора (рис. 7.44). Таким чином, поетапно, з використанням допоміжних поверхонь, був побудований корпус редуктора, а точніше - лише його чверть. Остаточно цю деталь слід добудувати використанням команди **«Зеркальное отражение»**.

Додаткові можливості SolidWorks.

У цьому розділі мова йтиме про команди, що дозволяють значною мірою прискорити процес конструювання деталей. До них відносяться всі команди створення масивів, а також команда **«Зеркальное отражение»** панелі інструментів **«Элементы»**.

В SolidWorks можна побудувати кілька видів масивів:

- лінійний масив;
- круговий масив;
- масив, керований кривою;
- масив, керований ескізом;
- масив, керований таблицею;
- зразок заповнення.

При створенні будь-яких масивів завжди вказується копіюваний елемент, кількість копіюваних елементів, відстань між ними й спосіб побудови масиву.

«Линейный массив» активізується натисканням кнопки - **«Линейный массив»** і дозволяє розмножити копіювані елементи деталі, розташувавши їх на однаковій відстані у вигляді стовпців і рядів.

«Круговой массив» запускається однойменною кнопкою. Для його побудови крім копіюваного елемента потрібно ще вказати загальну кількість, кут між елементами й вісь, яка служить центром копіювання.

«Массив, управляемый кривой» - вказується елемент і крива

(крайка або спеціально побудований ескіз), уздовж якої розташовуються копіювані елементи.

«Массив, управляемый эскизом» - дозволяє розмножити елемент деталі, розташувавши копіювані елементи по конкретних точках. Ці точки будуються заздалегідь і розташовуються в окремому ескізі.

«Массив, управляемый таблицей» - дозволяє розташувати копіювані елементи по точках, координати яких задаються в спеціальній таблиці.

«Образец заполнения» - ця команда запускається однойменною кнопкою й надає конструкторові можливість створити масив, заповнюючи копіюваними елементами певну область.

Завдяки команді - **«Зеркальное отражение»** обрані елементи копіюються, дзеркально відбиваючись від обраної площини.

Розглянемо використання деяких із цих команд на конкретних прикладах. Отже у наступному прикладі ми добудуємо корпус редуктора, частина якого вже була сконструйована раніше (рис. 7.44).

1. На основі чверті корпусу редуктора побудуємо його половину. Для цього активізуємо кнопку - **«Зеркальное отражение»** на панелі інструментів **«Элементы»**. На екрані з'явиться вікно **«Зеркальное отражение»** (рис. 7.45).

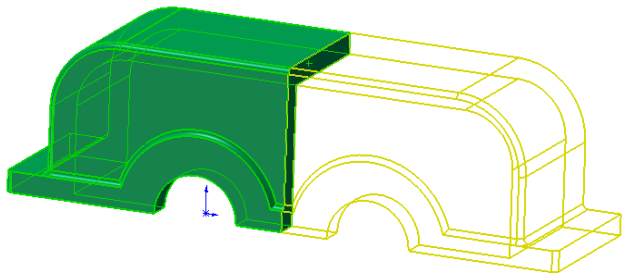
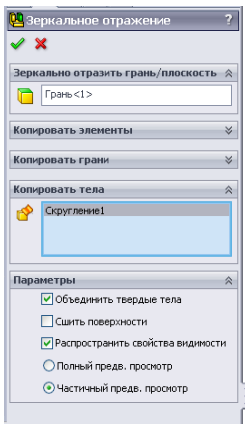


Рисунок 7.45 - Процесс дзеркальної добудови корпусу редуктора

У розділі **«Зеркально отразить грань/плоскость»** вкажемо грань деталі, відносно якої буде побудовано дзеркальне відбиття, а в

розділі «**Копировать тела**» позначимо тверде тіло чверті корпуса редуктора (рис. 7.45). Натиснемо кнопку **ОК** і одержимо половину корпуса редуктора (рис. 7.46).

