

The screenshot shows a 3D software interface, likely SolidWorks, displaying a highly detailed and complex 3D model of a Space Shuttle Main Engine (SSME). The engine is rendered in a realistic style with various components labeled, including the gas generator, preburners, and the main combustion chamber. The model is shown in a perspective view, highlighting its intricate internal and external structures. The software's interface includes a top toolbar with various tools, a left-hand panel for the Feature Tree and Property Tree, and a bottom status bar. The model is primarily white and grey, with some yellow and blue accents, including a NASA logo on the side of the main chamber.

**Міністерство освіти і науки України
Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного**

**ДЕРЕЗА О. О.
ВЕРШКОВ О. О.
ТЕТЕРВАК І. Р.**

ФУНКЦІОНАЛЬНЕ ПРОЄКТУВАННЯ В СЕРЕДОВИЩІ AUTODESK INVENTOR

Навчальний посібник

Запоріжжя
2025

УДК 621.8: 621.9
Д36

*Рекомендовано Вченою радою
Таврійського державного агротехнологічного університету
імені Дмитра Моторного
(Протокол №7 від 25.02.2025 р.)*

Рецензенти:

Дмитрієв Д. О., доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автоматизації, робототехніки і мехатроніки Херсонського національного технічного університету

Братішко В. В., доктор технічних наук, професор, декан механіко-технологічного факультету національного університету біоресурсів і природокористування України

Шаров С. В., кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри комп'ютерних наук Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного

Дереза О. О., Вершков О. О., Тетервак І. Р.
Д36 Функціональне проєктування в середовищі Autodesk Inventor:
навчальний посібник. Запоріжжя, 2025. 204 с.

Навчальний посібник призначений для підготовки бакалаврів зі спеціальностей: 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування». Метою даного навчального посібника є формування у студентів знань методів функціонального проєктування вузлів і деталей машин з застосуванням програм компанії Autodesk. Розглянуто можливості майстра проєктування Autodesk Inventor, методи моделювання та розрахунку з'єднань, передач та механізмів за допомогою його генераторів. Буде корисний початківцям, здобувачам вищої освіти технічних спеціальностей вищих навчальних закладів, інженерам, викладачам і науковцям, що займаються розробкою машин та механізмів.

© Дереза О. О.
© Таврійський державний
агротехнологічний університет імені
Дмитра Моторного, 2025

Зміст

ВСТУП	7
ОГЛЯД ПРОГРАМ КОМПАНІЇ «AUTODESK»	8
1. ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ. ЗНАЙОМСТВО З ПРИКЛАДНИМИ ПАКЕТАМИ САПР ПІДСИСТЕМ ДВОВИМІРНОЇ ГРАФІКИ ТА ТВЕРДОТІЛОГО МОДЕЛЮВАННЯ	11
1.1 Знайомство із системою проєктування	11
1.2 Знайомство з прикладними пакетами САПР підсистем двовимірної (2D) графіки	13
1.3 Знайомство з системою твердотілого (об'ємного) 3D моделювання Autodesk Inventor	16
1.4 Типи документів пакетів САПР	18
1.5 Методика конструювання деталей	19
1.6 Методи моделювання в Inventor	26
1.7 Отримання кресленика	27
2. ПРОЄКТУВАННЯ ВАЛІВ ЗАСОБАМИ ПАРАМЕТРИЧНОГО ПРОЄКТУВАННЯ В AUTODESK INVENTOR.....	34
2.1 Генератори та калькулятори Component Generator.....	34
2.2 Проєктування вала за допомогою Shaft Component Generator	35
2.3 Розрахунок вала	39
2.4 Проєктування шпонкового з'єднання	44
2.5 Проєктування шліцьового вала.....	48
2.6 Генератор підшипників	54
3. ПРОЄКТУВАННЯ ЦИЛІНДРИЧНИХ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС ЗАСОБАМИ ПАРАМЕТРИЧНОГО ПРОЄКТУВАННЯ В AUTODESK INVENTOR.....	62
3.1 Основні параметри зубчастих коліс	62
3.2 Проєктування коліс циліндричних зубчастих передач в Spur Gears Component Generator	67
3.3 Вибір параметрів циліндричних зубчастих зачеплень	71
3.4 Виконання розрахунку	72
3.5 Розміщення циліндричного зубчастого колеса	72

4 ПРОЄКТУВАННЯ КОНІЧНИХ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС ЗАСОБАМИ ПАРАМЕТРИЧНОГО ПРОЄКТУВАННЯ В AUTODESK	82
4.1 Проєктування конічних зубчастих коліс.....	82
4.2 Проєктування коліс конічних зубчастих передач за допомогою Bevel Gears Component Generator.....	85
4.3 Вибір параметрів конічних зубчастих зачеплень.....	88
4.4 Розміщення конічного зубчастого колеса.....	93
5 ПРОЄКТУВАННЯ ЧЕРВ'ЯКІВ І ЧЕРВ'ЯЧНИХ КОЛІС ЗАСОБАМИ ПАРАМЕТРИЧНОГО ПРОЄКТУВАННЯ В AUTODESK	98
5.1 Проєктування черв'ячної передачі.....	98
5.2 Проєктування черв'ячного колеса з напресованим вінцем	102
5.3 Вибір параметрів черв'ячної передачі	103
5.4 Побудова додаткових елементи черв'яка	105
5.5 Побудова додаткових параметрів колеса	107
6. ПРОЄКТУВАННЯ ПАСОВИХ ПЕРЕДАЧ	113
6.1 Проєктування пасових передач	113
6.2 Визначення геометричних параметрів пасової передачі	119
6.3 Проєктування шківів для пасової передачі.....	121
6.4 Приклад проєктування клинопасової передачі	122
6.5 Розміщення шківів пасової передачі	123
6.6 Проєктування зубчастих пасів	132
7. ПРОЄКТУВАННЯ ЛАНЦЮГОВИХ ПЕРЕДАЧ	136
7.1 Порядок проєктування ланцюгової передачі	137
7.2 Встановлення параметрів ланцюгової передачі.....	141
7.3 Результати розрахунку	142
7.4 Проєктування зірочки ланцюгової передачі.....	144
8. ПРОЄКТУВАННЯ З'ЄДНАНЬ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ТА ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЙ ЗАСОБАМИ ПАРАМЕТРИЧНОГО ПРОЄКТУВАННЯ	147

8.1 Способи проектування.....	147
8.2 Проектування болтових з'єднань	148
8.4 Розрахунок болтових з'єднань	151
8.5 Проектування штифтових з'єднань	156
8.6 Проектування пружин	159
9 СИСТЕМА МІЦНІСНОГО АНАЛІЗУ МОДЕЛЕЙ	167
9.1 Середовище аналізу напружень	167
9.2 Створення моделювання	168
9.3 Застосування структурних обмежень	169
9.4 Навантаження моделі	170
9.5 Результати аналізу моделі	172
10 МОЖЛИВОСТІ АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИРОБНИЦТВА У AUTODESK INVENTOR CAM	177
10.1. Інтерфейс Inventor CAM.....	177
10.2 Успішне створення траєкторії.....	178
10.3 Стратегії траєкторії та CAM-браузер	179
10.4 Вибір і налаштування ріжучого інструмента.....	181
10.5 Налаштування операцій обробки	185
10.6 Розрахунок і симуляція траєкторії руху інструмента	186
10. 7 Постобробка	189
11 ДОДАТКОВІ ІНСТРУМЕНТИ ПРОГРАМИ AUTODESK INVENTOR	192
11.1 Імпорт файлів DXF, OBJ, STL, IDF, а також файлів DWF.....	192
11.2 Середовище Inventor Studio для візуалізації та анімації	194
11.3 Оптимізація конструкції	196
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	203

Вступ

У сучасному світі інженерного проєктування та конструювання все більше значення набувають цифрові технології. Комп'ютерне моделювання дозволяє інженерам і дизайнерам створювати складні вироби, аналізувати їх характеристики та виявляти можливі проблеми ще на етапі проєктування. Одним із потужних інструментів, що надає такі можливості, є програма Autodesk Inventor. Цей програмний продукт забезпечує інтегроване середовище для створення, редагування та аналізу тривимірних моделей.

Навчальний посібник "Використання програми «Autodesk Inventor» для функціонального проєктування" призначений для студентів, інженерів, конструкторів та всіх, хто прагне освоїти методи сучасного цифрового проєктування. У ньому розглянуті основи роботи з програмою, від створення простих ескізів до моделювання складних збірок і проведення їх аналізу.

Метою цього посібника є надання комплексних знань та практичних навичок роботи з програмою Autodesk Inventor.

Посібник складається з кількох розділів, кожен з яких присвячений окремому аспекту роботи з Autodesk Inventor. Починається знайомство із системою проєктування, з прикладними пакетами САПР підсистем двовимірної (2D) графіки та твердотілого 3D моделювання, основними функціями та можливостями Inventor. При викладенні відомостей про Autodesk Inventor використовується інформація про англomовну версію 2021 і вище. Розглянуті генератори майстра проєктування валів і підшипників, генератори зубчастих передач (циліндричних, конічних, черв'ячних), наведено генератори передач гнучким зв'язком – пасових і ланцюгових. Окремий розділ присвячений проєктуванню з'єднань деталей машин - болтових, шпонкових, шліцьових, штифтових. Представлено приклади генерації пружин.

Наведено основні поняття системи міцнісного аналізу моделей. Розглянуто можливості автоматизованого виробництва у Autodesk Inventor CAM. Однією з головних переваг Inventor CAM є його безшовна інтеграція з Autodesk Inventor. Це дозволяє інженерам безпосередньо використовувати 3D-моделі, створені в Inventor, для генерації програм ЧПК без необхідності експортувати дані в інші програми. Наприкінці посібника розглянуто додаткові інструменти програми Autodesk Inventor, призначені для візуалізації та оптимізації конструкції, що буде доцільним для майбутніх дизайнерів.

Цей посібник буде корисним для здобувачів технічних спеціальностей, які вивчають основи інженерного проєктування; інженерів-початківців, які прагнуть розширити свої знання і навички у використанні сучасних CAD-систем; досвідчених фахівців, які бажають поглибити свої знання та освоїти нові можливості Autodesk Inventor. Застосування сучасних CAD-систем, таких як Autodesk Inventor, дозволяє значно підвищити ефективність проєктування та виробництва. Цифрове моделювання допомагає зменшити кількість помилок, знизити витрати та прискорити процес розробки нових продуктів. Освоєння цих інструментів є важливим кроком для кожного інженера, який прагне бути конкурентоспроможним у своїй професії.

Огляд програм компанії «Autodesk»

«Autodesk Inc» ([NASDAQ: ADSK](#)) американська транснаціональна корпорація, найбільший у світі постачальник програмного забезпечення ([САПР](#)). Її програмні продукти широко використовуються в архітектурі, інженерії, будівництві, виробництві, медіа та розвагах.

З ким працює компанія? Основні програми для проєктування:

Autodesk AutoCAD: Trusted by millions, built to accelerate your creativity

Autodesk Inventor: Mechanical design software for ambitious ideas

Autodesk 3ds Max: Create massive worlds and high-quality designs

Autodesk Fusion 360: More than CAD, it's the future of design and manufacturing.

Технології Autodesk використовуються для візуалізації, моделювання і аналізу поведінки конструкцій на ранніх стадіях проєктування і дозволяють не просто побачити модель на екрані, а й випробувати її.

Компанія Autodesk Inc. (США) є основним постачальником програмного забезпечення для систем автоматизованого проєктування (САПР/CAD) і засобів мультимедіа на персональних комп'ютерах. Autodesk зробила значний внесок у створення ринку програмного забезпечення САПР для персональних комп'ютерів, коли вперше представила на ринку пакет AutoCAD – універсальний графічний редактор, що відразу ж одержав величезну популярність у світі. Сьогодні сімейство продуктів Autodesk застосовується практично на всіх стадіях і в різних видах проєктування, включаючи архітектуру і цивільне будівництво, машинобудівне проєктування, ГІС і картографію, кіно- і відео виробництво, а також розроблення Web-сторінок.

Autodesk Inc. є лідером у галузі розробки програмного забезпечення для проєктування та інженерного аналізу, пропонуючи інноваційні та інтегровані рішення для професіоналів у різних галузях. Однак висока вартість та складність освоєння їх продуктів можуть бути значними перешкодами для деяких користувачів.

AUTODESK AUTOCAD

Розширення творчого потенціалу здійснюється за допомогою функцій автоматизації, співпраці та машинного навчання AutoCAD®. Архітектори, інженери та будівельники використовують AutoCAD, щоб виконувати такі задачі:

- Проєктування й коментування 2D-геометрії та 3D-моделей із твердими тілами, поверхнями й сітчастими об'єктами;
- Автоматизувати такі завдання, як порівняння креслень, заміна блоків, підрахунок об'єктів, створення розкладів тощо;
- Створювати власний робочий простір для підвищення продуктивності за допомогою додаткових додатків та інтерфейсів API.

AUTODESK INVENTOR

Autodesk Inventor надає інструменти професійного рівня для механічного проєктування, документування та моделювання виробів. Широко

використовується в машинобудуванні, промисловому дизайні та виробництві для створення детальних цифрових моделей продуктів.

Потужне поєднання можливостей параметричного, прямого, довільного та заснованого на правилах проєктування. Дозволяє створювати точні тривимірні моделі з використанням параметрів і обмежень, що забезпечує легку зміну дизайну та повторне використання компонентів.

Використовує алгоритми штучного інтелекту для створення оптимізованих конструкцій на основі заданих параметрів, таких як матеріал, вага і навантаження. Вбудовані інструменти для проведення різних типів аналізу (CAE), включаючи статичний, динамічний, тепловий та аналіз втоми, що допомагає оцінити надійність і продуктивність виробів.

Інтеграція з САМ дає можливість створення інструментальних маршрутів для числового програмного керування (ЧПК) та інтеграція з програмами для комп'ютерного виробництва (CAM), такими як Autodesk Fusion 360.

Автоматичне створення деталізованих 2D-креслень з тривимірних моделей відповідають стандартам промисловості. Підходить для різних типів проєктів, від невеликих компонентів до великих промислових систем.

Autodesk Inventor є потужним і універсальним інструментом для тривимірного механічного проєктування, що надає користувачам широкий спектр можливостей для створення, аналізу та виробництва високоякісних продуктів. Незважаючи на високу вартість і складність освоєння, його переваги роблять його незамінним у багатьох інженерних і виробничих галузях. Зручний та зрозумілий інтерфейс користувача спрощує процес навчання та роботи з програмою.

AUTODESK 3DSMAX

Autodesk 3ds Max – це потужне програмне забезпечення для 3D-моделювання, рендерингу та візуалізації. Воно широко використовується у сфері архітектури, дизайну, відеоігор, кіноіндустрії та реклами для створення високоякісних тривимірних зображень і анімацій.

Широкий набір інструментів для створення та редагування тривимірних моделей, включаючи полігональне, сплайнове та поверхневе моделювання. Потужні інструменти для створення анімацій, включаючи традиційну кейфрейм анімацію, анімацію на основі фізики та скелетну анімацію.

Підтримка різних рендер-движків, таких як Arnold, V-Ray, Mental Ray та інші дозволяє отримувати фотореалістичні зображення. Інтерактивний рендеринг дає можливість швидкої перевірки сцен і матеріалів у режимі реального часу.

Підтримує різні формати файлів для імпорту та експорту, що дозволяє інтегрувати 3ds Max з іншими програмами, такими як Autodesk Revit, AutoCAD, Maya та інші. В наявності інструменти для створення та редагування текстур і матеріалів, включаючи підтримку PBR (Physically Based Rendering) матеріалів; інструменти для налаштування освітлення сцен, включаючи підтримку глобального та інших сучасних методів освітлення.

Програмне забезпечення має складний інтерфейс і вимагає значного часу на навчання, для ефективної роботи з великими сценами та високоякісним

рендерингом потрібен потужний комп'ютер. Але, незважаючи на високу вартість і складність освоєння, можливості 3ds Max роблять його незамінним у професійній сфері 3D-графіки.

AUTODESK FUSION360

Autodesk Fusion 360 – комплексне програмне забезпечення для тривимірного проєктування, інженерного аналізу та виготовлення. Воно об'єднує функції CAD (комп'ютерне проєктування), CAM (комп'ютеризоване виробництво) та CAE (інженерний аналіз), забезпечуючи користувачам всі необхідні інструменти в одному інтегрованому середовищі. Основні можливості Fusion 360 включають параметричне та пряме моделювання, інструменти для створення та управління комплексними механічними складаннями та проведення інженерних аналізів, рендеринг і анімацію, генеративний дизайн (використання алгоритмів штучного інтелекту).

CAM інструменти Fusion 360 й спільна робота в хмарі забезпечує інженерам, дизайнерам і виробникам все необхідно для повного циклу розробки продукції, від концептуального дизайну до виготовлення.

Підтримка імпорту та експорту файлів у різних форматах (наприклад, DWG, DXF, STEP, STL), що дозволяє легко інтегрувати Fusion 360 з іншими програмами для проєктування та аналізу.

Autodesk Fusion 360 залишається потужним і універсальним інструментом для багатьох завдань у сфері 3D моделювання і виробництва. Але для ефективної роботи Fusion 360 потрібне й досить потужне апаратне забезпечення. Fusion 360 є хмарним програмним забезпеченням, що означає, що для повноцінного використання потрібне стабільне інтернет-з'єднання. Це може бути незручно в умовах відсутності доступу до Інтернету або при поганій якості з'єднання.

1. ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ. ЗНАЙОМСТВО З ПРИКЛАДНИМИ ПАКЕТАМИ САПР ПІДСИСТЕМ ДВОВИМІРНОЇ ГРАФІКИ ТА ТВЕРДОТІЛОГО МОДЕЛЮВАННЯ

1.1 Знайомство із системою проєктування

Проектування – це одна з найважливіших сфер інженерної діяльності, це ланка, що зв'язує наукові дослідження і практичну реалізацію. Від термінів і якості проектування значною мірою залежать терміни впровадження і якість готової продукції. Сучасна світова тенденція націлена на значне скорочення термінів проектування.

Розрахунок і комп'ютерне проектування базується на програмному забезпеченні. Програми для моделювання, проектування і розрахунку механічних систем в середовищі систем автоматизованого проектування (САПР): AutoCAD, SOLIDWORKS, Autodesk Inventor для проектування деталей будь-якої складності.

Побудова шліцьових, різьбових і шпонкових ділянок на сходах моделей. Можуть бути створені й інші конструктивні елементи моделі - канавки, проточування, пази тощо; пружини, передачі, з'єднання. Розрахунок механічних передач, з'єднань тощо.

Система автоматизованого проектування (САП або САПР) або автоматизована система проектування (АСП) – автоматизована система, призначена для автоматизації технологічного процесу проектування виробу, результатом якого є комплект проєктно-конструкторської документації, достатньої для виготовлення та подальшої експлуатації об'єкта проектування. Реалізується на базі спеціального програмного забезпечення, автоматизованих банків даних, широкого набору периферійних пристроїв.

Система автоматизованого проектування і розрахунку – комп'ютерна система обробки інформації, що призначена для автоматизованого проектування (CAD), розроблення (CAE) і виготовлення (CAM) кінцевого продукту, а також оформлення конструкторської й/або технологічної документації.

Будь-яка програма, що працює з комп'ютерною графікою, так само як і будь-який додаток використовуваний в інженерних розрахунках, належить до систем автоматизованого проектування.

Оскільки завдання автоматизованого проектування дуже складні, то, як правило, САПР є спеціалізовані системи, що створюються для вирішення вузьких завдань однієї галузі.

В результаті знайомства з сучасними методиками комп'ютерного проектування здобувачі повинні

знати:

- загальну схему процесу автоматизованого проектування, а також відомості щодо координації проєктних робіт при створенні технічних об'єктів і систем;
- основні задачі, методи, моделі і алгоритми автоматизації конструкторського і технологічного проектування;

- особливості використання САПР при проектуванні виробів в радіоелектроніці та машинобудуванні;

вміти:

- виконувати аналіз предметної області й обґрунтовувати доцільність придбання або розробки САПР;
- здійснювати вибір типових та розробку прикладних видів всіх компонентів САПР, організовувати “діалог” в САПР;
- працювати з підсистемами конструкторського, технологічного проектування, що використовуються підприємствами;
- обирати програмну та апаратну платформу САПР для розв'язання задач підприємства;
- налаштовувати інтерфейс користувача САПР;
- виконувати аналіз та синтез технічних об'єктів при автоматизованому проектуванні.

Сучасні проектувальні системи

Основні напрями розвитку сучасних проектувальних систем:

- графічні системи (типу AutoCAD), що мають потужний апарат для створення на екрані комп'ютера графічного зображення об'єкта і здатні видавати проектні документи, що відповідають лише екранному зображенню;
- графічні системи (типу ArchiCAD, InteAr, Allplan, Architectural Desktop), що мають потужний апарат графічного діалогу, який дозволяє створювати за екраном графічну модель об'єкта, що відображає його геометричні та видові властивості, і видають графічну інформацію про об'єкт на основі обробки цієї моделі;
- проблемно-орієнтовані проектувальні системи (типу SCAD, ЛІРА, NISA, ANSIS, COSMOS), що мають дружній вузькопрофесійний інтерфейс, добре структуровану цифрову модель об'єкта, ряд чисто проектних процедур, проте вирішують обмежений клас проблемних задач і вимагають від користувача глибоких професійних знань у предметній області;
- проектувальні системи, орієнтовані на максимальне використання можливостей системи «спеціаліст - комп'ютер», що включає розвиток моделі об'єкта, дружній інтерфейс, спеціалізовану експертну систему, базу знань і відповідають вимогам сучасних інформаційних технологій;
- інтегровані системи, що базуються на цифровій моделі об'єкта. В них об'єкт представляється як набір елементів (ригель, колона, опалювальний прилад, кондиціонер, елемент освітлення і т.п.), кожний з яких має набір реквізитів – геометричних і змістових.

Сучасні проектувальні системи, які часто називають CAD (Computer-Aided Design), включають кілька рівнів, кожен з яких забезпечує різні функціональні можливості та ступінь інтеграції. Виділяють три основних рівня проектувальних систем. Верхній рівень: NX, CATIA, PTC Creo. Середній рівень: SolidEdge, SolidWorks, Inventor, КОМПАС 3D. Нижній рівень: AutoCAD, DraftSight, 2D DraftSight.