2. Аналогічним образом побудуємо другу половину корпуса. Натиснемо кнопку - «**Зеркальное отражение**». У розділі «**Зеркально отразит грань/плоскость**» позначимо плоску грань деталі. У розділі «**Копировать тела**» вкажемо тверде тіло половини корпуса. У результаті буде побудований корпус редуктора (рис. 7.47).

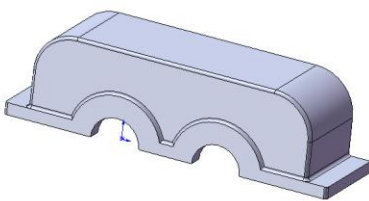


Рисунок 7.46 - Добудована частина корпуса

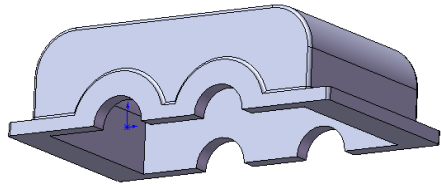


Рисунок 7.47 - Побудований корпус редуктора

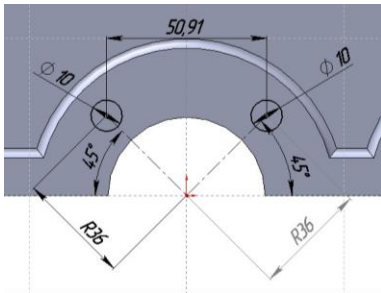


Рисунок 7.48 - Ескіз отворів для кріплення кришок

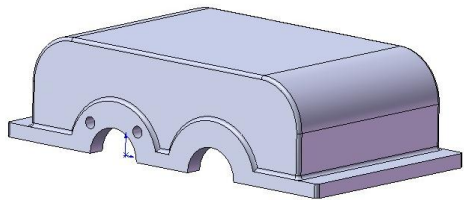


Рисунок 7.49 - Побудовані отвори для кріплення кришок

3. В існуючому корпусі бракує отворів для кріплення кришок. Сконструємо ці отвори: укажемо плоску грань корпуса, де повинні бути побудовані отвори, і намалюємо ескіз отворів (рис. 7.48). Для оформлення отворів згідно з побудованим ескізом, активізуємо кнопку - «**Вытянутый вырез**» на панелі інструментів «**Элементы**». На екрані відкриється вікно «**Вырез-Вытянуть**», у розділі «**Направление 1**» виберемо граничну умову «**На задану відстань**» і вкажемо відстань 25 мм. Закінчимо побудову отворів натисканням кнопки **ОК**

(рис. 7.49). Отже крім того, що на деталі сформувалися два отвори, у дереві конструювання з'явився рядок - **«Виріз-Витягнути1»**.

4. Оформимо усередині цих отворів різьблення. Звернемося до меню **«Вставка | Примечание | Условное изображение резьбы...»**. У вікні, що з'явилося на екрані, **«Условное изображение резьбы»** вкажемо крайки отворів, а також виберемо стандарт різьблення, довжину різьблення та розмір (рис. 7.50). Довжина різьбової частини отворів становить 15 мм, а розмір - M12.

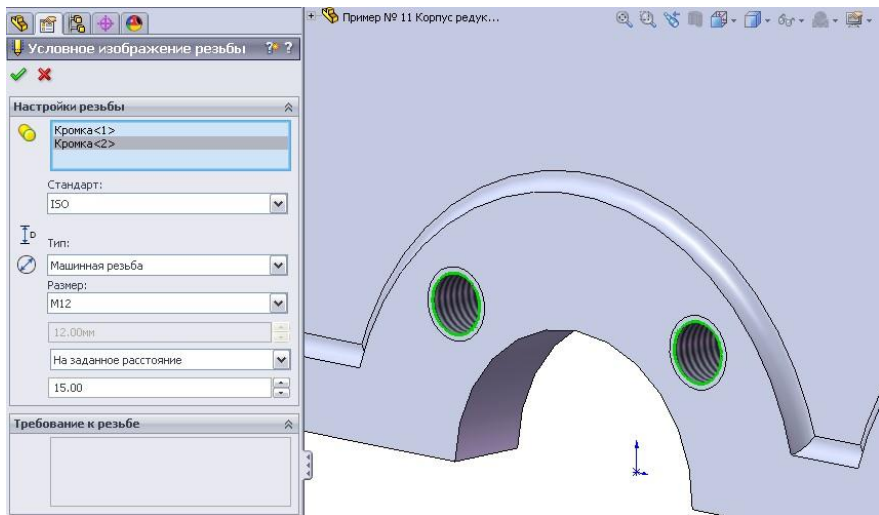


Рисунок 7.50 - Створення різьблення усередині отворів

5. Закінчимо оформлення різьблення, нажавши кнопку **ОК**.

6. Тепер, використовуючи команду **«Линейный массив»**, скопіюємо ці отвори на інші три бобишки. Після натискання кнопки - **«Линейный массив»** на екрані з'явиться вікно **«Линейный массив1»** (рис. 7.51). У розділі **«Направление 1»** укажемо напрямок масиву - крайку корпусу; інтервал між елементами - 105 мм; кількість екземплярів - 2. У розділі **«Направление 2»** укажемо крайку, перпендикулярну першому напрямку; інтервал між елементами - 127 мм; кількість екземплярів - 2; у якості копіюваних елементів у розділі **«Копировать элементы»** вкажемо **«Вырез-Витянуты1»** (рис. 7.51).

7. Натиснемо кнопку **ОК** і одержимо корпус редуктора з різьбовими отворами для кріплення кришок (рис. 7.52).