Сучасні проєктувальні системи охоплюють широкий спектр функціональних можливостей, від базових 2D-креслень до комплексного управління життєвим циклом продукту і виробничими процесами. Кожен рівень таких систем спрямований на оптимізацію певних аспектів проєктування, виробництва та управління, що дозволяє інженерам і дизайнерам ефективніше створювати, аналізувати і виготовляти продукцію. Вибір відповідного рівня проєктувальної системи залежить від конкретних потреб і завдань, які стоять перед користувачем або організацією.

Чим частіше за все займається на службі інженер-конструктор?

«Проектує вироби», «Виконує розрахунки» і «Випускає кресленики». Якраз для сприяння в проєктуванні, виконання розрахунків і випуску креслеників й існує генератор та калькулятор «Майстра проєктування» в середовищі Autodesk Inventor, завдання якого - прискорити всі ці процеси, зробити їх більш зручними, дати можливість конструкторам оперативно вносити зміни в існуючу конструкцію.

1.2 Знайомство з прикладними пакетами САПР підсистем двовимірної (2D) графіки

Підсистема двовимірної (2D) графіки, яка використовується перш за все для отримання креслярської документації.

- [AutoCAD](#) – ця система автоматизованого 3D-проєктування і 2D-креслення розроблена компанією [Autodesk](#). Система та її спеціалізовані додатки знайшли широке застосування в машинобудуванні, будівництві, архітектурі та інших галузях промисловості. Ранні версії AutoCAD оперували невеликим числом елементарних об'єктів, такими, як кола, лінії, дуги і текст, з яких утворювалися складніші. Тому AutoCAD заслужив репутацію «електронного кульмана», яка залишається за ним і дотепер. Однак на сучасному етапі можливості AutoCAD дуже великі й набагато перевершують можливості «електронного кульмана» [12 <https://uk.wikipedia.org/wiki/AutoCAD>].

AutoCAD — це потужний програмний продукт, що використовується для комп'ютерного проєктування (CAD). Його розробником є компанія Autodesk. AutoCAD широко застосовується в архітектурі, інженерії, будівництві, виробництві та інших галузях для створення двовимірних (2D) та тривимірних (3D) креслень і моделей.

Основні можливості AutoCAD включають:

1. Створення 2D-креслень: AutoCAD дозволяє створювати точні і детальні двовимірні креслення, включаючи плани будівель, механічні деталі, електричні схеми тощо.

2. Моделювання 3D: Програма підтримує створення тривимірних моделей, що дає можливість візуалізувати об'єкти в просторі, проводити аналіз і симуляції.

3. Редагування креслень: AutoCAD пропонує широкий набір інструментів для редагування, включаючи масштабування, обертання, відображення,

вирівнювання об'єктів, а також можливість створення та редагування блоків (груп об'єктів).

4. Анотування: Інструменти для додавання тексту, розмірних ліній, приміток і таблиць дозволяють робити креслення більш інформативними та зрозумілими.

5. Шари: Використання шарів дозволяє організувати креслення, роблячи його більш зручним для перегляду та редагування. Кожен шар може мати свої властивості, такі як колір, тип лінії та товщина.

6. Бібліотеки та шаблони: AutoCAD надає доступ до великої кількості готових шаблонів і бібліотек стандартних компонентів, що прискорює процес проєктування.

7. Спільна робота: Функції для спільної роботи дозволяють користувачам працювати над проєктом одночасно, обмінюватися файлами і коментарями в режимі реального часу.

8. Інтеграція з іншими програмами: AutoCAD підтримує імпорт та експорт файлів у різних форматах (наприклад, DWG, DXF, PDF), що дозволяє інтегрувати його з іншими програмами для проєктування та аналізу.

9. Програмування та автоматизація: Підтримка мови програмування AutoLISP, а також можливість використання VBA, .NET та інших мов для створення скриптів і додатків, які автоматизують рутинні завдання.

10. Хмарні сервіси: Autodesk пропонує можливість зберігати креслення в хмарі, що дозволяє отримувати до них доступ з будь-якого місця і з різних пристроїв.

AutoCAD постійно оновлюється, але він не підтримує тривимірну параметризацію, що обмежує його можливості додаючи нові функції та поліпшення, але слід зазначити, що відсутність тривимірної параметризації не дозволяє AutoCAD безпосередньо конкурувати з машинобудівними САПР середнього класу, такими як Inventor, SolidWorks та іншими [12].

Незважаючи на численні переваги, AutoCAD має деякі недоліки, які можуть вплинути на вибір цього програмного забезпечення для певних завдань:

- відсутність тривимірної параметризації, що обмежує його можливості в порівнянні з машинобудівними САПР середнього класу, такими як Inventor або SolidWorks;

- обмежені можливості для проведення аналізу та симуляцій, що може бути критичним для деяких галузей;

- відсутність інтеграції з деякими сучасними технологіями, такими як доповнена реальність (AR) та віртуальна реальність (VR);

- основний напрям AutoCAD залишається на 2D-кресленнях, що може бути недостатнім для проєктів, які вимагають потужних 3D-моделювальних функцій;

- для деяких галузей промисловості можуть бути потрібні більш спеціалізовані інструменти, ніж ті, що пропонує AutoCAD. У таких випадках можуть знадобитися додаткові програми або модулі;

- іноді можуть виникати проблеми з сумісністю файлів між різними версіями AutoCAD або при обміні файлами з іншими САПР.

- *Система Inventor* призначена для твердотілого параметричного проектування, орієнтована на розробку великих збірок із сотнями й тисячами деталей, має розвинену бібліотеку стандартних елементів. Створення 3D-моделей можливо видавлюванням, обертанням, по перетинах, по траєкторіях, з яких можна отримати 2D-креслення. Є можливість автоматична перевірка кінематики та розмірів деталі з урахуванням положення деталей у збірці. Асоціативні зв'язки задаються не шляхом опису операцій із параметрами й рівнянь, а безпосередньо визначенням форми й положення компонентів, що доволі зручно для роботи конструкторів.

Підсистема двовимірної (2D) графіки в Autodesk Inventor є важливою складовою, яка дозволяє створювати і редагувати 2D-ескізи, які використовуються як основа для подальшого тривимірного моделювання. Ця підсистема забезпечує широкі можливості для створення точних і детальних креслень, необхідних для виготовлення і документування виробів.

Використання параметричних змінних для визначення розмірів та властивостей елементів ескізу дозволяє легко змінювати модель. Для автоматичного розрахунку розмірів на основі введених параметрів використовуються математичні формули.

Підсистема двовимірної графіки в Autodesk Inventor є фундаментальною для процесу моделювання, забезпечуючи гнучкість і потужність при створенні та редагуванні геометричних форм. Тісний зв'язок між 2D-ескізами та 3D-моделями дозволяє ефективно переходити від концепції до готового виробу.

Autodesk Inventor орієнтований на інженерне 3D-моделювання та проектування, тому його інструменти для створення художньої або декоративної 2D-графіки є обмеженими в порівнянні зі спеціалізованими графічними редакторами. Хоча він надає багато функцій для створення 2D-креслень з 3D-моделей, редагування цих креслень може бути менш гнучким у порівнянні з програмами, що спеціалізуються виключно на 2D-графіці. Inventor розроблений перш за все для 3D-моделювання і проектування, тому функції 2D-графіки є вторинними і можуть не задовольняти всі потреби, які можуть виникнути у професіоналів, що працюють виключно з 2D-графікою. Незважаючи на ці недоліки, Autodesk Inventor залишається потужним інструментом для інженерного проектування і моделювання.

- У системі Pro/Engineer базові модулі конструкторського проектування забезпечують повний цикл розробки продукції: твердотіле й поверхневе моделювання, синтез конструкцій із базових елементів, параметричне моделювання, функціональні елементи, створення проєкцій, додавання розмірів, допусків, приміток та інших позначень, моделювання та аналізу руху механізмів, модуль для аналізу та оптимізації моделей з урахуванням їх поведінки під час експлуатації.

Pro/Engineer (PTC Creo) є потужним інструментом для інженерного проектування з розширеними можливостями для створення 2D-креслень. Однак, його основний фокус на 3D-моделюванні та інженерних завданнях може зробити його менш зручним для користувачів, які шукають простіше рішення для художньої або інтерактивної 2D-графіки. Для таких задач краще розглянути

спеціалізовані програми, що пропонують більш гнучкі та зручні інструменти для 2D-графіки.

1.3 Знайомство з системою твердотілого (об'ємного) 3D моделювання Autodesk Inventor

Autodesk Inventor - це програма 3D САПР для створення і вивчення поведінки цифрових прототипів виробів і деталей. Використовується в основному в [машинобудуванні](#). В комплект входить декілька продуктів: Autodesk Inventor Suite, Autodesk Inventor Routed Systems Suite (проектування кабельних і трубопровідних систем, в том числі для розводки складних ділянок трубопроводів, електричних кабелів і проводів), Autodesk Inventor Simulation Suite (засоби моделювання руху і аналізу навантажень, які спрощують вивчення поведінки виробу в реальних умовах ще на стадії проектування).

Autodesk Inventor - програма тривимірного параметричного моделювання складних об'єктів. Робота зі складальними кресленнями налічує близько 13 000 компонентів. Прогресивний інтерфейс, що дозволяє освоїти роботу з програмою за декілька днів, дозволяє в короткі строки будувати 3D моделі складних корпусних деталей (рис. 1.1). DYNAMIC DESIGNER - Інтегрований у середовище Mechanical Desktop розрахунковий модуль для проведення динамічного і кінематичного аналізу механізмів. Розроблювач - Mechanical Dynamics, США.

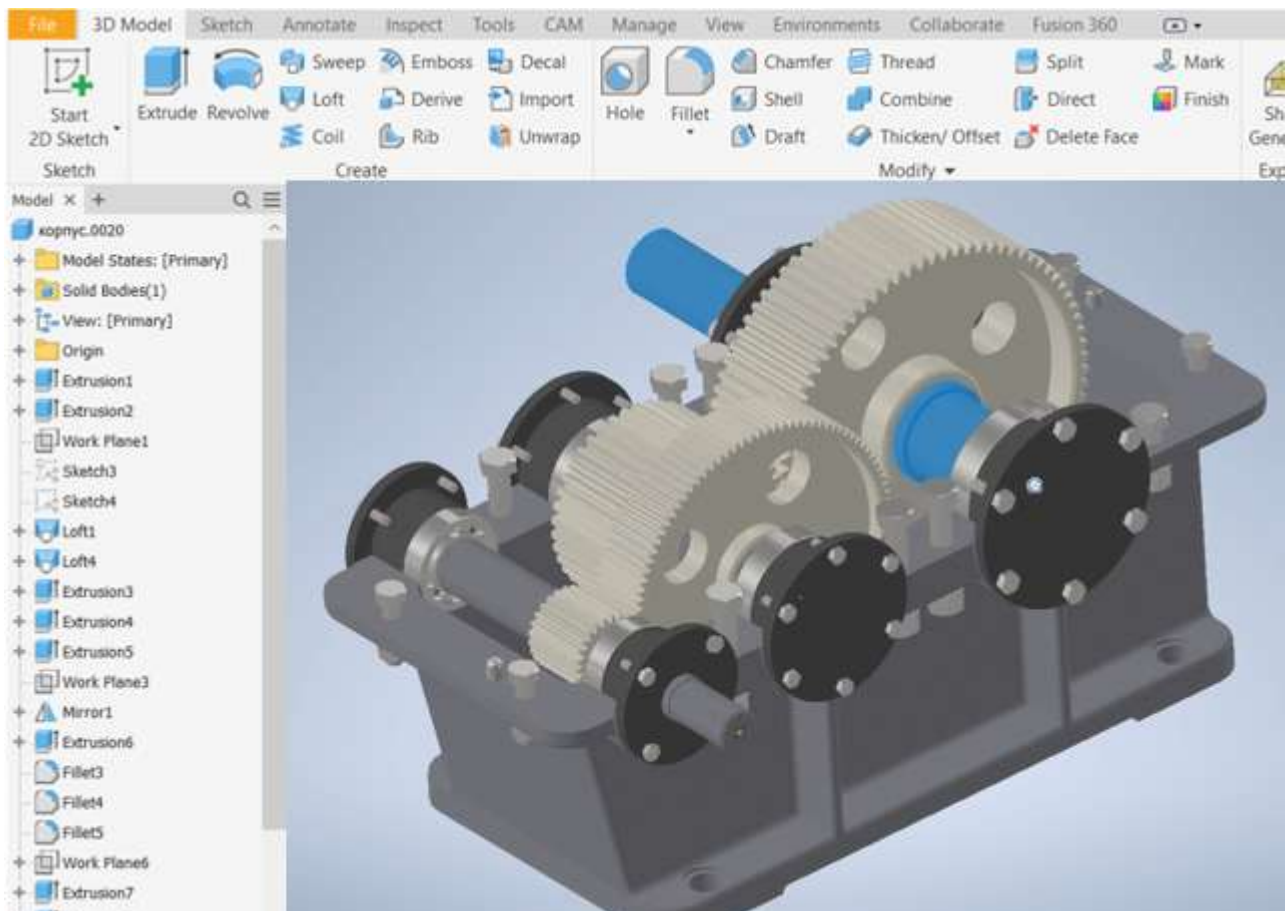


Рис. 1.1. Приклад 3D-креслення в Inventor

Елементи інтерфейсу програми Autodesk Inventor

Робота в Autodesk Inventor починається зі створення проекту, в якому зберігатимуться тривимірні об'єкти та креслення. Щоб створити новий однокористувацький проект, натискаємо **Next**, вказуємо теку нашого проекту, в якій зберігатимуться всі файли. Знаходимо вже створену теку Kurs Inventor, ім'я проекту поставимо таке ж – Kurs Inventor, натискаємо **Next** та **Done**. Створився проект, галочка навпроти нього означає, що це активний проект. Подвійним натисканням миші можна перемикатися між проектами (рис. 1.2).

Створення деталі

Для створення деталі створюється новий файл **New**, вибирається шаблон для створення деталі **Standard.ipt** та натискається **Create**.

У діалоговому вікні **Create New File** для створення нового файлу присутній вибір шаблону, що містить шаблони для нової деталі, виробу, схеми, деталі з листового матеріалу, звареної конструкції або креслення. Шаблони розташовані на трьох вкладках піктограми, що містять, файли шаблонів основних типів, відповідні до певних одиниць і стандартам (рис. 1.3).

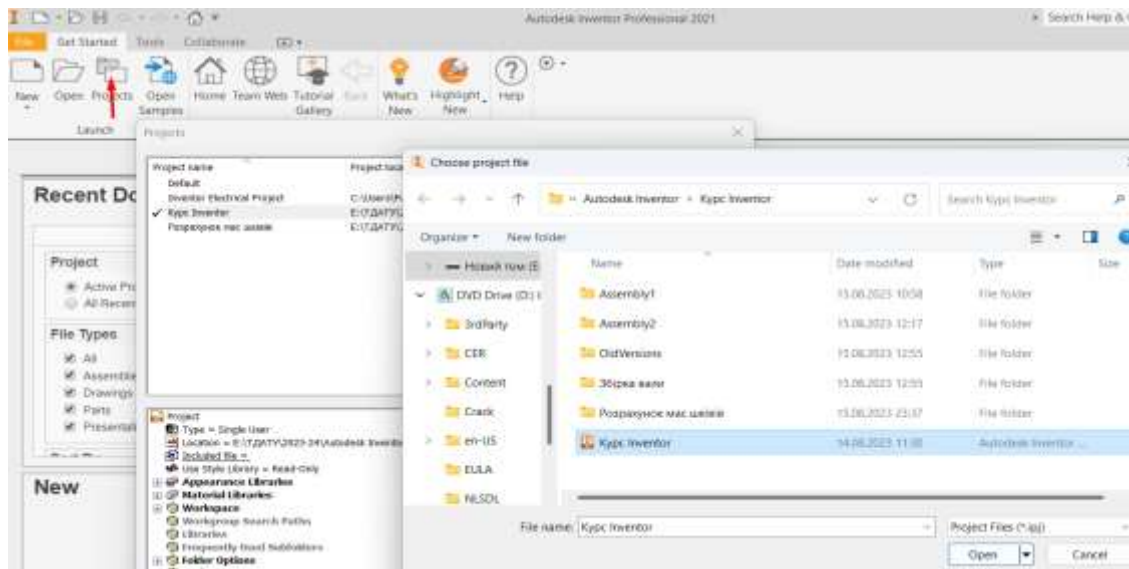


Рис. 1.2. Інтерфейс Autodesk Inventor

Вікно перегляду браузера служить для:

- копіювання наявних елементів і деталей;
 - керування процесом проектування деталей, вузлів і поверхонь у різних режимах;
 - модифікування деталей і вузлів, їх переміщення, видалення й перейменування;
 - відбиття історії створення файлу, що містить елементи й інші деталі.
- Об'єктами ієрархії є створені користувачем ескізи, елементи й компоненти.

В Autodesk Inventor за замовчанням у верхній частині екрана відображається стандартна панель інструментів, а в лівій – браузер. Стандартна панель містить команди відкриття та друку файлів, команди режимів перегляду та керування виглядом вікна. Графічне вікно відображається при відкритті файлу. При

відкритті лише одного файлу встановлюється максимальний розмір вікна файлу. При відкритті більш ніж одного файлу, для кожного з них буде відкрито дочірнє вікно, що містить графічну область. У браузері відображається ієрархічна структура деталей, збірок, схем і креслень (рис. 1.4).

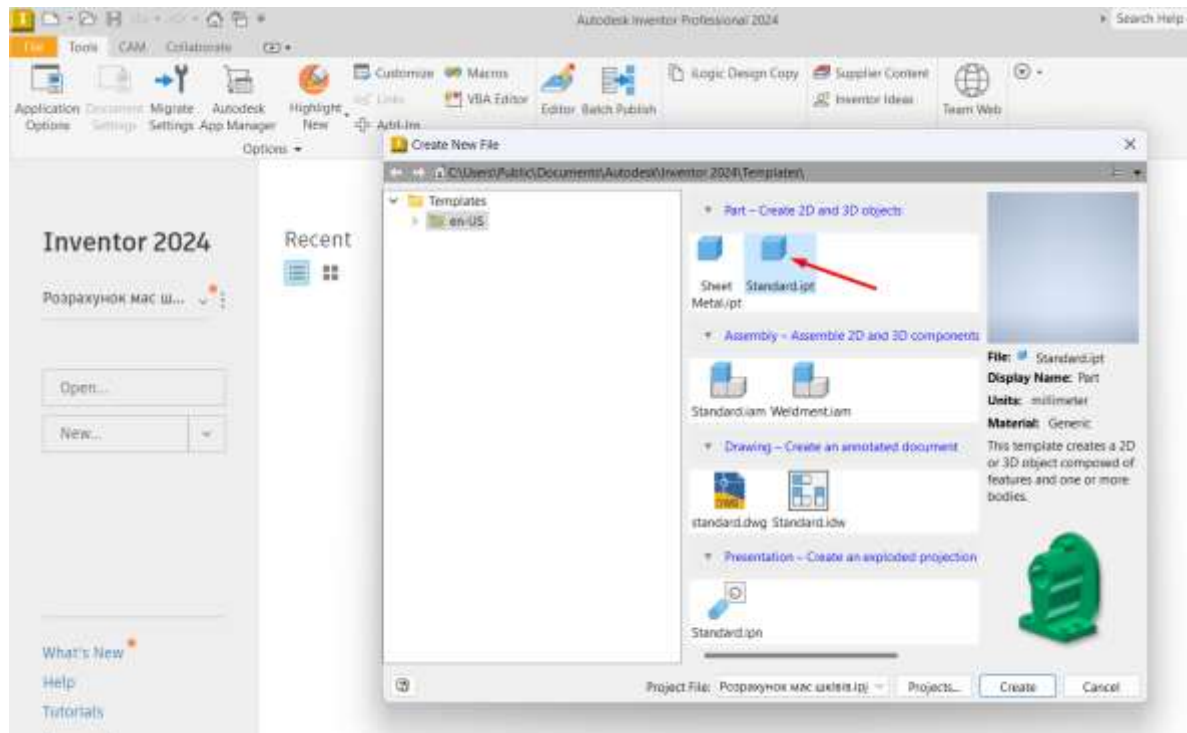


Рис. 1.3. Створення деталі

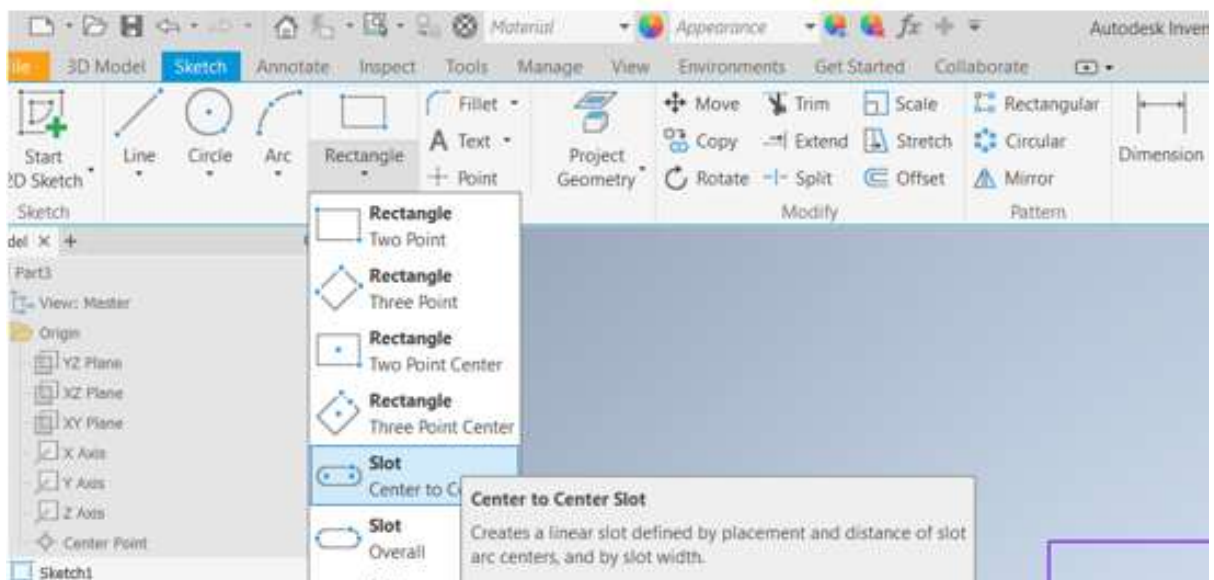


Рис. 1.4. Панель інструментів і браузер

1.4 Типи документів пакетів САПР

До машинобудівних пакетів САПР можна віднести такі прикладні пакети (ПП), як Mechanical Desktop, Solid Works, Atodesk Inventor.