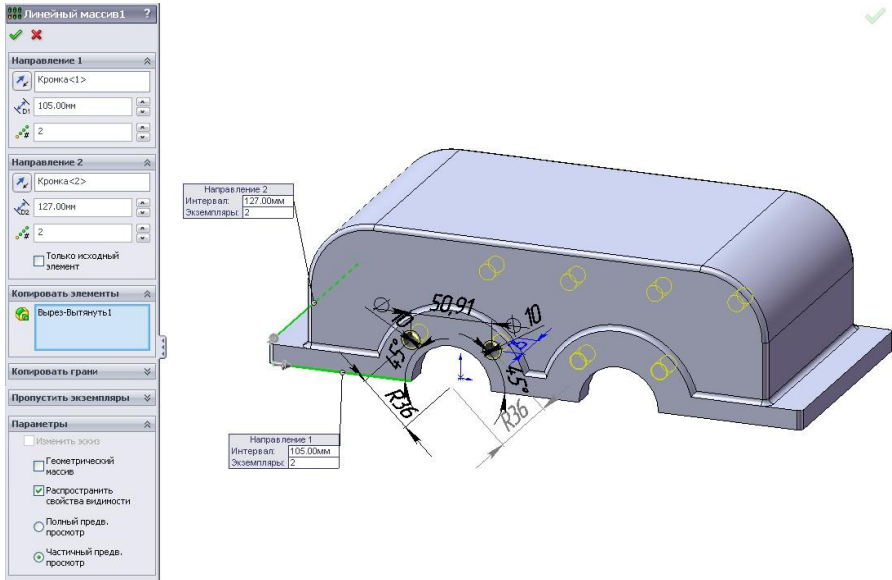


Рисунок 7.51 - Процесс копіювання отворів на інші бобишки

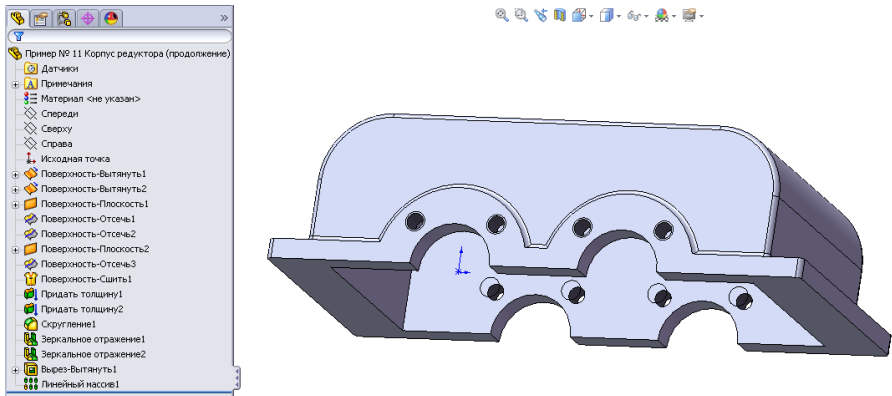


Рисунок 7.52 - Корпус редуктора з різбовими отворами для кришок

8. Побудуємо чотири гладкі отвори на бурті корпуса. Для цього відзначимо площину бурту й намалеємо ескіз отвору (рис. 7.53).

9. Витягнемо отвір командою «**Вытянутый вырез**». У вікні «**Вырез-Вытянуть**» позначимо глибину вирізу - «**Насквозь**», потім натиснемо кнопку **ОК** і одержимо отвір на бурті корпуса (рис. 7.54).

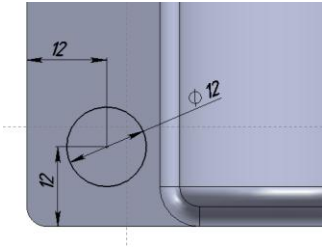


Рисунок 7.53 - Ескіз отвору на бурті корпуса

екземплярів - 2; у якості копіюваних елементів укажемо «**Вырез-Вытянуть2**» (рис. 7.55).

10. Оформимо чотири такі отвори, використовуючи команду «**Линейный массив**». Натиснемо кнопку - «**Линейный массив**», у розділі «**Направление 1**» укажемо крайку корпуса; інтервал між елементами 311 мм; кількість екземплярів 2. У розділі «**Направление 2**» позначимо іншу крайку, перпендикулярну «**Направление 1**»; інтервал між елементами - 128 мм; кількість

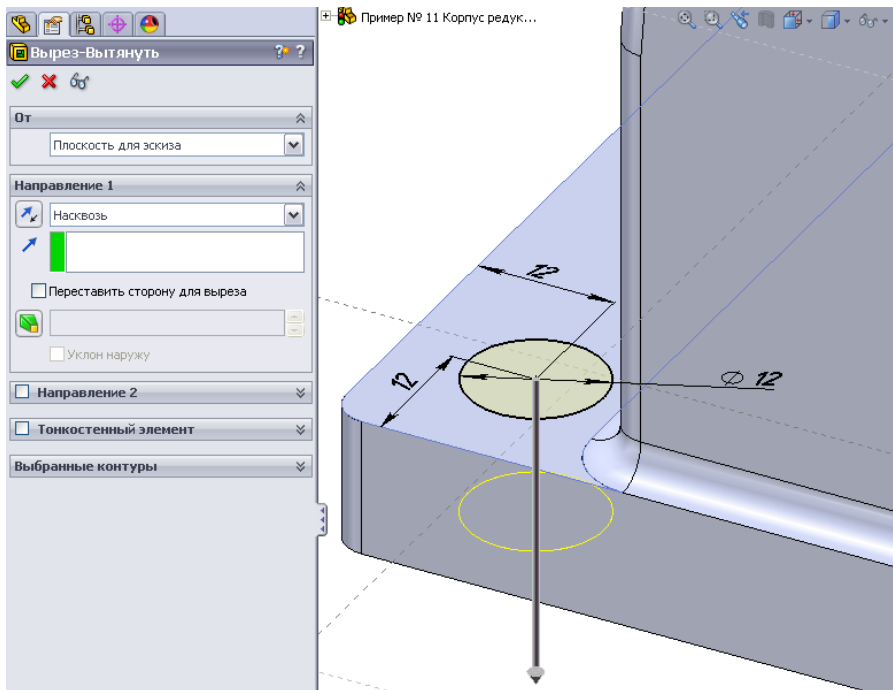


Рисунок 7.54 - Процес побудови отвору на бурті корпуса

11. Натиснемо кнопку **ОК** і в результаті одержимо готовий корпус редуктора, побудований за допомогою допоміжних поверхонь, дзеркального відбиття й лінійних масивів (рис. 7.56).

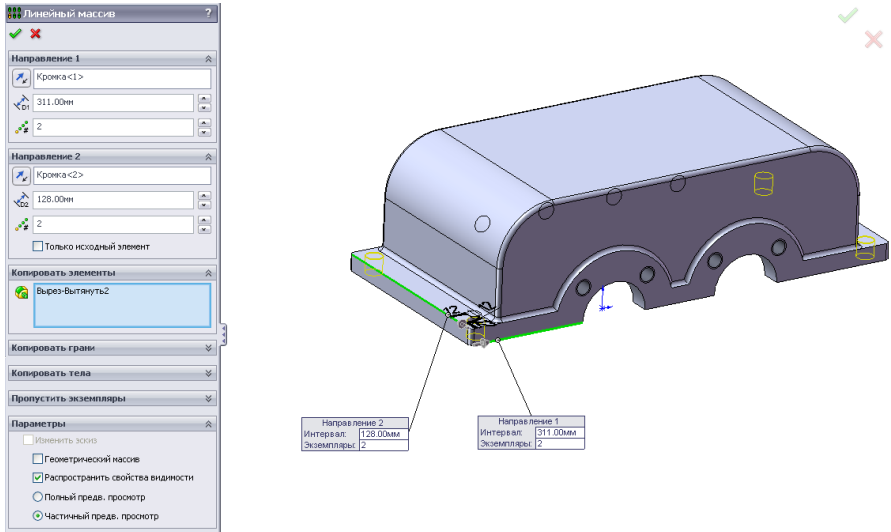


Рисунок 7.55 - Створення чотирьох отворів за допомогою масиву

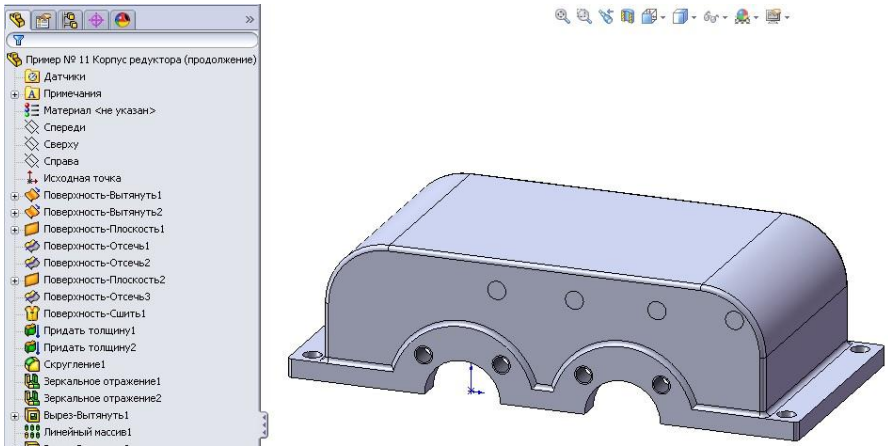


Рисунок 7.56 - Готовый корпус редуктора,

Далі розглянемо створення кругових масивів. Показовим прикладом деталі із круговими масивами є зубчасте колесо. Отже у цьому прикладі ми сконструюємо зубчасте колесо для редуктора.

1. Побудову зубчастого колеса почнемо з оформлення ескізу, для чого виберемо площину «Спереди» в тривимірному просторі

SolidWorks і ввійдемо в ескіз кнопкою «Ескіз» на однойменній панелі інструментів.