Кожному типу документа відповідає розширення імені файлу і власна піктограма.

За замовчуванням - вкладка, на якій розташовані ярлики шаблонів, відповідних до системи креслення (дюймової або метричної), прийнятої при установці Inventor [14]:

-  Sheet Metal.ipt - стандартний шаблон для створення деталей з листового матеріалу;
-  Standart.ipt - стандартний шаблон для створення звичайних твердотілих деталей;
-  Standart.iam - стандартний шаблон для створення збірки;
-  Weldment.iam - шаблон для створення зварених конструкцій;
-  standart. dwg - кресленник в AutoCAD;
-  Standart.idw - стандартний шаблон для створення кресленника;
-  Standart.ipn - стандартний шаблон для створення рознесеної проєкції збірки (анімаційний ролик) (схем складання/розбирання) [14].

Вид активного вікна й режим роботи Inventor залежать від розв'язуваних завдань - кожному робітничому середовищу відповідають свої стандартні панелі й інструментальні палітри, браузері й інструменти. Число й місце установки панелей інструментів на екрані визначаються користувачем. При наявності відкритих одночасно файлів деталі, виробу й креслення, палітра й панелі інструментів будуть змінюватися при перемиканні між активними вікнами.

Специфікація — документ, що містить інформацію про склад збірки, представлену у вигляді таблиці. Специфікація оформляється рамкою й основним написом. Документ часто буває багатосторінковим, оформлюється також в Microsoft Excel. Файл специфікації має розширення .iam.

1.5 Методика конструювання деталей

На панелі інструментів *Конструктивні елементи* розташовані піктограми команд створення й редагування тривимірних елементів активної твердотілої моделі.

Новий ескіз створюється на плоскій грані деталі, робочій площині деталі або робочій площині виробу. Побудова й редагування будь-якої ескізної геометрії, включаючи такі дії над ними, як нанесення розмірів і накладення залежностей, виконуються в середовищі побудови ескізів, яка є спеціальним середовищем, у якому проводяться створення й редагування ескізу. Середовище побудови ескізів складається з:

- самого ескізу;

- інструментів для керування ескізною сіткою;
- функцій малювання відрізків, сплайнів, кіл, еліпсів, дуг, прямокутників, багатокутників і крапок;
- інструментів для нанесення розмірів і накладення залежностей.

Після створення конструктивного елемента в браузері відображається тека конструктивного елемента, із вкладеним вихідним ескізом, причому кожний ескіз має власну піктограму. При виборі піктограми ескізу в браузері в графічній області підсвічується сам ескіз. Піктограма нового ескізу з'являється в браузері щораз після натискання кнопки **Sketch**, що завершує побудову ескізу, навіть якщо жоден геометричний елемент не був створений.

Твердотіла модель деталі формується в Inventor на основі інформації, закладеної у ескізах, що мають просту форму й підтримують постійний зв'язок з ними. Моделювання проводиться за допомогою динамічного майстра ескізів з інтерактивним визначенням інтелектуальних профілів, що будуються з використанням ліній, дуг і сплайнів. Ескізи зберігають свої властивості незалежно від того, де використовуються їхні фрагменти, що дозволяє користувачам перетаскувати елементи ескізів у реальному часі відповідно до раніше встановлених правил їх включення в складання.

Вал є однією з розповсюджених деталей, оскільки використовує достатньо багато параметричних зв'язків між елементами та іншими деталями. Є певні правила вибору раціональних геометричних розмірів та конструктивних елементів ступінчастих валів.

Посадкові поверхні валів під [маточини](#) насаджуваних деталей виконують циліндричними або конічними. Діаметр цих поверхонь приймають більшим за діаметр сусідніх ділянок для зручності монтажу. Діаметри посадкових поверхонь обирають з ряду нормальних лінійних розмірів, а діаметри під [вальниці кочення \(підшипники\)](#) — відповідно до стандартів на них.

Перехідні ділянки між двома суміжними ступенями валів виконують:

- з канавкою із закругленням для виходу [шліфувального круга](#) при обробці посадкових поверхонь. Ці канавки підвищують концентрацію [механічних напружень](#);
- з жолобником сталого радіуса;
- з жолобником перемінного радіуса, що сприяє зниженню концентрації напружень, а тому, застосовується на суттєво навантажених ділянках валів;
- з фасками різних кутів.

Використання інструментів для створення рівців і заокруглень в Autodesk Inventor дозволяє створювати функціональні і технологічно зручні деталі валів. Це підвищує якість кінцевих виробів і полегшує процес їх виготовлення.

Ефективними засобами для зниження концентрації напружень у перехідних ділянках є виконання розвантажувальних канавок, збільшення радіусів жолобників, виконання ступенів великого діаметра порожнистими. Заокруглення на перехідних ділянках допомагають зменшити концентрацію напружень шляхом розподілу навантаження по більшій площі. Використання заокруглень є одним з найефективніших способів зниження напружень.

Розміри стандартних конструктивних елементів валів регламентовано відповідним стандартом. Радіуси заокруглень жолобників, розміри фасок приймають в залежності від діаметра вала. Для підвищення технологічності виготовлення вала розміри жолобників та фасок бажано приймати однаковими по всій довжині вала. Вхідні фаски на валу для посадки манжет та зубчастих коліс рекомендують робити довжиною 5 мм під кутом 5-10°.

Шпонковий паз - поглиблення на валах для установки шпонок. Виконують на ділянках кріплення деталей, що передають обертовий момент. Для підвищення технологічності виготовлення вала шпонкові пази приймають однаковими по ширині й обирають згідно з діаметром меншої шийки вала. Завдяки масовому застосуванню валів і осей в механізмах, для них розроблені нормативи на виконання різних конструктивних елементів. Розміри шпонкового пазу вибираються автоматично залежно від вибраного з бібліотеки стандарту.

Використання градієнтних переходів з плавною зміною діаметра (конусні або профільовані переходи) може допомогти знизити концентрацію напружень. Це досягається за рахунок більш поступового розподілу навантаження. Вихідні кінці валів виконують конічними, циліндричними або шліцьовими. Переважне поширення набуває конічна форма кінцевої ділянки валу, яка забезпечує точне і надійне з'єднання, можливість легкого монтажу і демонтажу встановлюваних деталей.

В місцях розташування зубчастих коліс вал зазвичай зазнає найбільших навантажень, тому тут слід зберігати жолобні переходи. Для підвищення зручності монтажу довжину шийки вала під колесо рекомендовано робити коротшою за довжину маточини колеса.

Деталь вал в Inventor може бути створена за допомогою операції видавлення **Extrude**, повороту **Revolve** або генератором компонентів валу.

Створимо двовимірний ескіз. На вкладці 3D-модель виберемо команду Start 2D Sketch, далі вибирається площина, в якій створюватиметься цей ескіз.

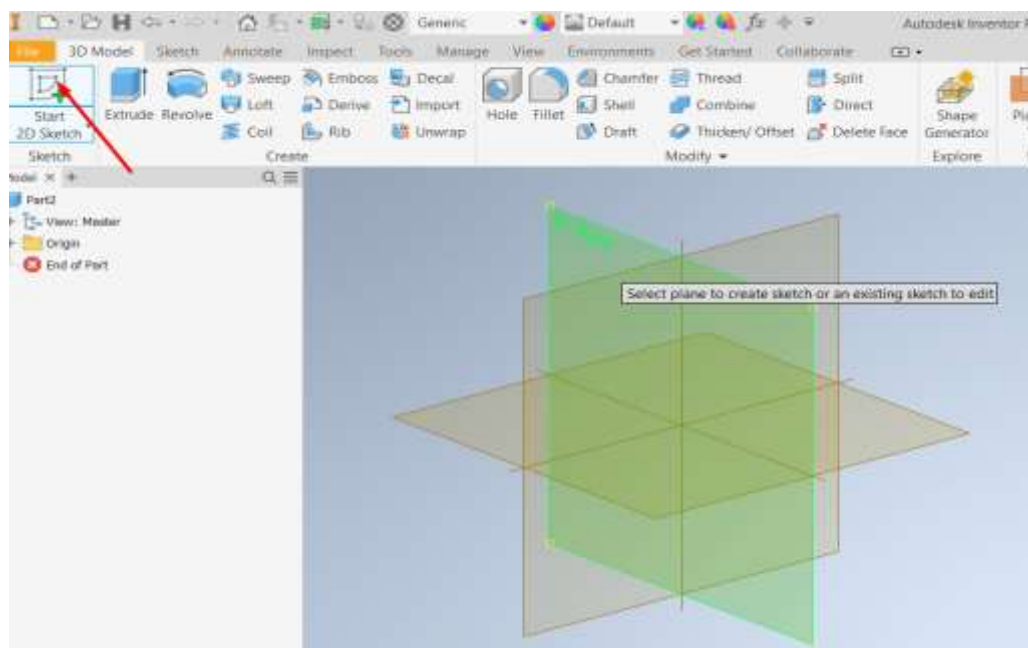


Рис. 1.5. Інтерфейс створення деталі з ескізу

Створивши коло певного діаметра, переходимо до операції **Extrude** і видавлюємо ділянку вала на задану відстань (рис. 1.6).

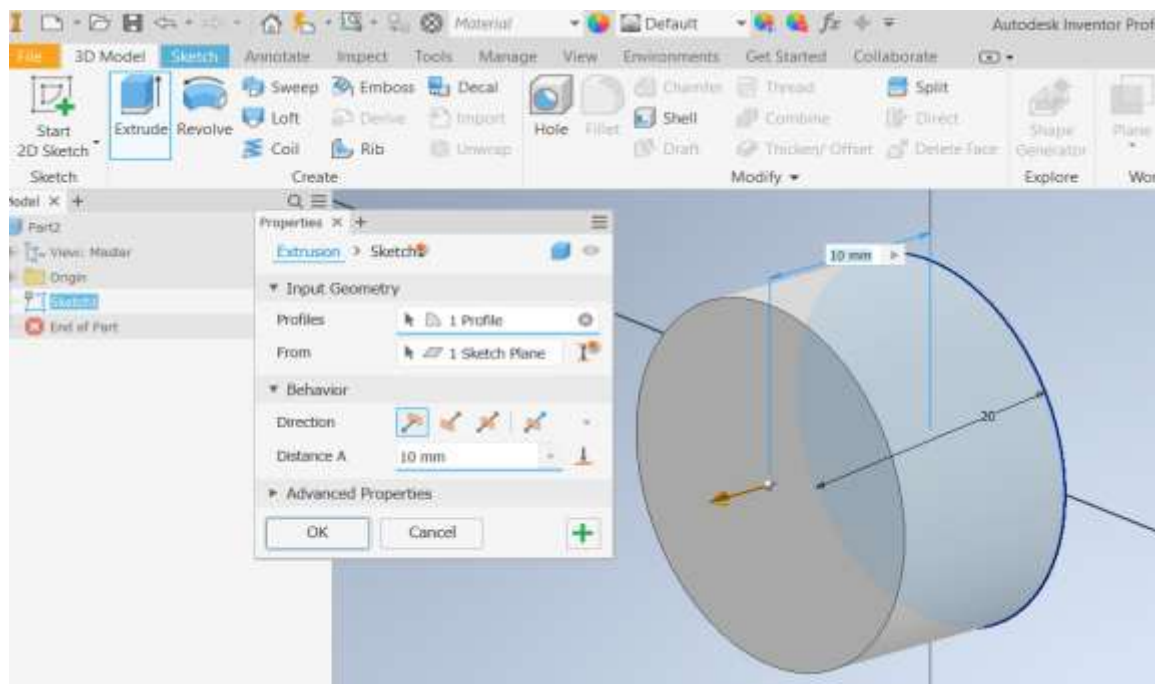


Рис. 1.6. Побудова ділянки вала

Створюємо новий 2D-ескіз і видавлюємо наступну ділянку вала. Продовжуємо створювати наступні ділянки вала за відповідними розмірами.

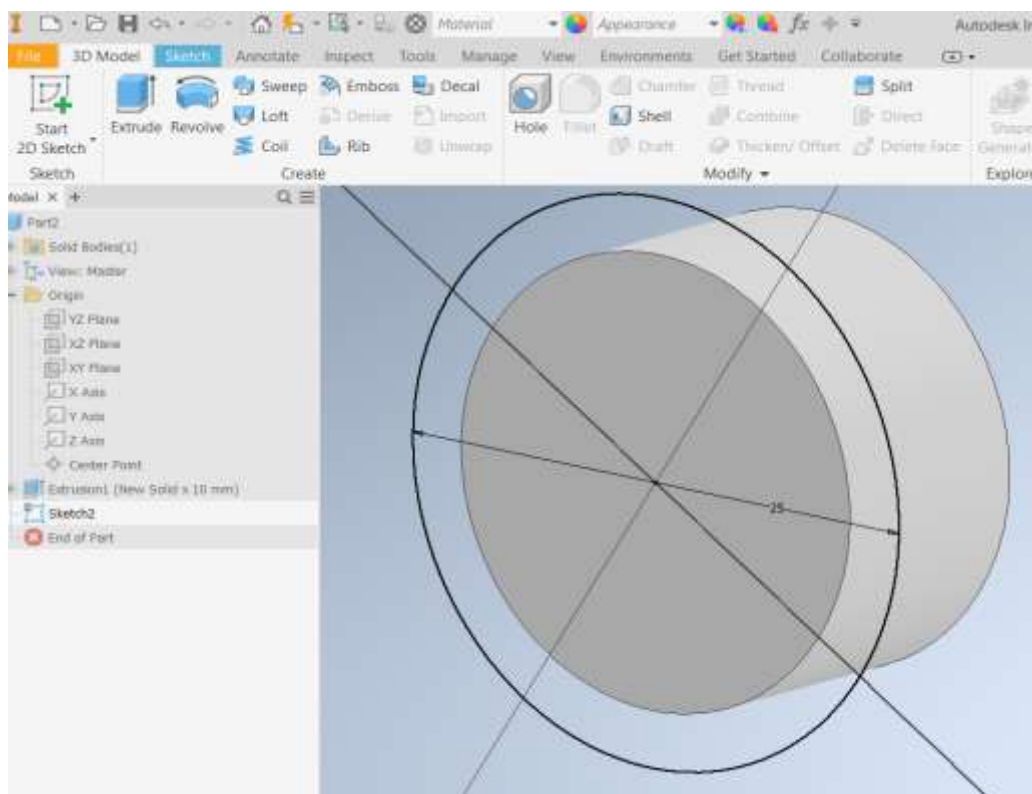


Рис. 1.7. Створення нового ескізу

Після завершення будування основної форми вала треба доробити елементи. Для побудови жолобника й фаски можна скористатись інструментами, наприклад, **Fillet** (рис. 1.8), **Chamfer** (рис. 1.9) або зробити отвір **Hole** (рис. 1.10).

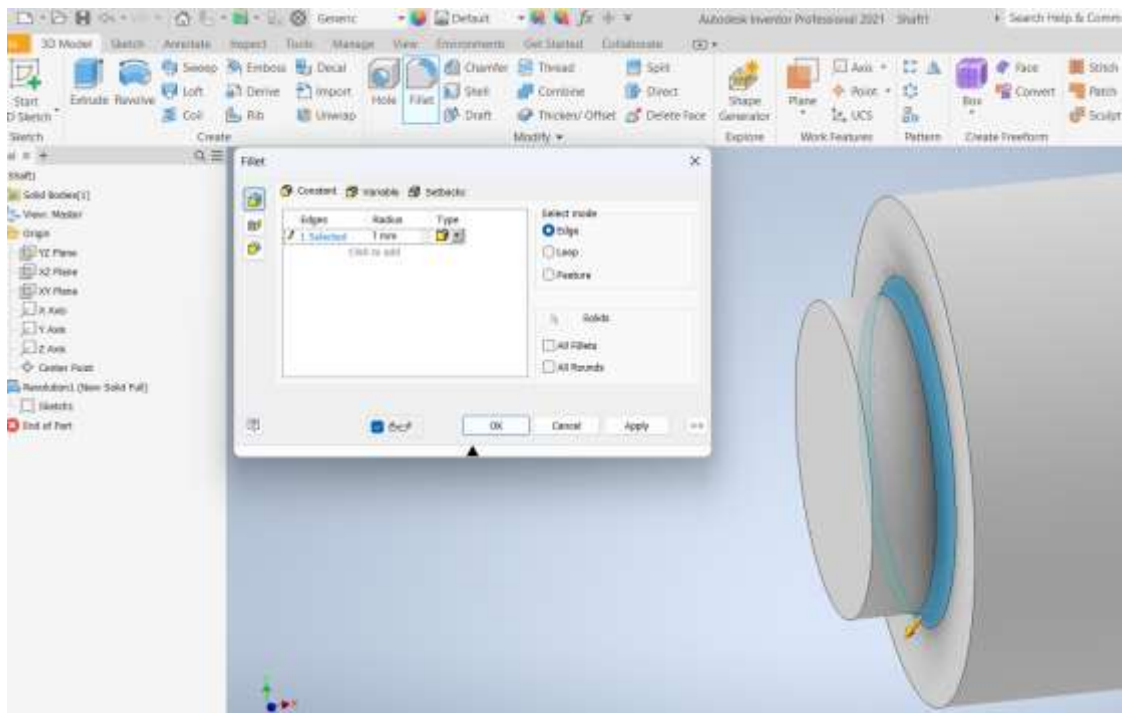


Рис. 1.8. Побудова жолобника

Перехідні ділянки можуть бути зовнішні та внутрішні, які також вибираються за відповідними піктограмами.

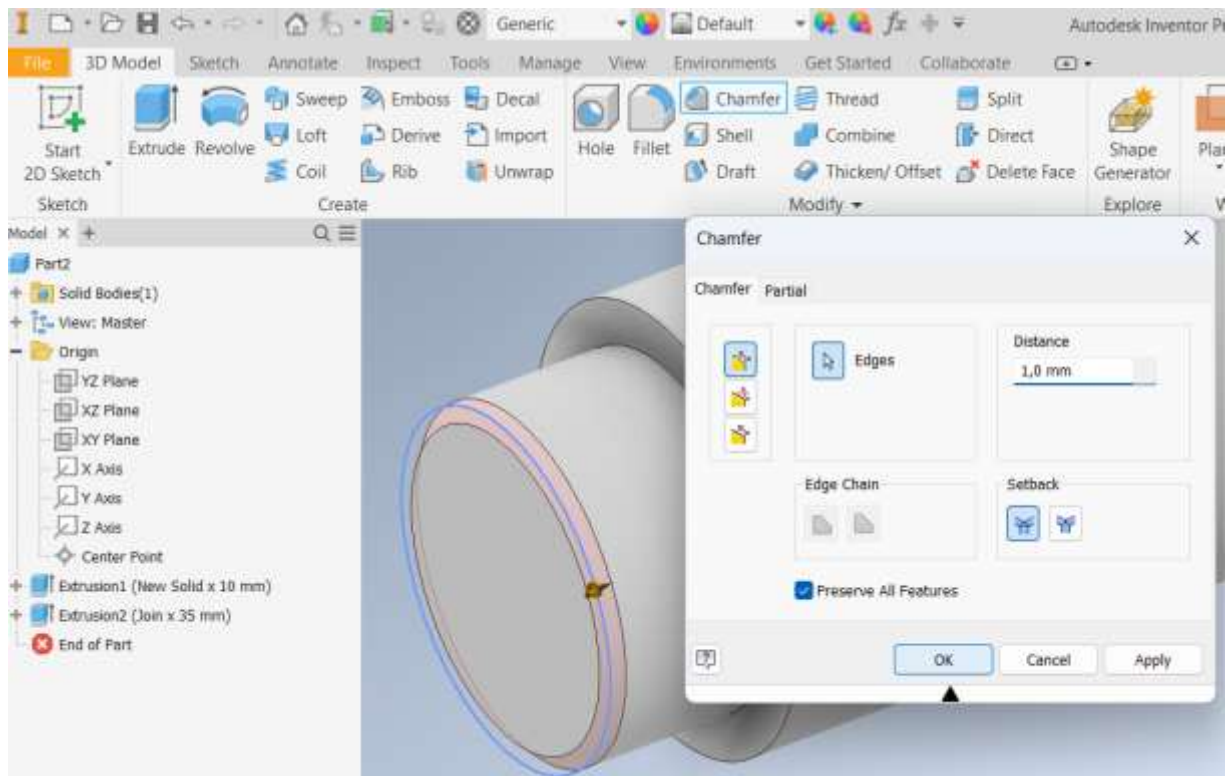


Рис. 1.9. Побудова зовнішньої фаски

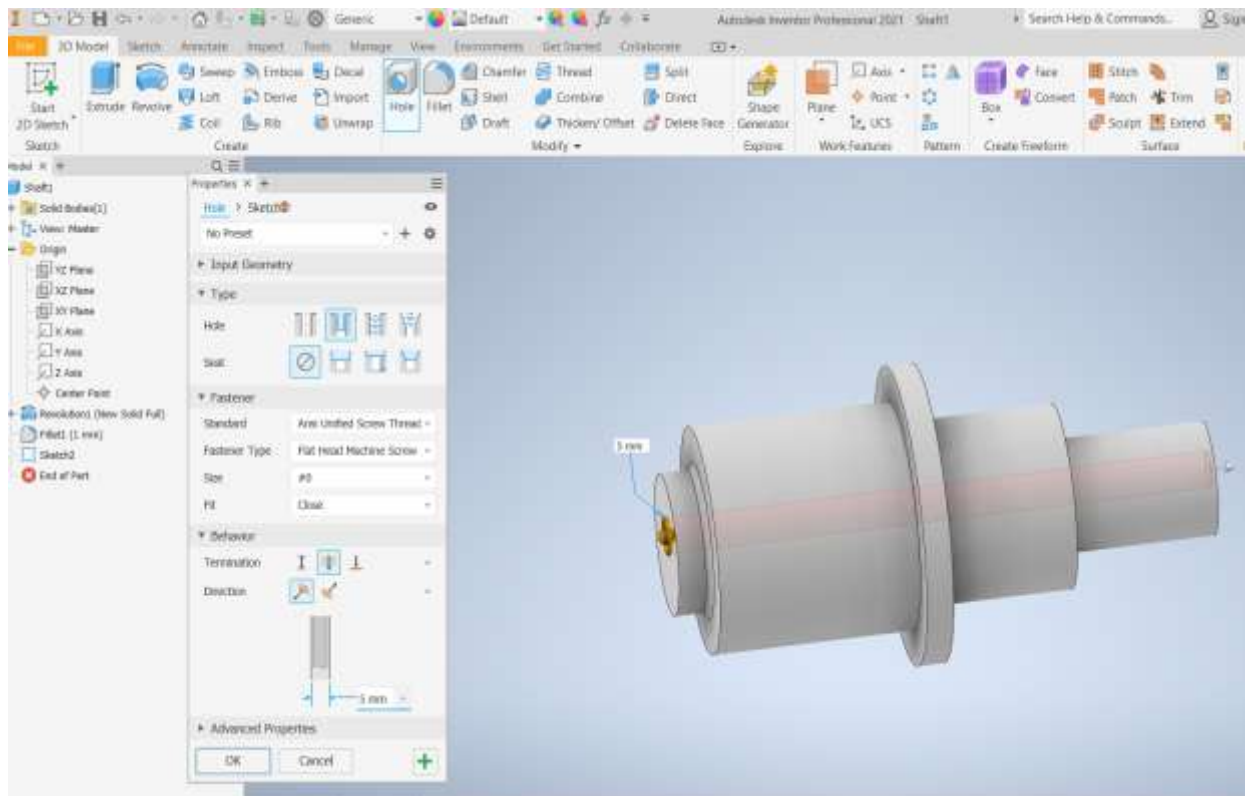


Рис. 1.10. Побудова отвору

Створення деталі за допомогою операції Revolve

Створимо **2D-ескіз** площини **XY**. За допомогою відрізків створюємо контур ступінчастого валу, робимо ескіз закритим. Тобто з'єднаємо кінець останнього відрізка з першим відрізком. Перша горизонтальна лінія, яка йде від витоків, робиться осью. Розміри можна встановити, виділивши весь відрізок або виділивши кінцеві точки відрізків. Також можна змінювати розмір від рядка до точки (рис. 1.11). Після визначення всіх розмірів натисніть **ОК**.

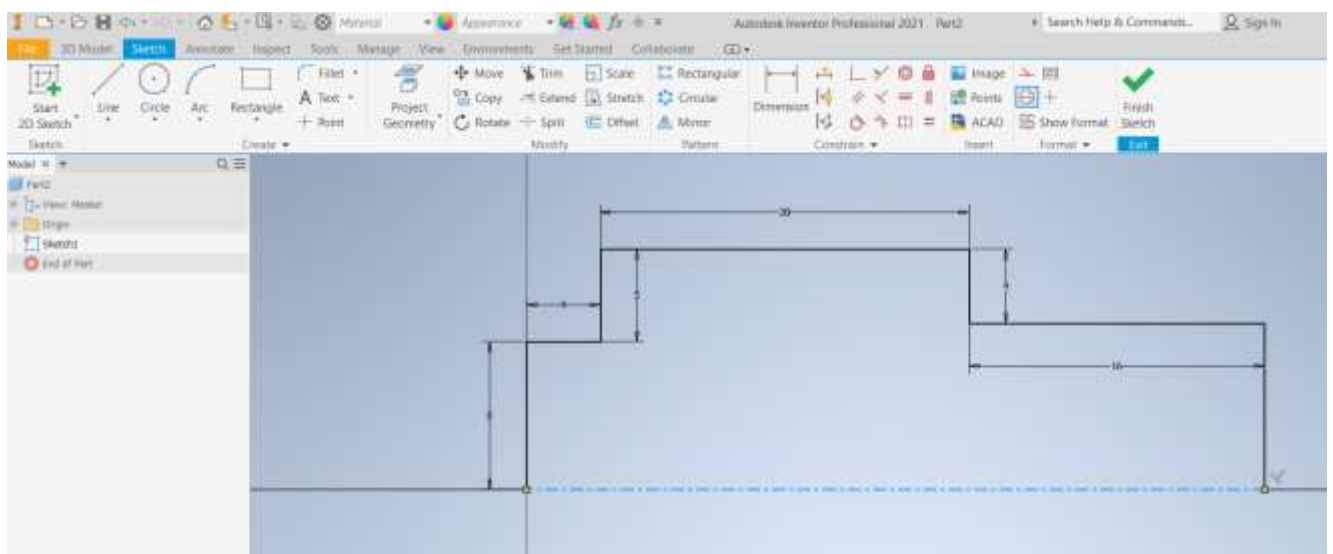


Рис. 1.11. Побудова ескізу

Операцією **Revolve** створюється 3D модель. У нашому ескізі є одна замкнута схема і лінія, яку ми задаємо в якості осьової, тому вона спочатку вибирається як вісь обертання (рис. 1.12).

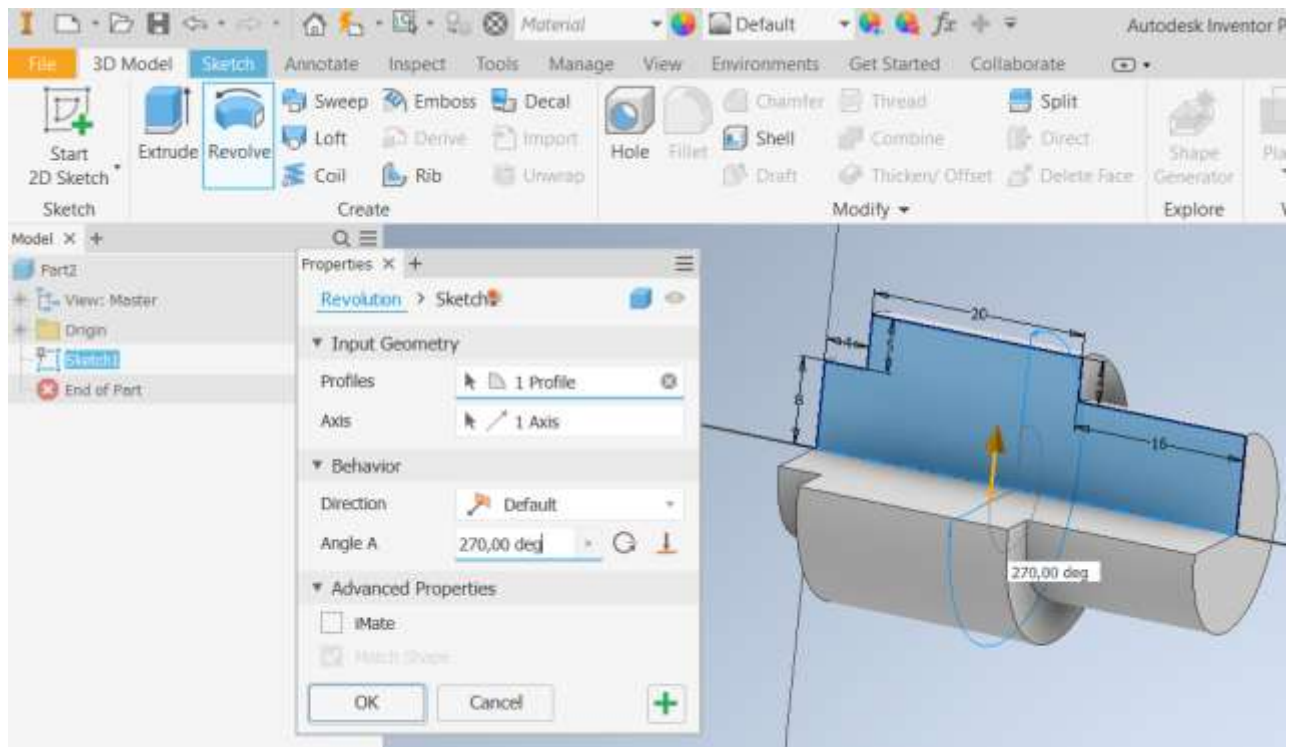


Рис. 1.12. Побудова деталі поворотом

Можна обертатися по **повному колу** або за допомогою стрілки задавати кут повороту. Також можна вручну ввести кут повороту для деталі.

Створення деталі за допомогою Генератора компонентів валу

Створення деталі за допомогою Генератора компонентів валу в Autodesk Inventor дозволяє автоматизувати процес проектування валів, забезпечуючи високу точність і відповідність стандартам.

Генератор компонентів валу працює в файлі збірки. Після створення файлу відкриється вікно **Shaft Component Generator**. Для кожної ступені валу передбачена можливість задати її форму (циліндр, конус, багатогранна поверхня) (рис. 1.13). Необхідно вказати діаметр і довжину кожної ступені валу.

Можна додавати декілька сегментів для створення складної геометрії валу. У діалоговому вікні Генератора валів ви можете налаштувати параметри вала, включаючи матеріали, допуски та інші інженерні характеристики. Параметри можна змінювати як на рівні окремих сегментів, так і на рівні всього вала.

Після вставки вала додаються інші компоненти та деталі до збірки, використовуючи інші інструменти Inventor.

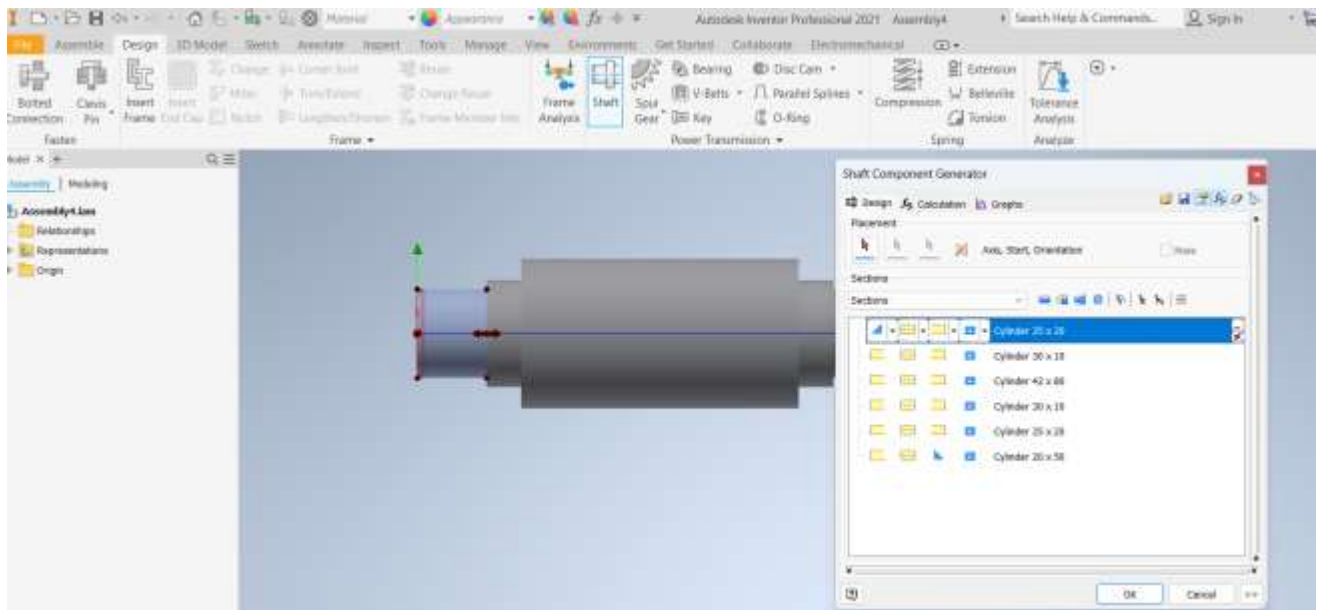


Рис. 1.13. Генератор компонентів валу

1.6 Методи моделювання в Inventor

Під час моделювання деталей та створення збірок доступні різні методи та підходи, які можуть вплинути на продуктивність. Підхід до моделювання визначає кількість входжень, складність геометрії, способи завдання залежностей та способи створення збірок. З метою відповідності цілям продуктів та проєктування зазвичай використовуються змішані методи.

Моделювання в Autodesk Inventor може здійснюватися за двома основними підходами: "знизу нагору" (bottom-up) та "згори донизу" (top-down). Кожен з них має свої переваги та застосовується в різних ситуаціях.

Моделювання "знизу нагору"

Висхідне проєктування є традиційним способом побудови збірок. Кожна деталь моделюється як окремий файл, незалежно від інших деталей. Готові деталі збираються разом у файлі збірки, де вони з'єднуються за допомогою зв'язків. Робота йде знизу нагору. З використанням цього виходять складання з численними взаємозв'язками деталей і складання. Легко створювати та використовувати повторювані деталі в різних збірках, легка заміна деталей. Різні інженери можуть працювати над окремими деталями одночасно, але важче координувати зміни між деталями, оскільки вони створюються незалежно.

Моделювання "згори донизу"

Моделювання "згори донизу" починається з визначення результату; тут побудова здійснюється за всіма відомими критеріями проєктування. Створення деталей відбувається безпосередньо в контексті збірки, що дозволяє враховувати взаємозв'язки між деталями. Деталі можуть створюватися та редагуватися на основі геометрії інших компонентів збірки. Зручніше проєктувати складні механізми з багатьма взаємозалежними деталями.

Цей метод дозволяє значно прискорити процеси оновлення, надає додаткові ресурси для обробки великих наборів даних і його краще використовувати в середовищі спільної роботи.

Може бути складніше управляти великою кількістю деталей у великій збірці. Окремі деталі важче використовувати повторно в інших збірках без модифікацій. Використовується, коли необхідно проектувати складні механізми з тісно пов'язаними деталями й важливо враховувати взаємозв'язки між деталями на ранніх етапах проектування. Як правило, це найкращий спосіб проектування, але у багатьох випадках комбіноване використання обох підходів може забезпечити найкращий результат.

Існують різні робочі процеси, які використовуються для проектування 3D-моделей в Inventor. Ці робочі процеси підходять як для методу "згори донизу", так і для методу "знизу догори".

Більшість методик моделювання зводиться до проектування за принципом "знизу догори" або "згори донизу". Комбінована методика "проектування зсередини до границь" в Autodesk Inventor поєднує переваги методів "знизу нагору" та "згори донизу", дозволяючи створювати ефективні, інтегровані та гнучкі конструкції. Цей підхід забезпечує оптимальний баланс між модульністю та інтеграцією, що особливо важливо для складних проектів з багатьма взаємозалежними компонентами.

1.7 Отримання кресленника

Кожний новий кресленик створюється на основі шаблону. Шаблон, що використовується за замовчуванням, визначається стандартом оформлення за промовчанням, заданим у параметрах програми. Загальний шаблон дозволяє виключити завдання, що найбільш повторюються.

Після запуску Autodesk Inventor відкрийте 3D-модель, для якої хочете створити креслення. Можна відкрити деталь (`.ipt` файл) або збірку (`.iam` файл).

При створенні файлу креслення на основі шаблону, що складається з аркушів зі стандартними видами, з'являється запит на вибір компонента кожного аркуша. Ці види розміщуються відповідно до параметрів виду, заданими для кожного з видів на аркушах у шаблоні креслення. За замовчуванням "Базовий вигляд" вибирає останній активний документ моделі як джерело для розміщення виду.

Для створення на екрані нового аркуша кресленника потрібно клацнути по кнопці **New**, відкриється вікно нового документу, у якому вибирається шаблон креслення, наприклад, **Standart.idw** (рис. 1.14).

Для створення кресленника вибирається шаблон. Вибираємо формат, вставляємо базовий вигляд нашої деталі. Через команду **Base** на вибраний формат завантажуюмо створену вище модель деталі.

Після розміщення головної проєкції автоматично активується інструмент «Проекційний вид» та розташовуємо окремі види створеної моделі, визначаючи їх кількість, розташування та інші властивості (рис. 1.15).

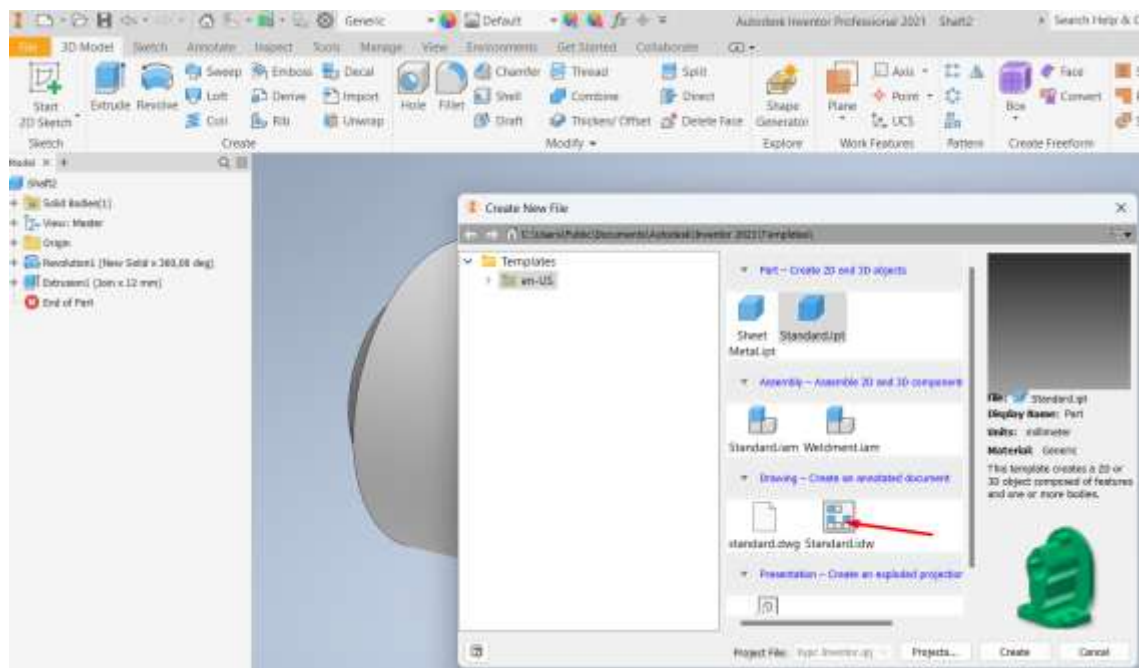


Рис. 1.14. Створення кресленка

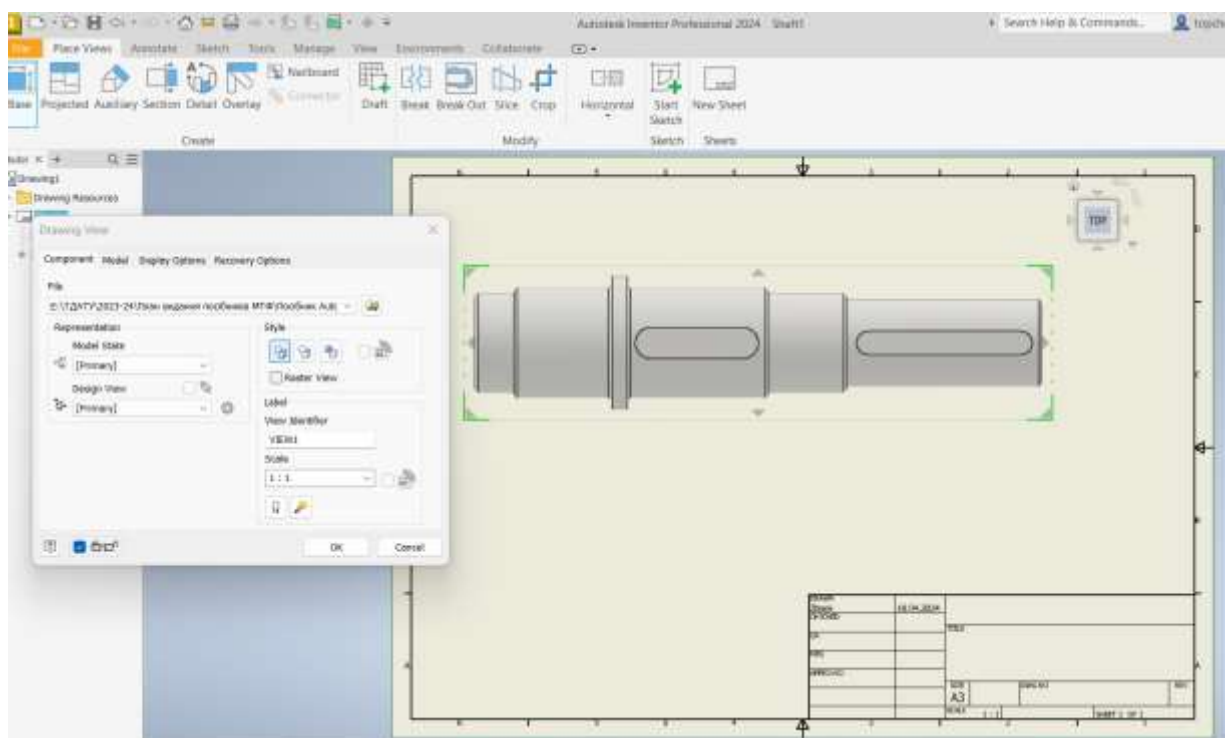


Рис. 1.15. Створення кресленка з моделі вала

За замовчуванням вибирається останній активний документ моделі як джерело для розміщення виду. Якщо останній активний документ моделі закрито, модель взагалі не вибирається.

За допомогою куба можна вибирати напрямок погляду на складання. Далі за допомогою стрілок, або перетягуванням за допомогою миші додаємо проєкційні види (рис. 1.16).