2. Оформимо ескіз зубчастого колеса у вигляді його половини, не забувши зобразити вісь деталі (рис. 7.57). Як видно з рис. 7.57, ескіз зубчастого колеса являє собою прямокутник із трьома фасками $1 \times 45^\circ$. На відстані 15 мм від прямокутника побудована вісь деталі, яка також є віссю повороту ескізу.

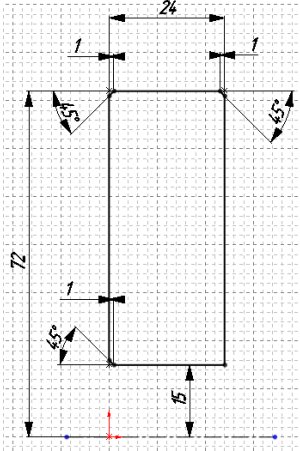


Рисунок 7.57 - Ескіз зубчастого колеса

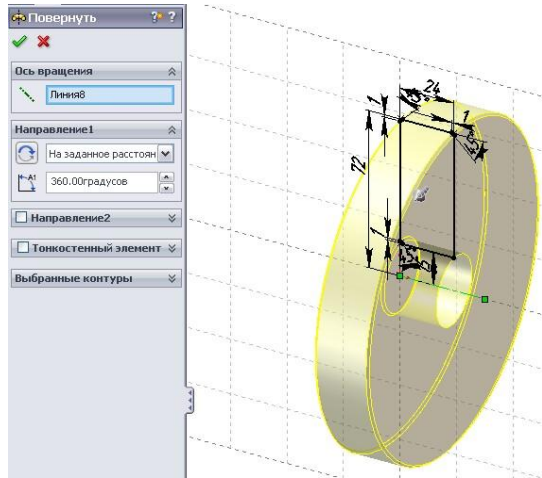


Рисунок 7.58 - Процес побудови зубчастого колеса

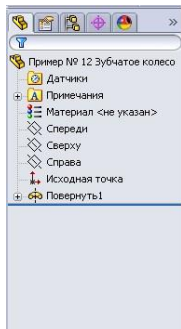


Рисунок 7.59 - Колесо з фасками

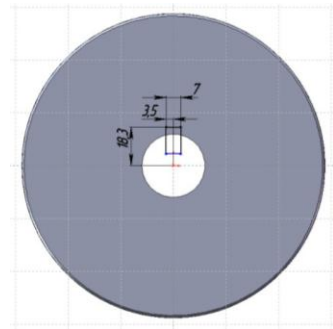


Рисунок 7.60 - Ескіз шпонкового паза

3. Коли ескіз готовий, для побудови деталі залишається лише натиснути кнопку - «Повернутая бобышка/основание» на панелі ін-

струментів «**Элементы**». На екрані дисплея з'явиться вікно «**Повернуть**», у якому необхідно вказати кут повороту ескізу, для колеса він становить 360° (рис. 7.58).

4. Натиснемо кнопку **ОК** і в результаті одержимо колесо з фасками (рис. 7.59), а в дереві конструювання з'явиться рядок «**Повернуты1**».

5. Побудуємо шпонковий паз на зубчастому колесі. Для створення ескізу шпонкового паза виберемо одну із плоских поверхонь колеса й увійдемо в ескіз, активізувавши кнопку - «**Эскиз**». Намалюємо ескіз шпонкового паза (рис. 7.60).

6. Витягнемо ескіз шпонкового паза, для чого активізуємо кнопку - «**Вытянутый вырез**». На екрані відкриється вікно «**Вырез-Вытянуть**». У розділі «**Направление 1**» вкажемо граничну умову оформлюваного вирізу - «**Насквозь**» (рис. 7.61).