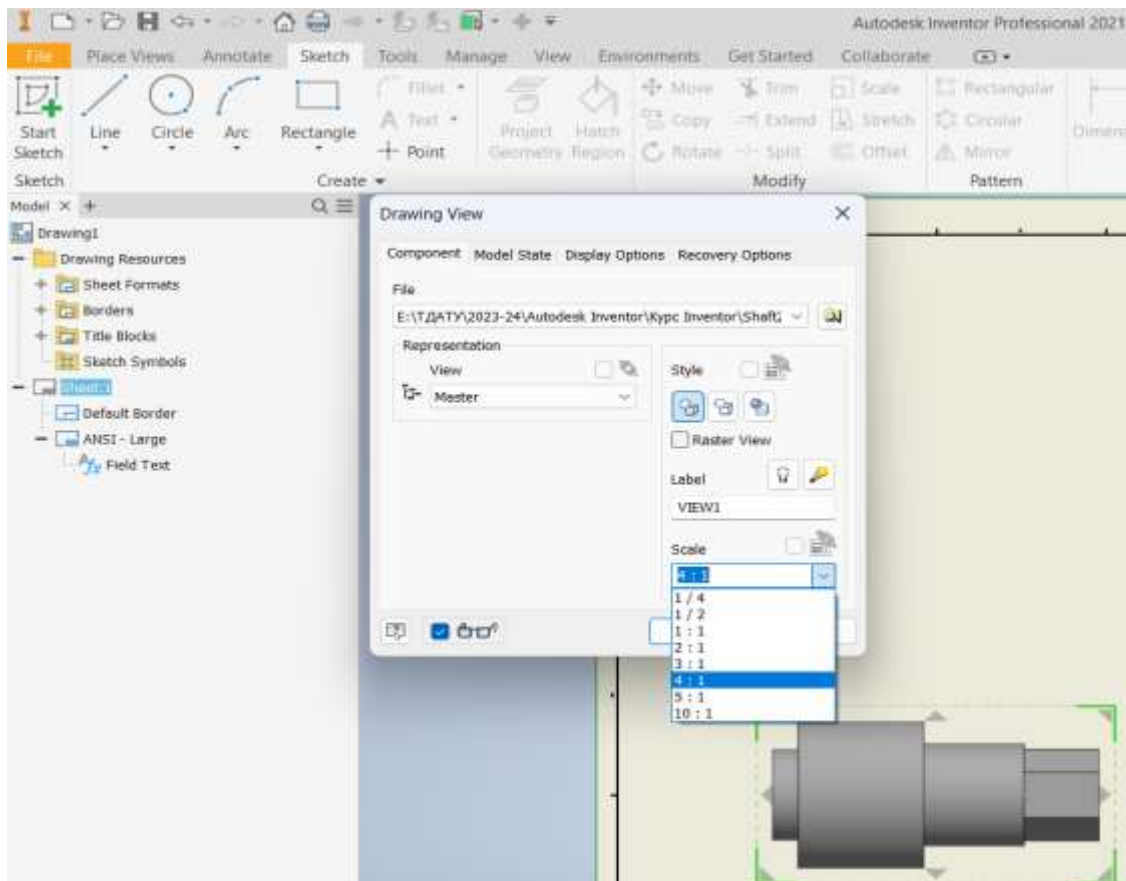


Рис. 1.16. Створення проєкційних видів

Щоб створити додаткові проєкційні вигляди, вибирається функція **Isometric** та створюється проєкційне подання (рис. 1.17). За замовчуванням стандартні частини не розсікаються.

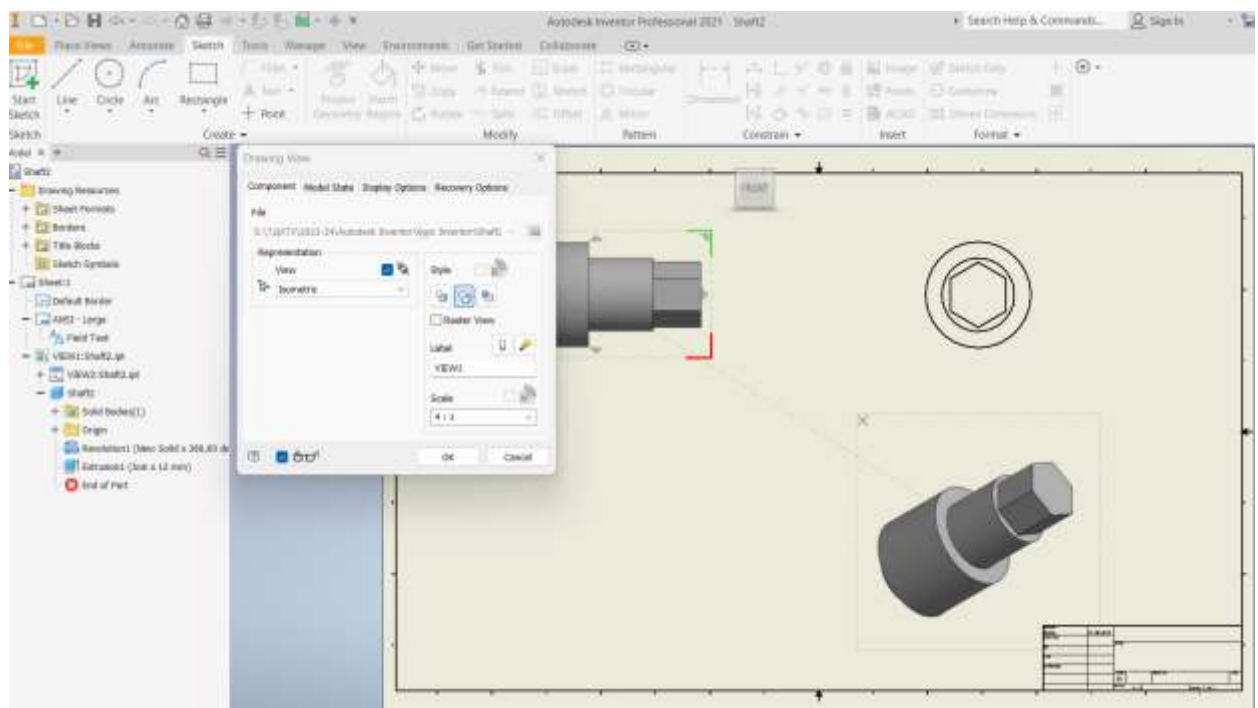


Рис. 1.17. Створення ізометричної проєкції

Під час створення файлу креслення на основі шаблону, що складається з аркушів зі стандартними видами, відображається запит на вибір компонента для кожного аркуша, для якого визначено один або більше видів. Кожен вид розміщується згідно з конфігураціями у шаблоні креслення. Щоб автоматично визначати параметри виду кожного разу під час створення файлу креслення, слід налаштувати їх для одного або декількох форматів аркушів у файлі шаблону креслення.

У Autodesk Inventor можна керувати видимістю (Visibility) компонентів складання для того, щоб показувати або приховувати певні компоненти на кресленні. Якщо потрібно приховати декілька компонентів, можна вибрати їх за допомогою клавіші Ctrl і одночасно вимкнути їх видимість. Це може бути корисним для створення чітких та інформативних креслень.

Проставляються розміри і центральні лінії для деталі (рис. 1.18).

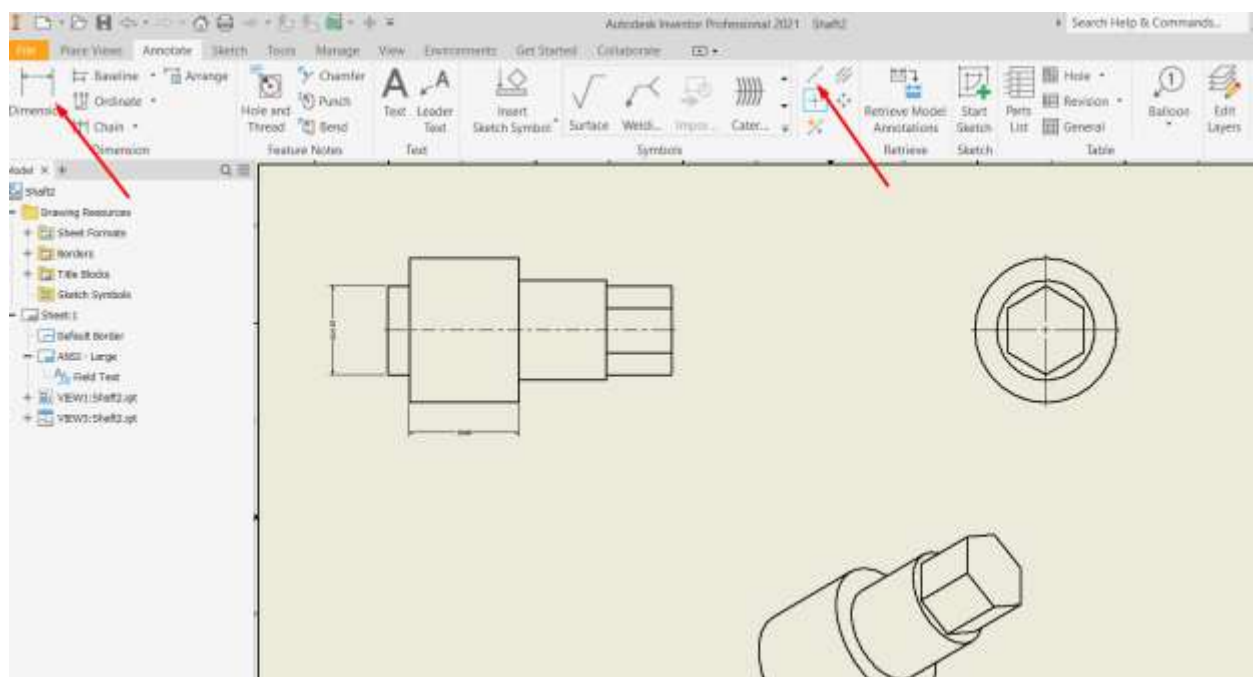


Рис. 1.18. Оформлення кресленика

У відповідній колонці для деталей заповнюється матеріал, вибраний з бібліотеки Inventor, маса вказується автоматично.

Кресленик вала можна отримати різними способами – виконати у файлі кресленика або завантажити модель до кресленика.

Види креслень збірок та деталей створюються однаковим способом. Оскільки креслення може містити безліч аркушів, то в одному файлі можна зберігати повний комплект графічної документації для збирання та її компонентів.

У відкритий файл Inventor за допомогою команди вставки можна імпортувати файли AutoCAD. 2D-файли DWG та DXF можна використовувати в ескізах Inventor для створення елементів. 3D-файли DWG та DXF також можна використовувати у 3D-ескізах Inventor для створення елементів.

Якщо перетворення об'єктів AutoCAD на об'єкти Inventor не потрібно, будь-який файл AutoCAD DWG можна відкрити безпосередньо в Inventor. Після цього можна переглянути, вивести на друк і виміряти дані файлу. Об'єкти будуть відображатися так само, як у програмі AutoCAD. Крім того, для всіх даних AutoCAD можна виконувати операції копіювання та вставки. Можна відкрити файл AutoCAD DWG у програмі Inventor, а потім скопіювати та вставити об'єкти AutoCAD у будь-який ескіз Inventor [16].

Перетворення об'єктів з AutoCAD на об'єкти Autodesk Inventor може бути корисним, коли потрібно інтегрувати 2D-креслення або 3D-моделі, створені в AutoCAD, в 3D-середовище Inventor для подальшого проєктування і моделювання.

Можна редагувати імпортовані ескізи, додавати нові лінії, дуги та інші геометричні елементи. Також можна змінити назву, масштаб, стиль відображення та деякі інші атрибути креслення. При необхідності можна вибрати інше видове уявлення.

Після розміщення видів до креслення додаються технічні примітки та вимоги на креслення. Для нанесення розмірів можна використовувати розміри моделі, задані на стадії її розробки, або нанести контрольні розміри, які є виключно для ілюстративних цілей. Розміри моделі на кресленні можна редагувати, якщо цей параметр був вибраний під час встановлення Autodesk Inventor.

Після виходу з режиму побудови ескізу також можна наносити розміри, позначення та текстові написи. По завершенні побудови креслення проставляються всі розміри, шорсткість, тобто, всі необхідні складові робочого креслення, заповнюється основний напис (рис. 1.19, 1.20).

Шаблони, що входять до програми Autodesk Inventor, містять один або кілька стандартних форматів основних написів та стандартну рамку, залежно від вибраного стандарту оформлення, які можна змінити та зберегти як ресурси креслення. Вони можуть містити 2D-геометрію, растрові зображення, текстові написи, підказки та поля властивостей, що автоматично оновлюються.

Inventor переважно орієнтований на 3D моделювання та створення креслень на основі 3D моделей і може бути менш інтуїтивно зрозумілим для виконання 2D завдань. Це робить його менш гнучким і менш ефективним для чисто 2D проєктування у порівнянні з іншими пакетами САПР, які мають багатий набір інструментів і функцій саме для 2D креслення.

Інструменти для редагування штрихування, складні блоки та динамічні блоки менш розвинені або взагалі відсутні. Наприклад, редагування розмірів або анотацій може бути складним у деяких випадках, і не завжди зрозуміло, як вносити зміни безпосередньо в креслення.

Не зважаючи на ці недоліки, Inventor є потужним та універсальним інструментом для вирішення багатьох задач. Інтерфейс Inventor інтуїтивно зрозумілий та легко налаштовується до певних потреб.

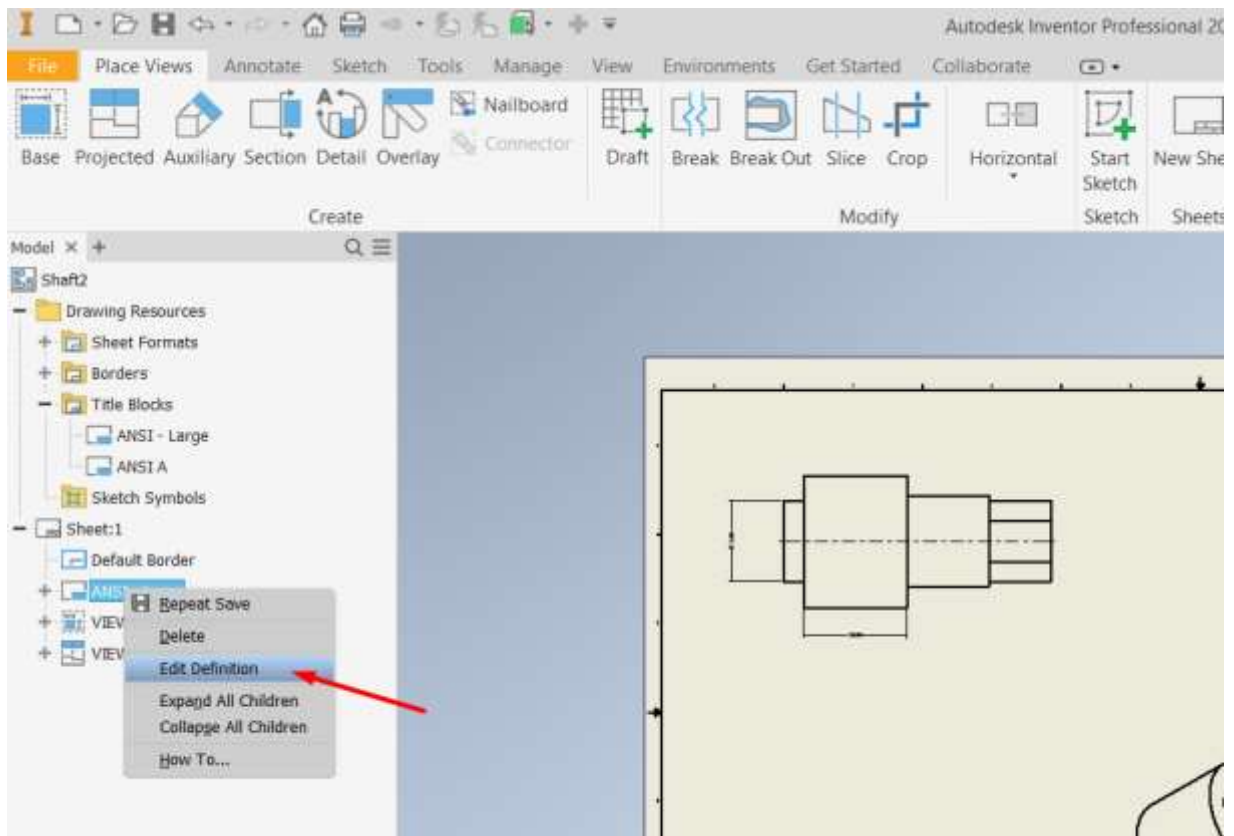


Рис. 1.19. Відкриття вікна основного напису

Спроектована геометрія зберігає зв'язок із вихідними геометричними об'єктами. Креслення в Inventor автоматично оновлюються при зміні 3D-моделі, що забезпечує актуальність всіх проєкцій і розмірів.

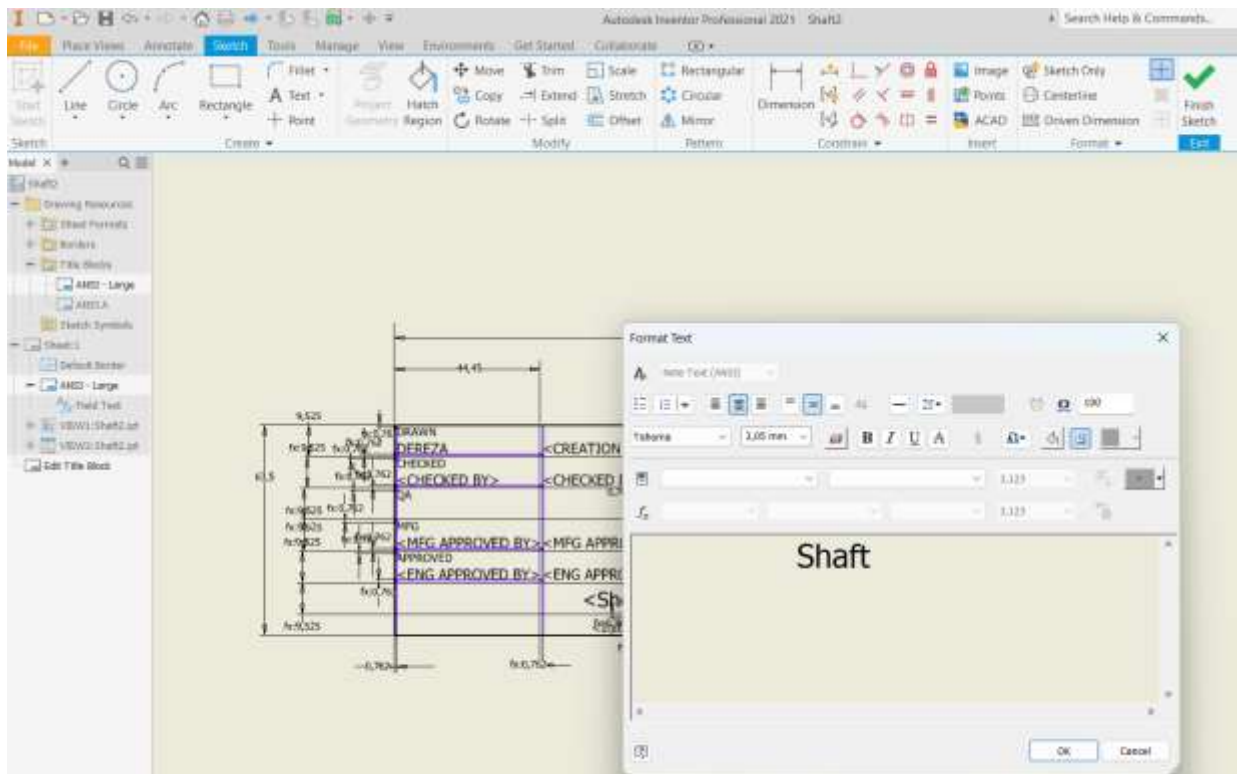


Рис. 1.20. Заповнення основного напису

Для стандартизації процесу проєктування та підвищення його ефективності можна використовувати шаблони креслень. Шаблони креслень можуть включати в себе налаштування для форматів листів, рамок, основних написів, ескізних позначень і стандартних видів. Шаблони також визначають стилі та стандарти за замовчуванням, які використовуються для відображення видів та анотацій. При створенні креслення шаблон використовується як джерело даних про основний напис, рамку, розмір листа, таблиці редакцій та інші елементи. Крім того, при створенні файлу креслення на основі шаблону, що складається з аркушів зі стандартними видами, кожен вид у новому кресленні буде розміщений відповідно до параметрів користувача, заданими для кожного з видів на аркушах у шаблоні креслення.

Багатий функціонал, інструменти автоматизації роблять його ідеальним вибором для створення складних механічних систем та забезпечення їх надійності та ефективності.



Контрольні питання

1. Які програми використовуються для розрахунку і проєктування передач?
2. Які документи можна створювати засобами пакетів САПР?
3. Способи побудови деталі в Inventor.
4. Типи документів пакетів САПР.
5. Призначення прикладних бібліотек пакетів САПР.
6. Яким чином позначають матеріал для виготовлення деталі, виконуючи її модель у прикладній програмі?
7. Як побудувати кресленик з 3D моделі?
8. Як побудувати розрізи деталі на кресленику в Inventor?
9. Як імпортувати файли з AutoCAD?

2. ПРОЄКТУВАННЯ ВАЛІВ ЗАСОБАМИ ПАРАМЕТРИЧНОГО ПРОЄКТУВАННЯ В AUTODESK INVENTOR

2.1 Генератори та калькулятори Component Generator

Майстер проєктування **Component Generator** – це набір генераторів і калькуляторів, які допомагають автоматизовано створювати коректні компоненти з урахуванням реальних взаємозв'язків і функціональних вимог. Генератори та калькулятори Component Generator працюють тільки зі збірками. Цей інструмент значно спрощує процес проєктування, дозволяючи швидко і точно створювати складні компоненти з урахуванням стандартів та специфікацій.