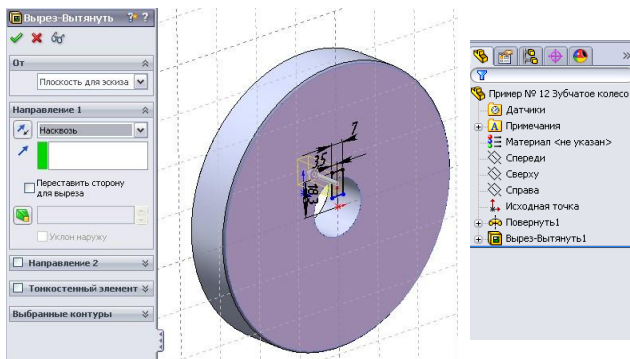


Рисунок 7.61 - Процесс побудови шпонкового паза

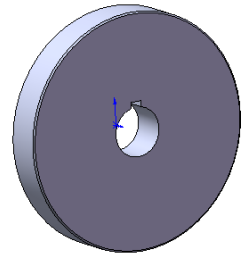


Рисунок 7.62 - Готовый шпонковый паз

7. Закінчимо побудову шпонкового паза, нажавши кнопку **ОК**. У результаті одержимо заготовку зубчастого колеса, поки без зубів, але з фасками й шпонковим пазом (рис. 7.62).

Тепер перейдемо до оформлення зубів колеса.

1. Оберемо плоску поверхню колеса й побудуємо на ній ескіз западини зуба (рис. 7.63).

2. Тепер оформимо западину, для чого натиснемо кнопку - «**Вытянутый вырез**». У розділі «**Направление 1**» укажемо граничну умову оформлюваного вирізу - «**Насквозь**», натиснемо кнопку **ОК** і одержимо колесо з вирізом у вигляді западини зуба (рис. 7.64).

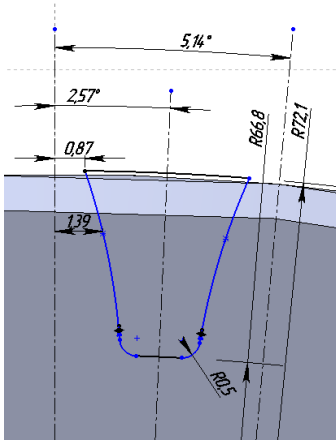


Рисунок 7.63 - Ескіз западини зуба колеса

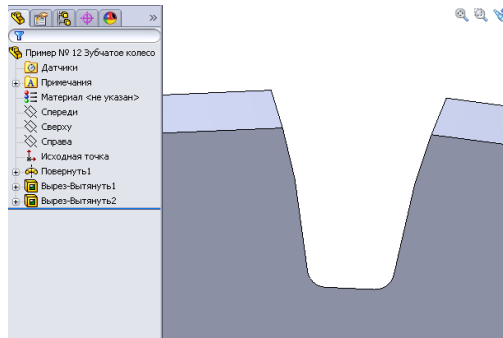


Рисунок 7.64 - Створена западина зуба колеса

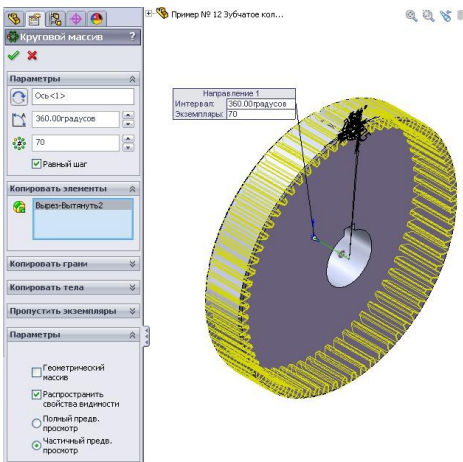


Рисунок 7.65 - Процесс створення кругового массива западин зуба

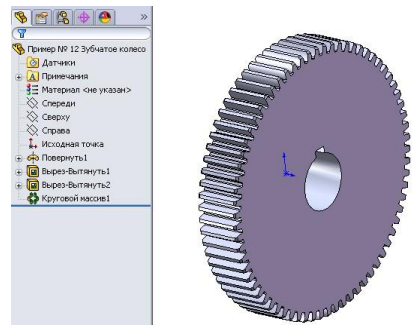


Рисунок 7.66 - Готове зубчатое колесо

3. За допомогою кругового масиву скопіюємо западину зуба. Для цього натиснемо кнопку - «Круговой массив». На екрані з'явиться вікно «Круговой массив». У розділі «Параметры» вкажемо вісь масиву за допомогою меню «Вид | Временные оси». У тривимірній моделі деталі з'явиться вісь, яку необхідно виділити. Її назва відобра-