Використовуючи контекстне меню, компоненти Component Generator можна переміщати у браузері з підвищенням чи зниженням рівня. Після зниження рівня компонентів Майстра проєктування необхідно зафіксувати вузли, куди входять ці компоненти. У браузері не підтримується функція перетягування для підвищення або зниження рівня компонентів.

Для приведення збірки в рух необхідно, щоб компоненти Component Generator були вбудовані в неї. Компонент може бути розміщений в одному із внутрішніх вузлів. У цьому випадку перед застосуванням команд Component Generator необхідно виконати редагування його вихідного складання за місцем. Для використання команд можна вибрати об'єкти лише у вихідному складанні.

Щоб вставити компоненти за допомогою генераторів та калькуляторів майстра проєктування, виконайте такі дії:

- Створити новий документ збірки.
- Перейти на вкладку Design і вибрати потрібний генератор компонентів з розділу "Component Generator".
- Перед початком роботи з генератором або калькулятором потрібно зберегти збірку.

Тільки один генератор або калькулятор може бути активним в Autodesk Inventor у будь-який момент часу. Після завершення роботи з поточним генератором ви можете запустити інший. Це обмеження пояснюється тим, що кожен генератор або калькулятор використовує значні ресурси системи для обчислень і моделювання, а також взаємодіє з основною моделлю або збіркою.

Для проєктування складних компонентів або збірок, які потребують кількох типів генераторів, потрібно послідовно виконувати розрахунки та моделювання. Наприклад, спочатку створити вал за допомогою Shaft Component Generator, потім використовувати Gear Generator для створення шестерень тощо.

Можна зберегти поточний стан моделі або збірки, завершити роботу з одним генератором, а потім відкрити та використовувати інший генератор. Це дозволяє зберігати всі попередні результати та продовжувати роботу без втрати даних. Також присутня інтеграція компонентів: додавання створених компонентів (вала і шестерні) до збірки й виконання необхідних з'єднань та перевірки.

Послідовне використання цих інструментів дозволяє ефективно створювати і проєктувати складні механічні компоненти та збірки, що допомагає зберегти стабільність і продуктивність програмного забезпечення під час виконання складних розрахунків та моделювання.

Щоб переконатися в коректності проєктування, можна виконати перевірку взаємодії компонентів у збірці, провести симуляцію та аналіз. З бази даних матеріалів вибирається матеріал деталі, який можна редагувати чи видаляти вибрані дані. При виявленні помилок Майстер проєктування повідомляє про це, тоді слід відкоригувати дані.

2.2 Проєктування вала за допомогою Shaft Component Generator

Побудова вала

Shaft Component Generator (Генератор компонентів валу) призначений для швидкого моделювання валів та їх розрахунку як балок на n-опорах.

Оскільки вал є однією найбільш навантаженою деталлю збірки, моделювання й розрахунок доцільно робити саме за допомогою **Shaft Component Generator**. Підключається через вкладку **Design**, панель **Power Transmission**, вкладку **Shaft**. Діалогові вікна генератора компонентів валу мають три закладки: **Design** (Модель), **Calculation** (Розрахунок) та **Graphs** (Графіки) (рис. 2.1).

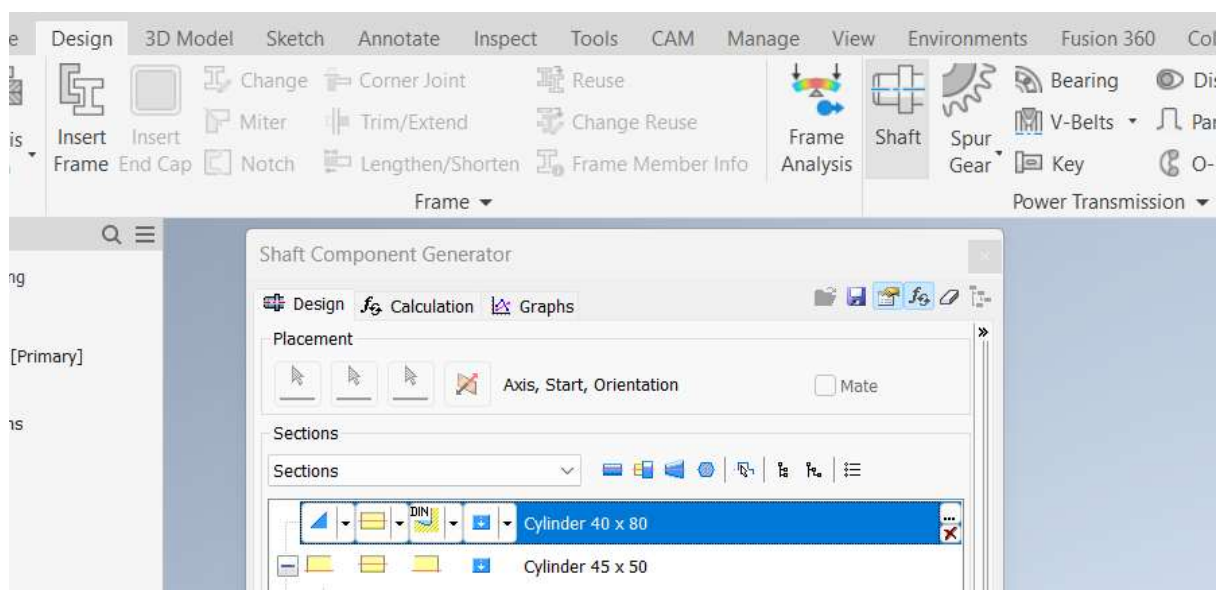


Рис. 2.1. Діалогове вікно **Shaft Component Generator**

На вкладці **Design** можна створити вал необхідної форми. Кожен ступінь має кілька проміжних конструктивних елементів, які вибираються за відповідними піктограмами (рис. 2.2). Кількість ступенів залежить від конструктивних вимог і умов експлуатації.

При проєктуванні попереднє зображення валу відображається у графічному вікні Autodesk Inventor і на вкладці **Design** у вікні **2D Preview** при

активності параметра **Always Show** (Завжди показувати). Виділений ступінь підсвічується кольором у графічному вікні (рис. 2.3).

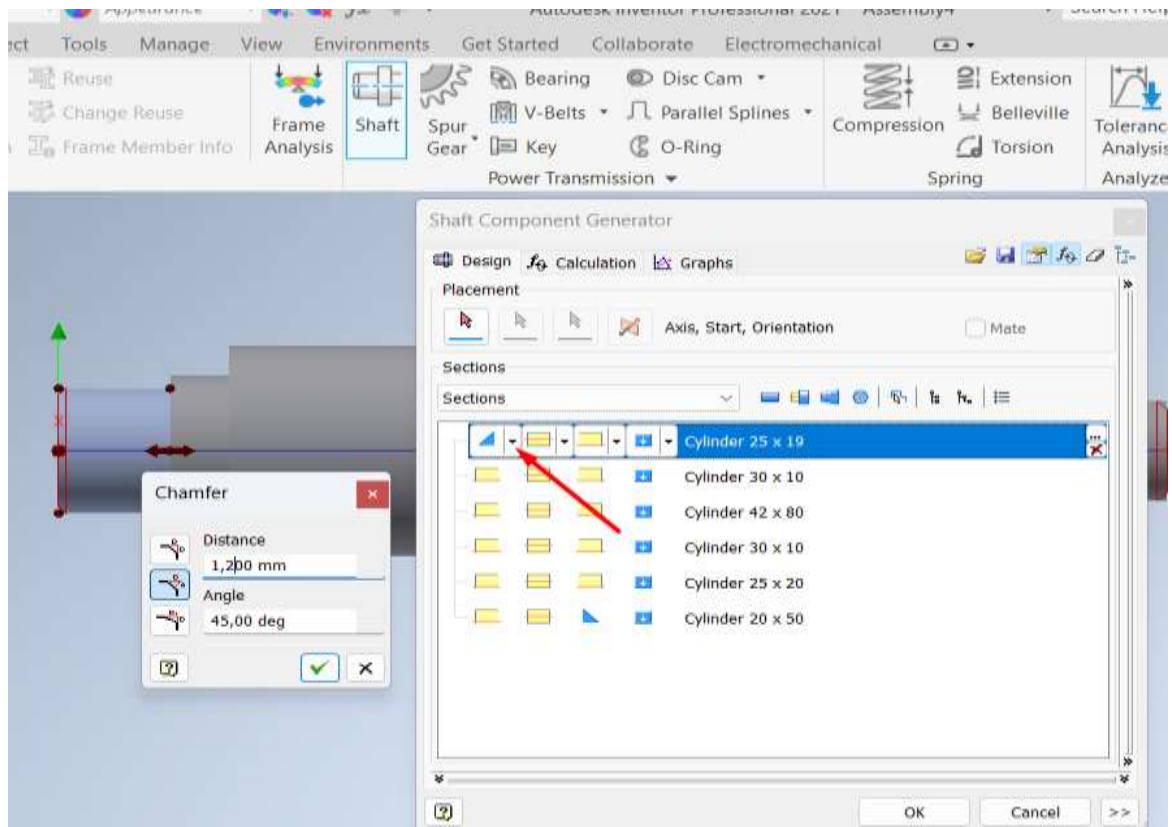


Рис. 2.2. Створення додаткових елементів на валу

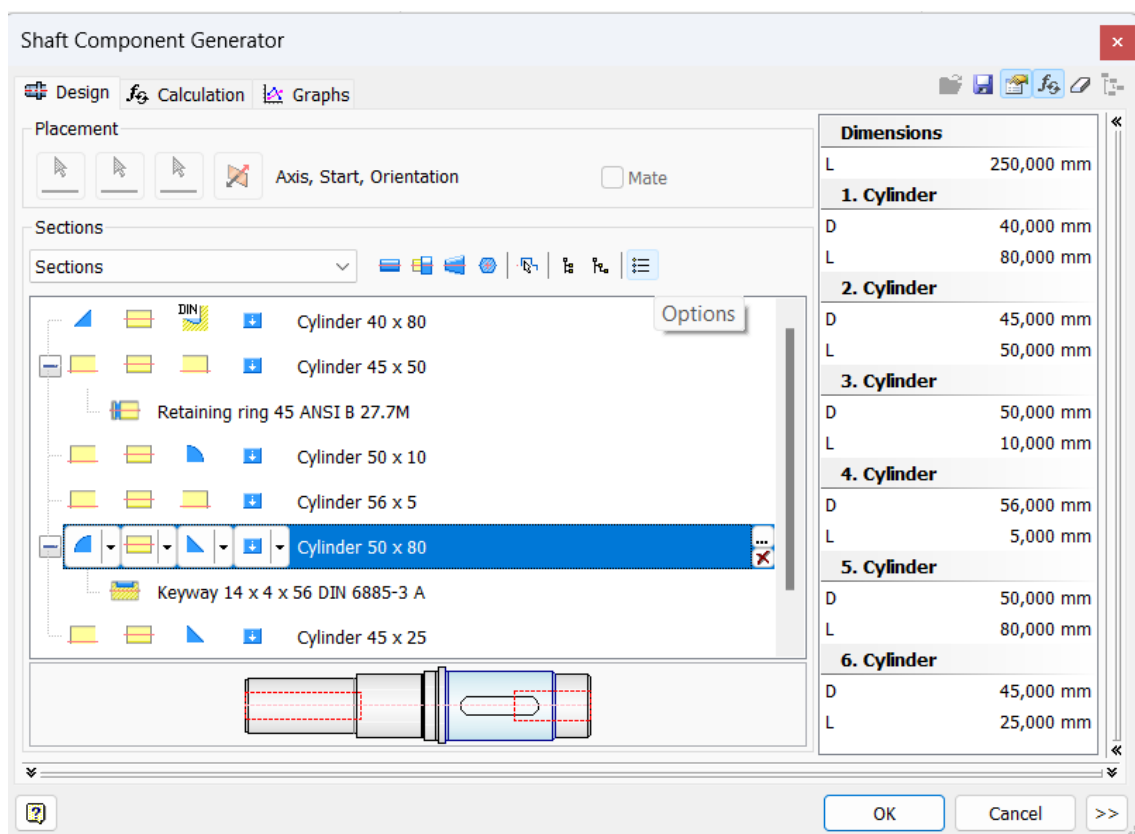


Рис. 2.3. Перегляд попереднього зображення валу

У вкладці **Design** в групі **Placement** (Розташування) підряд розташовано три кнопки вибору елементів:

- **Axis** (Вісь) – вздовж цієї осі система розмістить вісь Z системи координат валу;
- **Start** (Початок) – площина, плоска поверхня, з якою буде суміщено початковий торець генерованого валу;
- **Orientation** (Орієнтація) – площина, перпендикулярна площині торця першого ступеню валу. Її положення буде слугувати нульовим кутовим положенням таких елементів валу, як шпонкові пази, радіальні отвори і т.п. [2].

Кнопкою зміни напрямку можна користуватися для правильного навантаження силами, що діють на валу.

При моделюванні валу або його редагуванні на виділеному ступені з'являються маніпулятори – зміни діаметру ступеню у вигляді червоних великих крапок та зміни довжини ступеню у вигляді двонаправленої стрілки (рис. 2.4).

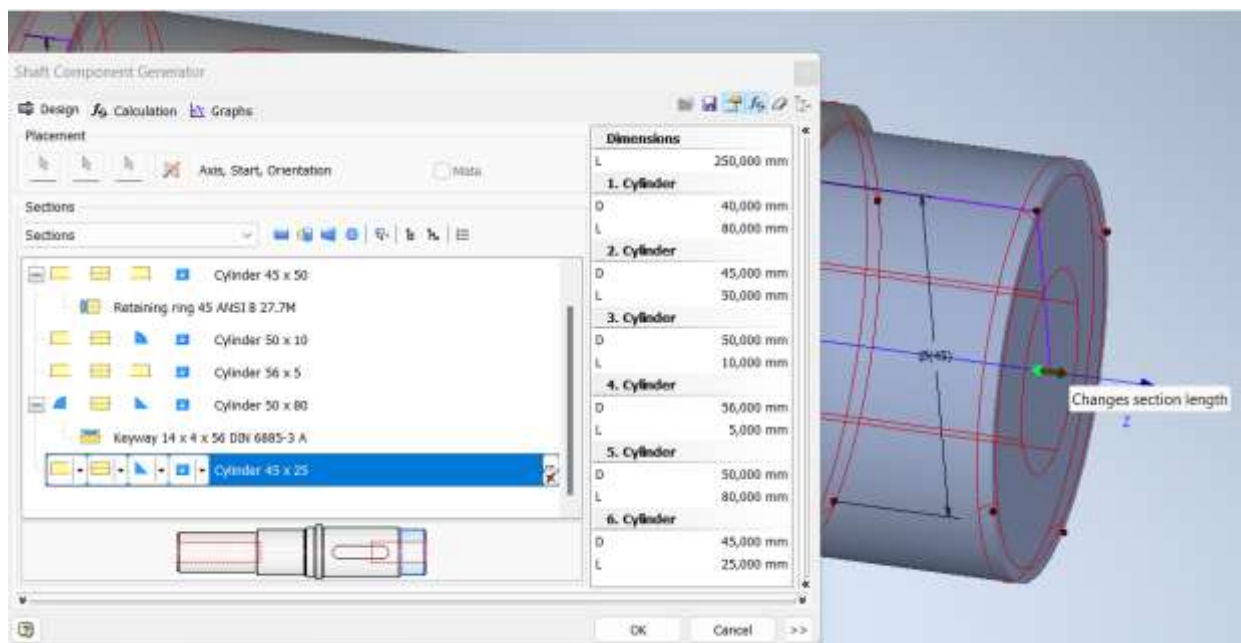


Рис. 2.4. Вибір елементів вала

У групі параметрів **Sections** (Перетини) з розташованими в ній інструментами можна додати до валу в потрібному місці ступінь, а до неї, або кромek її торця – потрібні конструктивні елементи. За допомогою інших інструментів цієї групи можна відредагувати додані елементи або видалити їх.

За допомогою кнопок праворуч від списку виконується додавання ступеней до валу:

- Insert Cylinder – вставка ступені у вигляді циліндра;
- Split Selected Section – розділення виділеної ступені;
- Insert Cone – вставка конуса після вибраної ступені валу;
- Insert Polygon – вставка ступені з поперечним перетином у вигляді багатокутника [16].

До всіх команд, які можна виконати над виділеним ступенем, і до його параметрів можна отримати доступ із контекстного меню.

Динамічний перегляд валу можливий також у графічному вікні відповідно до елементів та значень, заданих для валу в діалоговому вікні. Можна спроектувати вал, додавши або видаливши перерізи та елементи або додавши навантаження та опори.

При додаванні навантажень та опор з використанням команд вкладки для розрахунку **Calculation** ці навантаження та опори стають доступними для попереднього перегляду (рис. 2.5).

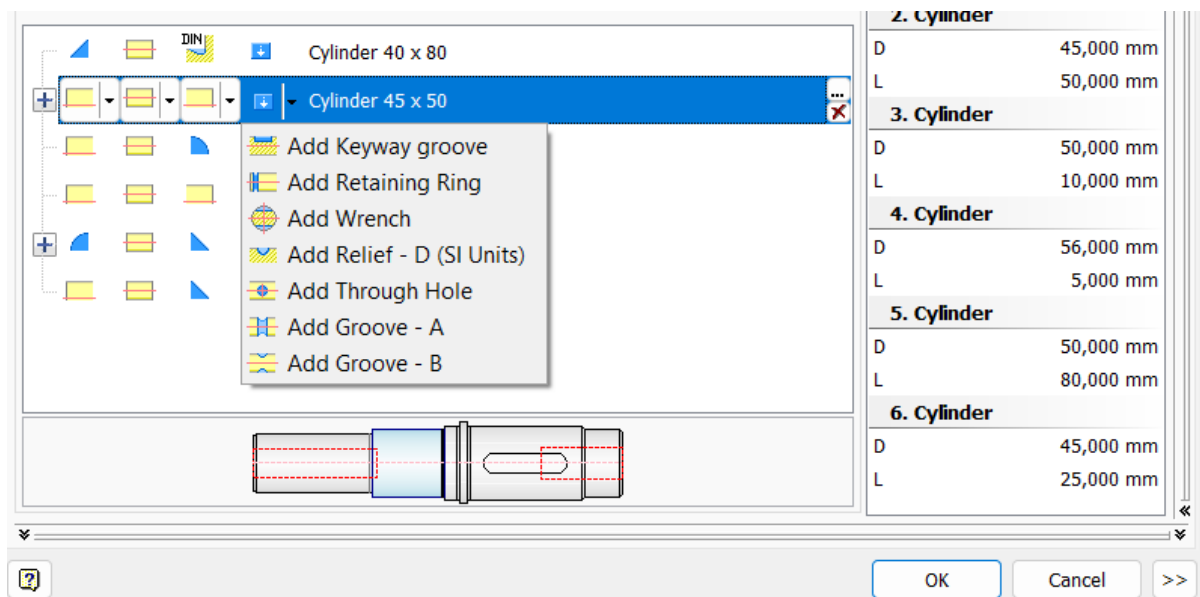


Рис. 2.5. Контекстне меню виділеної ступені

Якщо модель містить зовнішні проточки та канавки, наприклад, для виходу шліфувального круга або для стопорного кільця чи інші конструктивні елементи, переваги застосування "Генератора компонентів валу" стають більш доцільними.

Наприклад, необхідно побудувати достатньо складні ескізи та прив'язати їх до контурів моделі. Це різні канавки, проточки, отвори, які при побудові потребують користування певними стандартами або довідковими даними, що ускладнює процес проектування.

При побудові цих елементів у середовищі моделювання деталі при виборі відповідного типу необхідно лише вказати ребра, до яких вони примикають та замінити при необхідності лише числовий параметр у відповідному вікні – **Relief Depth** (глибину проточки) (рис. 2,6).

Також при проектуванні будь-якого нового вала можна застосовувати шаблони до цього вала або на його основі створити свій шаблон. Надалі він буде корисний для подальшого проектування типових деталей.

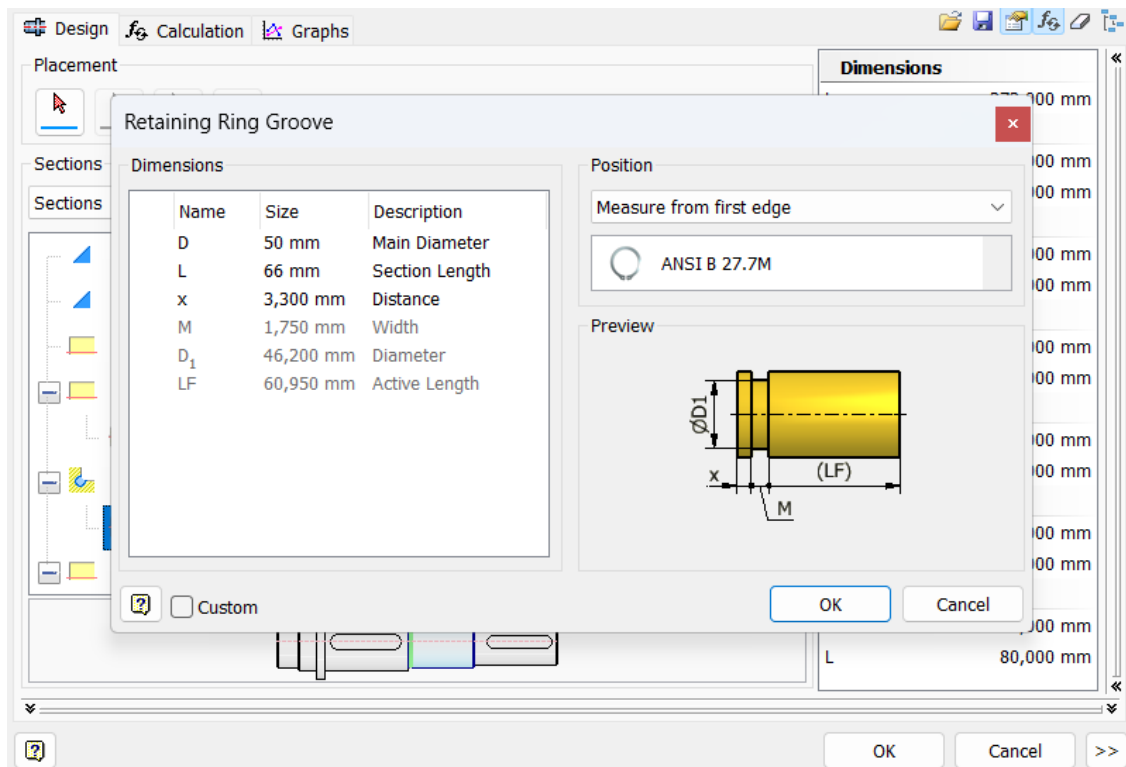


Рис. 2.6. Вікно зміни параметрів канавки для стопорного кільця у **Shaft Component Generator**

Таким чином, "Генератор компонентів валу", що входить до складу "Майстрів проектування" програми Autodesk Inventor, надає широкі можливості для налаштування геометрії валу, включаючи кількість ступенів, перехідні ділянки та інші параметри. Він може застосовуватися не тільки при геометричному комп'ютерному моделюванні валів, а й при створенні моделей машинобудівних деталей різних типів з достатньо різноманітною геометрією.

2.3 Розрахунок валу

Панель інструментів вкладки **Calculation** надає доступ до розрахунку валу. У вкладці параметрів **Loads & Supports** вказуються параметри навантажень та параметри опор (рис. 2.7).

Навантаження вибирають згідно піктограм, які відповідають різним видам навантажень:

- Radial Force - радіальна сила;
- Axial Force - осьова сила;
- Continuous Load - лінійно розподілене навантаження;
- Bending Moment - згинаючий момент;
- Torque - крутний момент;
- Common Load - загальне навантаження.

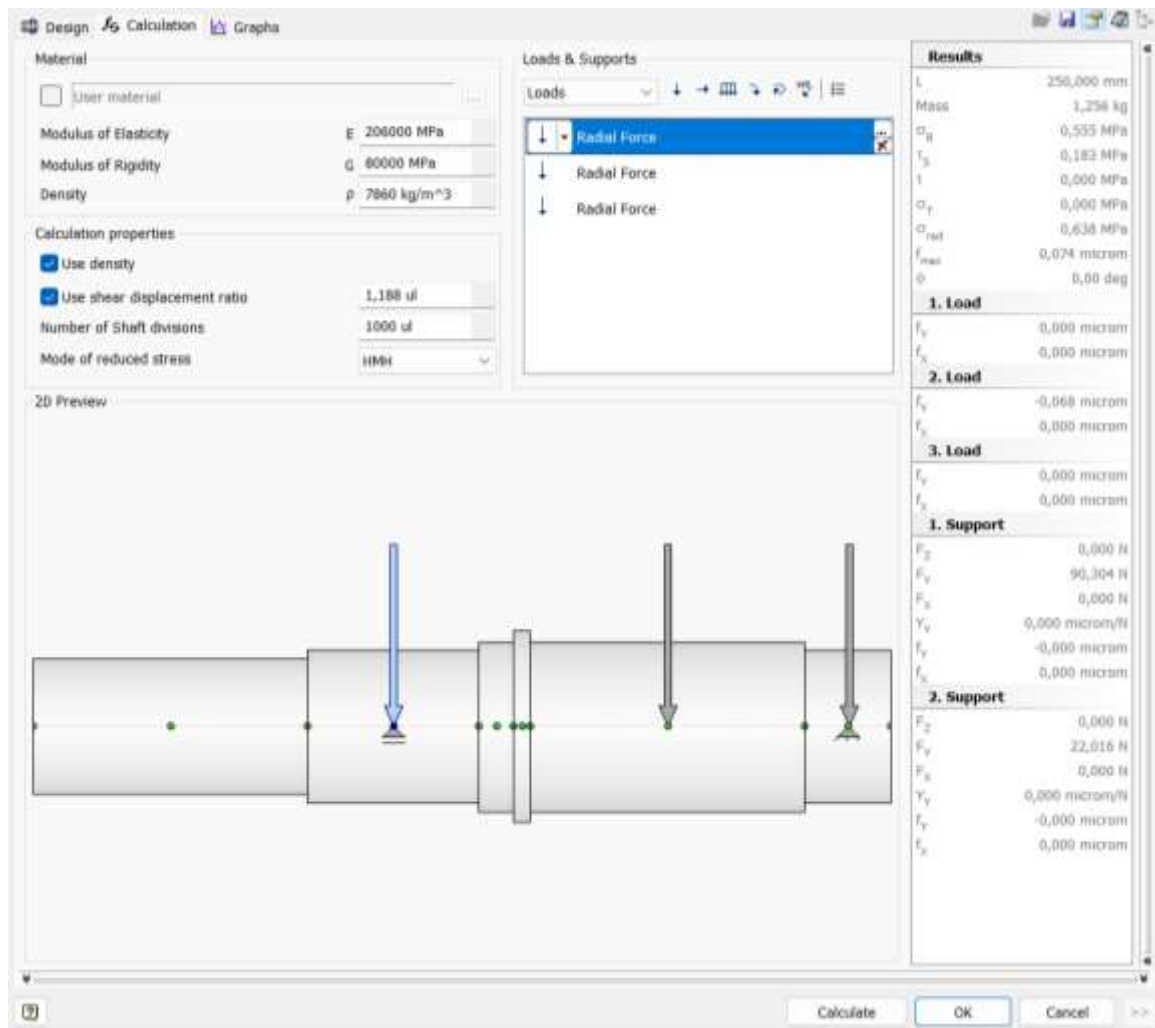


Рис. 2.7. Вкладка **Calculation**

При звертанні до списку опор вибирається з них одна вільна, а друга фіксована в осьовому напрямку. Опор може бути стільки, скільки потрібно, але фіксована може бути тільки одна (рис. 2.8).

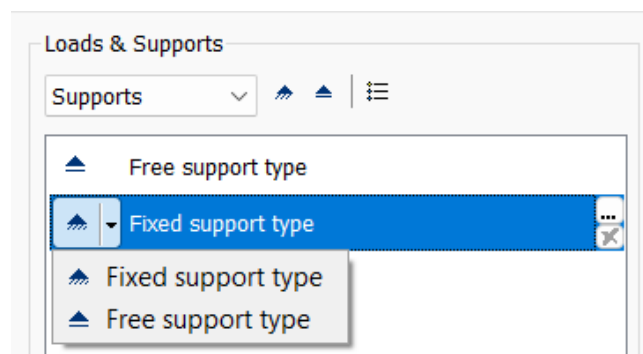


Рис. 2.8. Вибір типу опори

Для вибраної опори вибирається тип підшипника у вкладці **Type** групи параметрів **Support Type** (Тип підтримки) (рис. 2.9). Підшипники вибираються з тих стандартів, які є в наявності бібліотеки компонентів Autodesk Inventor.

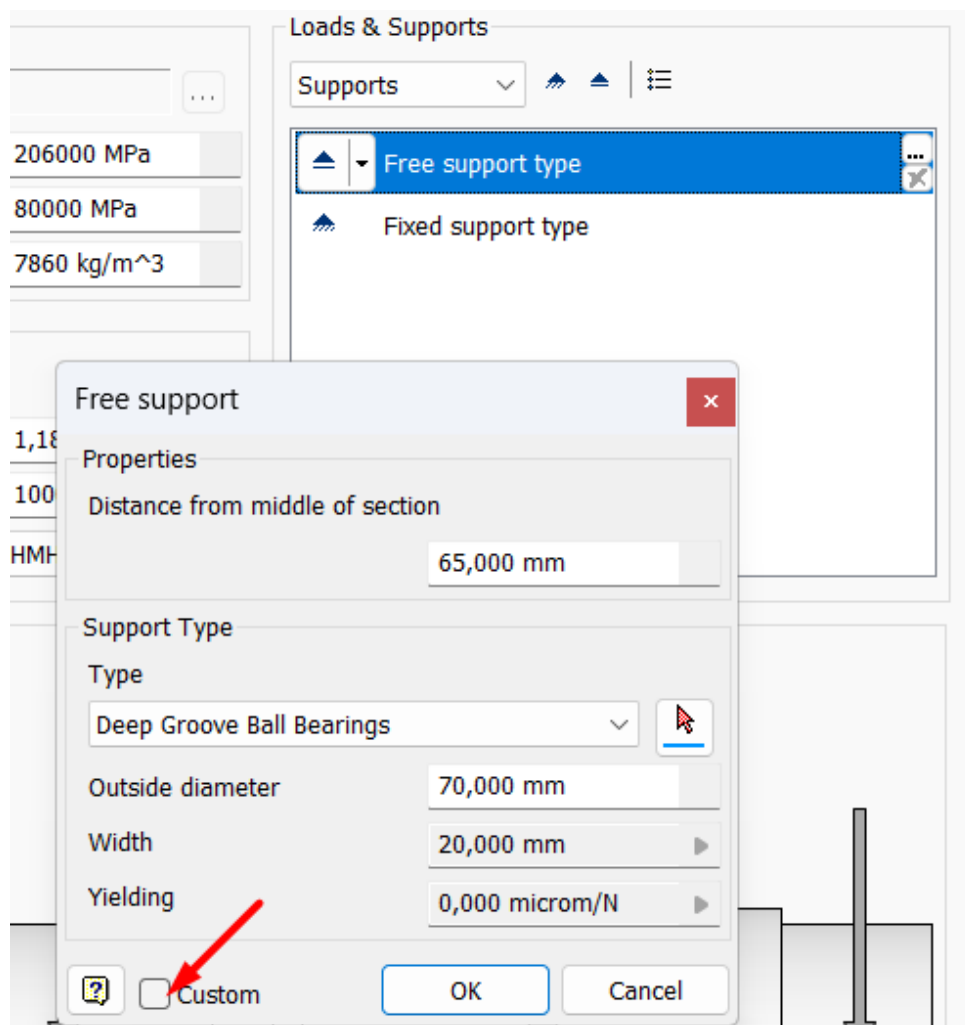


Рис. 2.9. Вибір підшипника

Для вибору матеріалу валу і введення його характеристик використовується вкладка **Material**. В базі даних цього діалогового вікна приведені середні значення для основних груп матеріалів відповідних стандартів. Стандартів на матеріали, які відповідають ДСТУ, в бібліотеці компонентів немає, тому для кінцевих розрахунків потрібно вводити уточнені дані з відповідних джерел (рис. 2.10).

Різні стандарти, такі як ДСТУ, ГОСТ, ISO, ASTM, DIN, EN, мають свої особливості позначення матеріалів, що відображає їх специфічні вимоги та підходи до класифікації. Позначення матеріалів у різних стандартах можуть суттєво відрізнятися через особливості класифікації, позначень та вимог, що висуваються кожним із них. У Autodesk Inventor використовуються різні стандарти для позначення матеріалів, що важливо для правильного проектування, аналізу та виготовлення деталей.

Такі стандарти, як ISO, ASTM, DIN, EN, які мають свої унікальні системи позначення матеріалів. Autodesk Inventor підтримує створення та управління бібліотеками матеріалів, які можуть включати матеріали, стандартизовані за різними системами.

Можна створити новий матеріал і ввести необхідні дані, включаючи назву та опис матеріалу відповідно до певного стандарту. Тоді слід зробити

налаштування властивостей матеріалу. Ввести фізичні, механічні та хімічні властивості матеріалу, такі як модуль пружності, густина, границя плинності, склад тощо.

Щоб мати доступ до нового матеріалу у майбутніх проєктах, його треба зберегти у бібліотеці. Для проведення аналізу міцності, симуляцій та створення технічної документації матеріал призначається відповідним деталям або збіркам.

Для розрахунку вала як балки на кількох опорах виконуються наступні дії:

- встановити потрібну кількість опор відповідного типу;
- прикласти потрібні навантаження в заданих точках вала;
- вибрати й встановити характеристики матеріалу вала;
- встановити додаткові характеристики розрахунку (за потреби);
- натиснути кнопку **Calculation**.

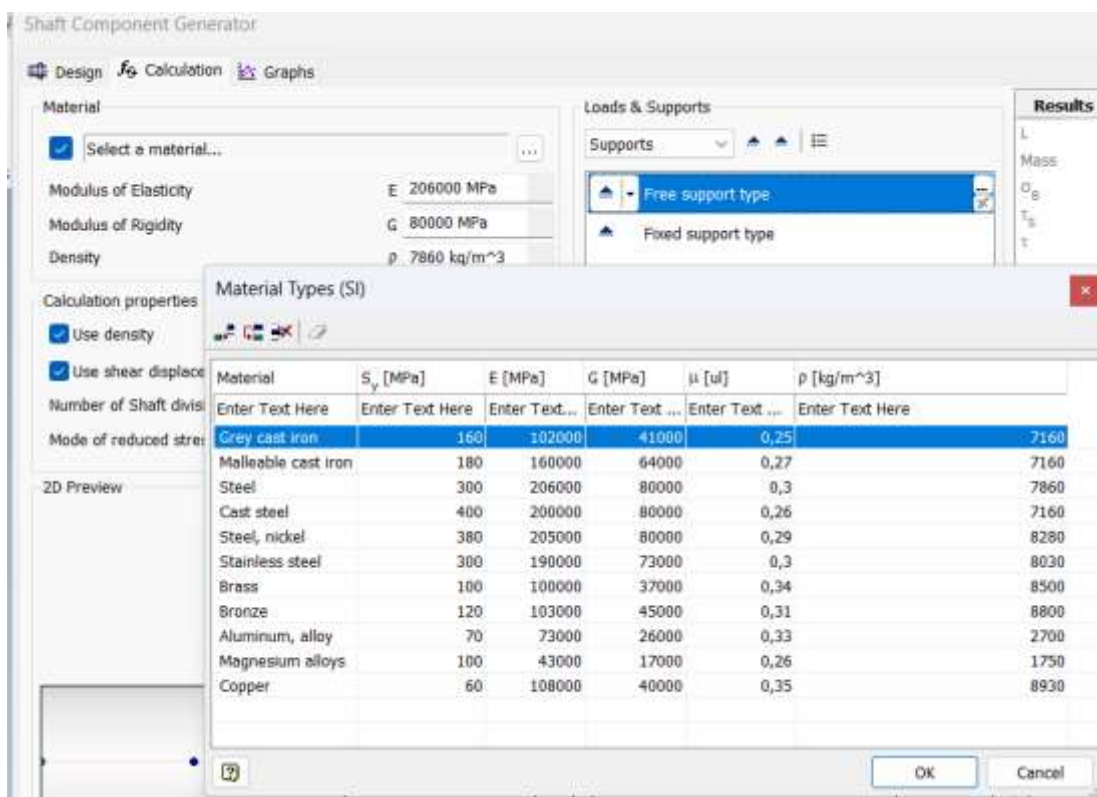


Рис. 2.10. Вибір матеріалу вала

Результати розрахунку в текстовому вигляді представлені праворуч у вкладках **Calculation** (рис. 2.11), епюри вала можна переглянути на вкладці **Graphs** (рис. 2.12).

При наявності некоректних розрахунків, виділених червоним кольором, слід внести коригування при введенні вихідних параметрів і знов виконати розрахунок.

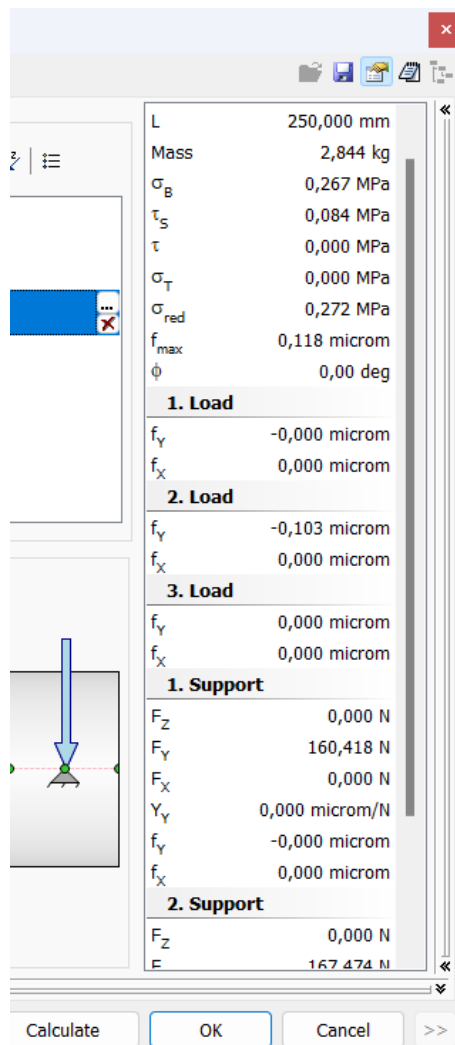


Рис. 2.11. Результати розрахунку вала

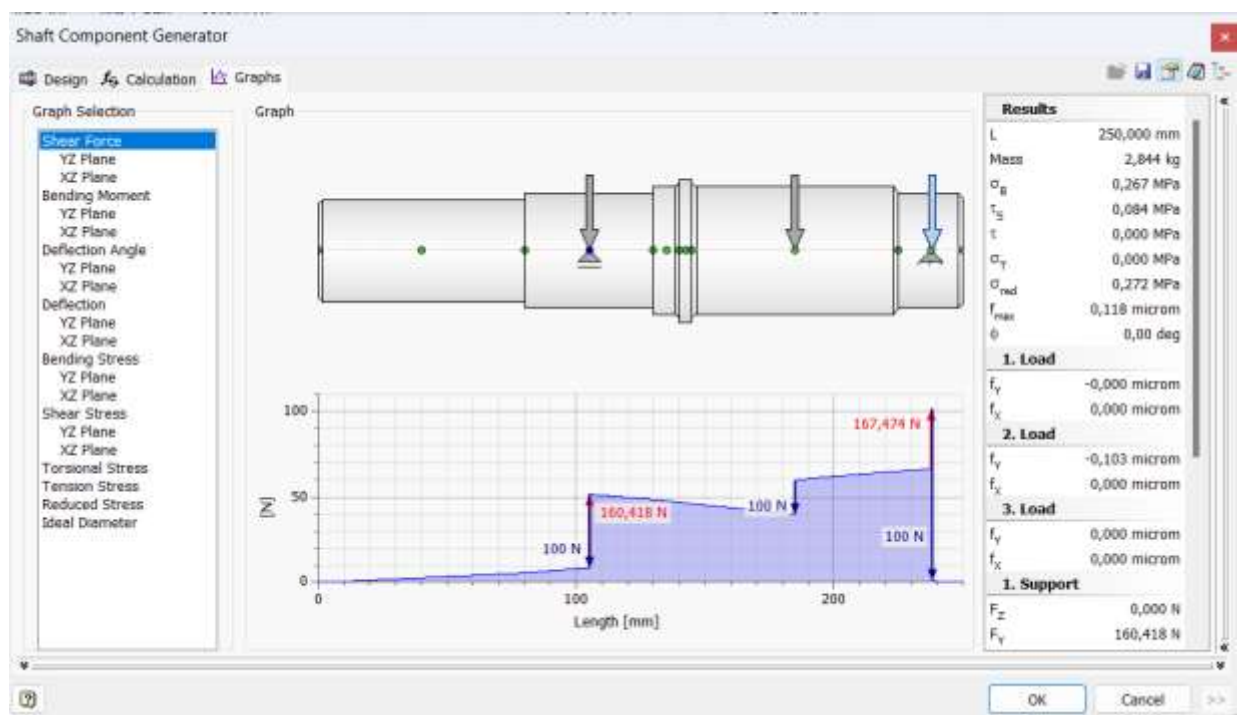


Рис. 2.12. Діалогове вікно вкладки **Graphs**

2.4 Проектування шпонкового з'єднання

Проектування шпонкових з'єднань та перевірка їх міцності. Після введення діаметра вала вибирається відповідна шпонка, а також найменша довжина, при якій вона може витримати необхідне навантаження. Можна розрахувати значення чотирьох шпонок.

Проектування шпонкових з'єднань відбувається через вкладку **Design**, панель **Power Transmission**, вкладку **Key**. Вибирається стандарт та відповідний тип шпонки. Визначаються грані вала, на яких необхідно розмістити шпонку. Якщо потрібно, вводиться необхідна довжина шпонки (за замовчанням завантажується певна довжина шпонки). Розміри шпонкового паза й шпонки встановлюються залежно від вибраного типу й стандарту.

За допомогою **Key Connection Generator** можна виконати наступні операції:

- виконати проектний та перевірочний розрахунки шпонкового з'єднання;
- вставити шпонку на валу;
- виконати пази в валу;
- виконати пази в маточині деталі, що встановлена на валу.

Останні три операції можна виконати одночасно або кожен окремо вказуючи місце встановлення шпонки.

Для запуску генератора шпонкових з'єднань на інструментальній палітрі "Майстра проектування" слід вибрати вкладку **Key**. В програмі передбачено проектування з'єднання призматичною шпонкою, тому в результаті з'явиться діалогове вікно **Parallel Key Connection Generator** (рис. 2.13).