зиться в розділі «**Параметри**» (рис. 7.65). У цьому розділі також укажемо сумарний кут масиву - 360, кількість копійованих елементів (западин) - 70, поставимо прапорець «**Равный шаг**» (рис. 7.65). У розділі «**Копировать элементы**» необхідно позначити виріз зуба - «**Вырез-Вытянуть2**» (рис. 7.65).

4. Натиснемо кнопку **ОК**, щоб закінчити побудову зубчастого колеса. На екрані відобразиться зубчасте колесо зі шпонковим пазом (рис. 7.66).

Отже сконструювавши зубчасте колесо, ми закінчили розгляд основних способів проектування деталей в SolidWorks. Використовуючи описані прийоми й методи, можна створювати тривимірні об'єкти різної складності. Крім цього, в SolidWorks існують засоби, що дозволяють проектувати деталі з листового металу, зварені конструкції, створювати ливарні форми, а також прийоми оформлення різних конфігурацій однієї деталі. У наступних лекціях ми розглянемо методи побудови конфігурацій деталей.

Питання для самоперевірки

1. Які є загальні способи створення тривимірних деталей?
2. Розкажіть про метод створення деталі "Витягування".
3. Як створити деталь способом "Обертання"?
4. Розкажіть про створення деталей складної конфігурації.
5. Розкажіть про метод "Витягування елемента по траєкторії".
6. Які є основні види вирізів?
7. Які в SolidWorks є додаткові можливості формування деталей?
8. Як створити фаску на деталі?
9. Для чого потрібна команда "Уклон"?
10. Як працює команда "Купол"?
11. Які операції можна виконати командою "Оболочка"?
12. Наведіть приклади деталей типу обертання.
13. Для чого потрібні команди створення масивів?
14. Як призначити тип матеріалу побудованій деталі?
15. Як розрахувати масові характеристики побудованої деталі?
16. Які є типи сполучень допоміжних площин з об'єктами?
17. Які є загальні правила побудови напрямних кривих?
18. Що являють собою поверхні і як вони будуються?
19. Назвіть два основні методи побудови деталей на базі поверхонь.
20. Назвіть типи масивів застосовуваних у SolidWorks.

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

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

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

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

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

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

Інформаційні ресурси

83. 3D-моделирование: тонкости CAD-дизайна для 3D-печати. <https://3dtoday.ru/category/3d-modelirovanie> (дата звернення: 27.10.2019)
84. 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)
85. Система NX (колишня назва - Unigraphics) компанії Siemens. URL: <https://www.plm.automation.siemens.com/global/ru/products/nx/>. (дата звернення: 10.10.2019)
86. Система CATIA. URL: <https://www.3ds.com/products-services/catia/>. (дата звернення: 10.10.2019)
87. Система SolidWorks. URL: <https://www.solidworks.com>. (дата звернення: 10.10.2019)
88. Welcom to ANSYS, Inc. – Corporate Homepage. URL: <https://www.ansys.com>. (дата звернення: 10.10.2019)
89. 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)
90. Система Solidedge компанії Siemens. URL: <https://solidedge.siemens.com/ru/>. (дата звернення: 10.10.2019)
91. Система T-FLEX. URL: <http://www.tfex.ru/>. (дата звернення: 27.10.2019)
92. Система Autodesk Inventor. URL: <https://www.autodesk.com/products/inventor/overview>. (дата звернення: 27.10.2019)