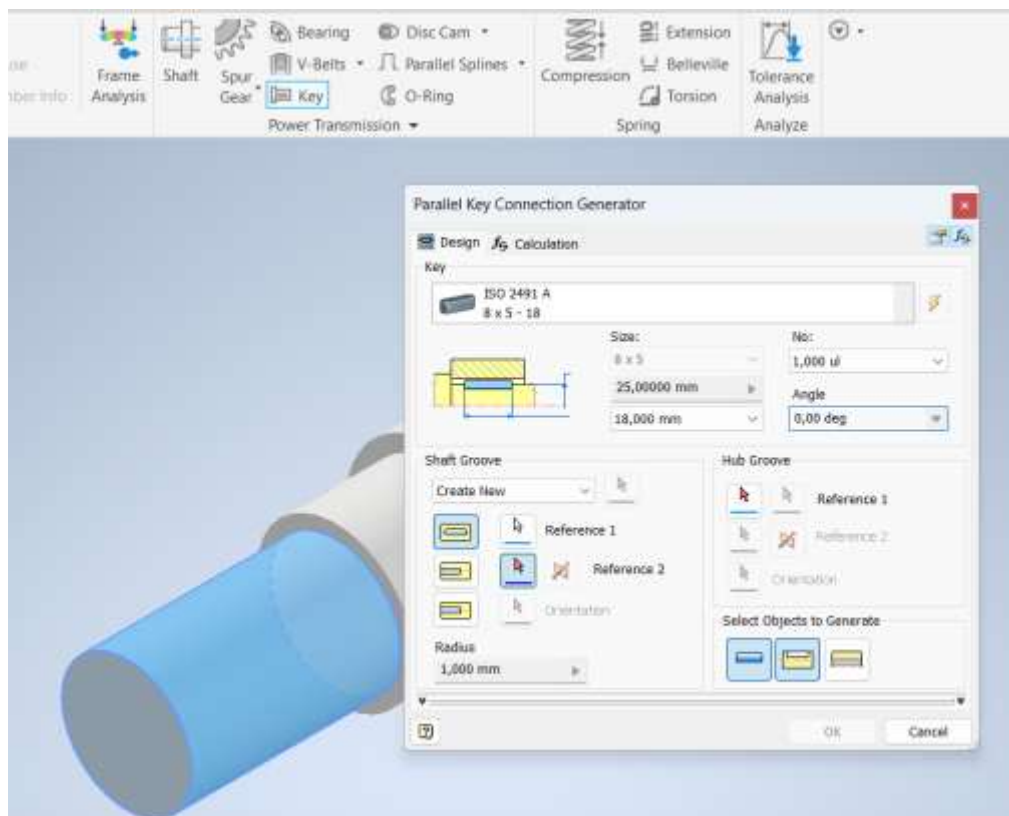


Рис. 2.13. Генерація шпонкового паза й шпонки на валу

При проектуванні нової шпонки генератор шпонок відкривається з останніми дійсними значеннями вставленого шпонкового з'єднання.

В групі параметрів **Key** зі списку вибирається стандарт і тип шпонки та її основні характеристики: діаметр, довжина, кількість та кут між шпонками у разі, якщо їх кілька.

На основі наданих розмірів (діаметр валу) можна відновити список шпонок бібліотеки компонентів. Якщо змінити значення діаметра валу, а список шпонок, рекомендований для такого типу діаметра валу неточний, список шпонок бібліотеки компонентів можна оновити відповідно до значення діаметра валу. Попередньо діаметр валу можна змінити вручну, або ж виміряти за допомогою команди **Dimension** із випадного меню. Після завдання діаметра в нижньому вікні стане доступним список стандартних довжин шпонок. Якщо у вікні "Кількість" вибрати кількість шпонок більшу ніж "1", то стане доступним список **Angle**, в якому можна вибрати кутовий крок між шпонками.

Якщо потрібно виконати тільки розрахунок шпонкового з'єднання, то після цього можна відразу перейти на вкладку **Calculation**.

Для вибору типу моделі у групі параметрів "Канавка вала" є список, із якого можна вибрати створення нового шпонкового паза або вибрати наявний шпонковий паз (створений "Генератором шпонкового з'єднання"). На основі його розмірів виконається пошук відповідної шпонки.

Розрахунок шпонкового з'єднання.

Перейдіть на вкладку **Calculation**. Виберіть тип розрахунку міцності, введіть розрахункові значення. Значення та одиниці виміру можна змінювати безпосередньо в полях редагування. Натисніть **Calculation**, щоб здійснити розрахунок.

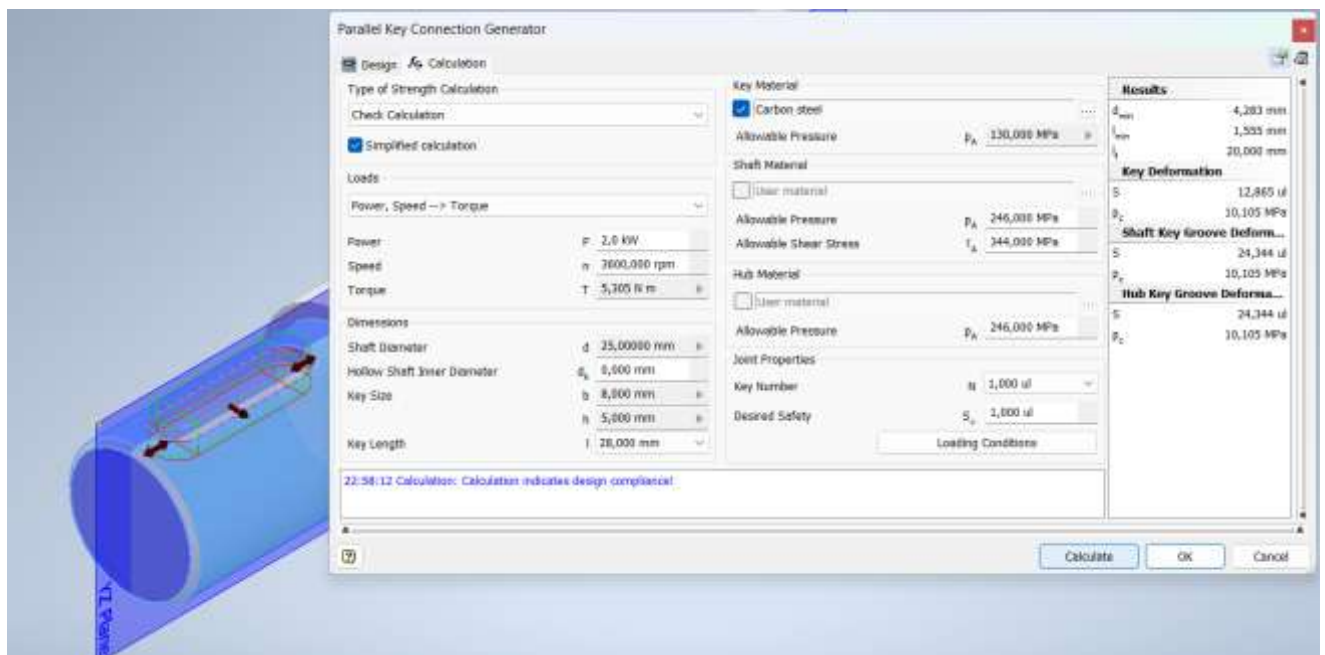


Рис. 2.14. Розрахунок шпонкового з'єднання

Якщо потрібна тільки модель вала зі шпонкою, вкладку паза маточини не активують і отримують генерацію саме вала (рис. 2.15).

Завдання та розміщення паза маточини виконується після завдання та розміщення паза на валу. В параметрах розміщення задається початкова/кінцева плоска грань або робоча площина. При необхідності зміни напрямку паза користуються кнопкою зі стрілкою Reference (рис. 2.16).

Якщо об'єкт (наприклад, паз валу або маточини) вставлений, їхнє взаємне розташування автоматично закріплюється і його не можна змінити під час редагування.

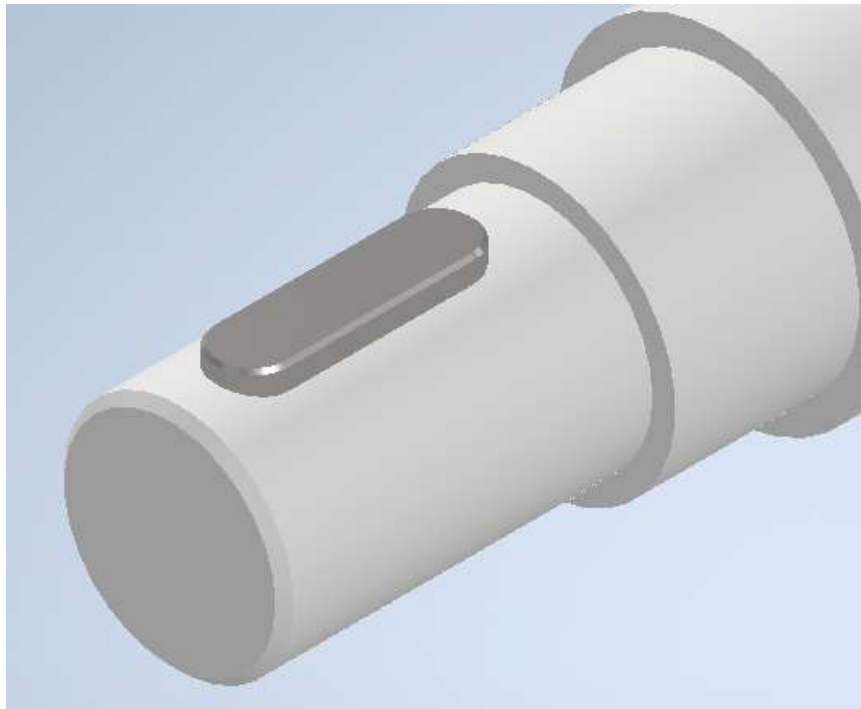


Рис. 2.15. Модель вала й шпонки, створена генератором шпонкового з'єднання

Шпонка автоматично розміщується у вибраній геометрії відповідно до певних умов. Як правило, шпонка розміщується в пазу вала, якщо створені обидві пази - на валу й маточині. При відсутності створеного паза на валу шпонка розміщується в пазу маточини.

Параметри для типу паза вибираються із доступних в бібліотеці:

- паз із округленими кряями;
- паз з одним округленим краєм;
- плоский паз.

Графічне зображення вибраної геометрії та тип паза відображається у Autodesk Inventor. Можна використовувати стрілки для зміни довжини і розміщення шпонки. Для точного розташування шпонки на валу числові значення вводяться з клавіатури у вкладці **Edit** (рис. 2.17).

Слід зазначити, що розміри паза створюються автоматично залежно від діаметра вибраної ділянки вала відповідно до вибраного стандарту. Коригувати можна лише довжину шпонки, вибираючи її з спадного списку.

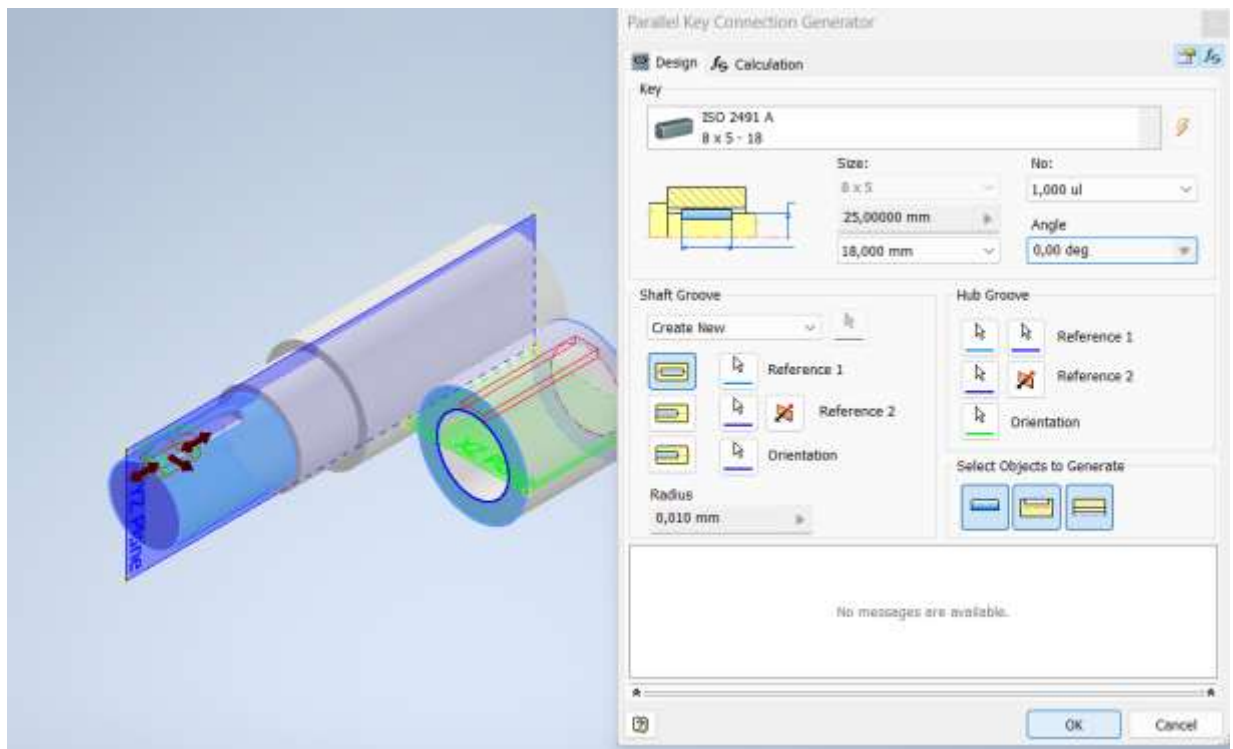


Рис. 2.16. Генерація шпонкового з'єднання

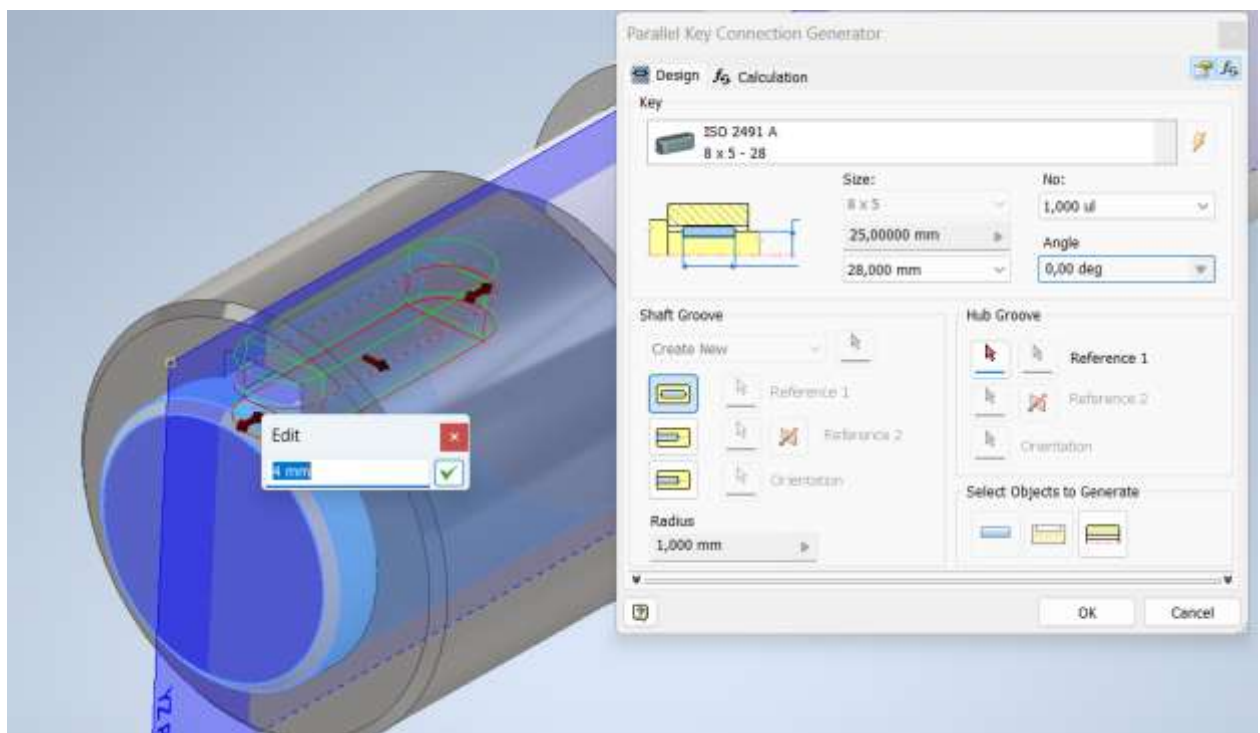


Рис. 2.17. Коригування довжини і розміщення шпонки

Після розрахунку й збереження всіх результатів отримуємо шпонкове з'єднання, створене генератором (рис. 2.18).

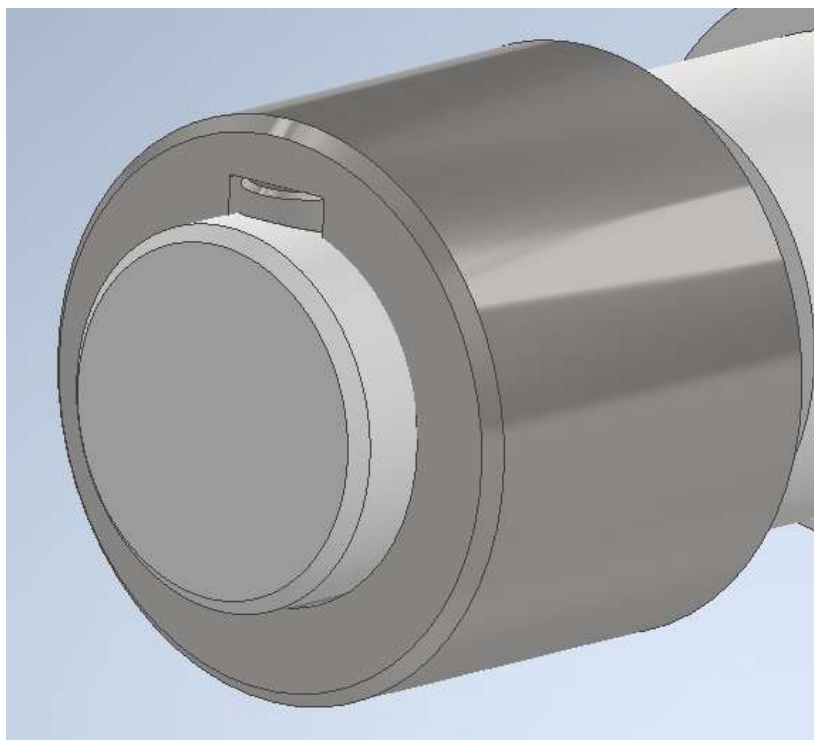


Рис. 2.18. Шпонкове з'єднання

2.5 Проектування шліцьового вала

Прямобічний шліцьовий вал

Проектування шліцьового вала в Autodesk Inventor здійснюється за допомогою вбудованих інструментів та генераторів компонентів, що спрощують створення складних механічних елементів.

Генератор компонентів прямобічних шліців **Parallel Splines** призначений для розрахунку та проектування шліців з паралельними бічними гранями. Генератор розраховує вали зі шліцами та виконує перевірку міцності. За допомогою розрахунку шліцьових з'єднань можна визначити довжину маточини для заданого крутного моменту, що передається. Паралельні шліці підходять для передачі високих, циклічних та крутних моментів. Ці муфти представляють практично простий тип шліців, використовується для фіксованих і ковзних муфт циліндричних валів з маточиною.

Генерація шліців виконується через вкладку **Design**, панель **Power Transmission**, вкладку **Parallel Splines**. Вибір типу шліців відповідного стандарту виконується у випадному меню **Splines Type** (рис. 2.19). Залежно від вибраного типу шліців їх розміри можна оновити.

Проектування шліцьового вала є відносно простим завдяки використанню Генератора валів та вбудованих інструментів для створення шліцьових з'єднань.

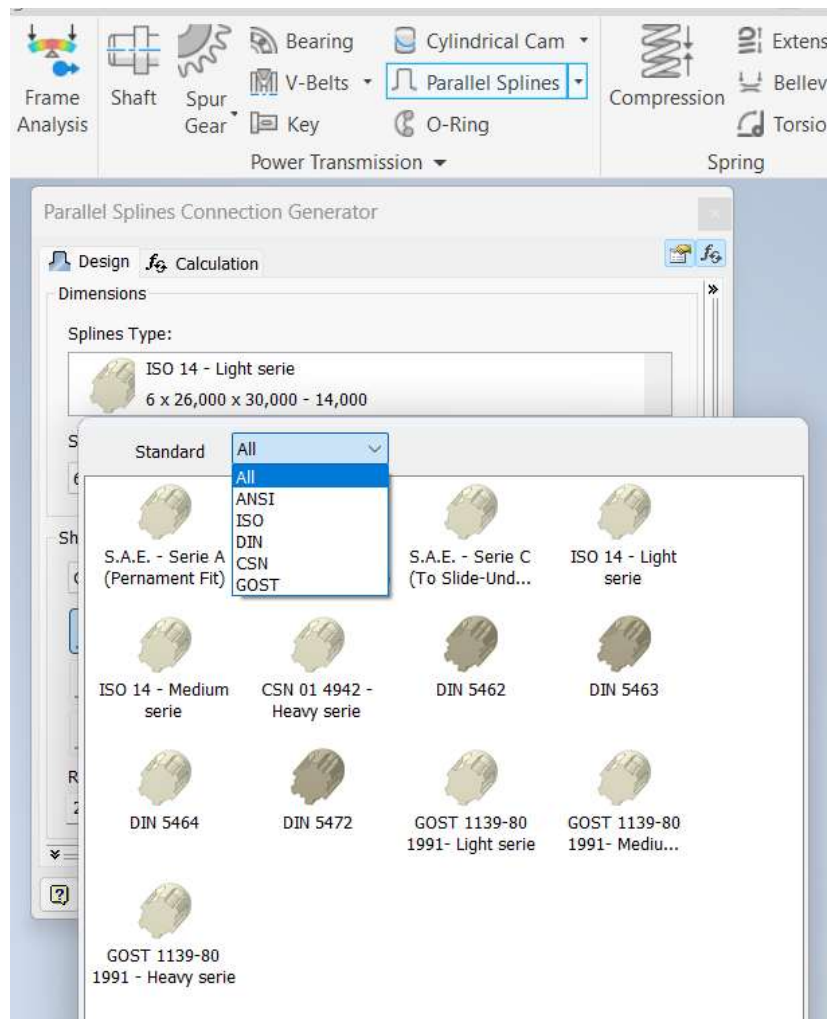


Рис. 2.19. Вибір стандарту шліців

За допомогою Генератора прямобічного шліцьового з'єднання можна виконати проєктний та перевірочний розрахунки, виконати шліці на валу та в маточині з застосуванням до них конструктивних зв'язків.

Пази на валу створюються згідно вибраного стандарту, або можна вибрати існуючі. Залежно від вибору включаються параметри в області **Shaft Groove** (Канавка валу).

Положення шліців маточини вказується аналогічно валу. В області **Reference** оберається об'єкти для вставки. Вибирається відповідна ділянка вала й йде побудова шліців (рис. 2.20). Можна також додати компоненти до з'єднання або змінити розміри.

Довжину шліців можна вибрати із визначеного списку, виміряти, вставити необхідну довжину або використати графічний перегляд.

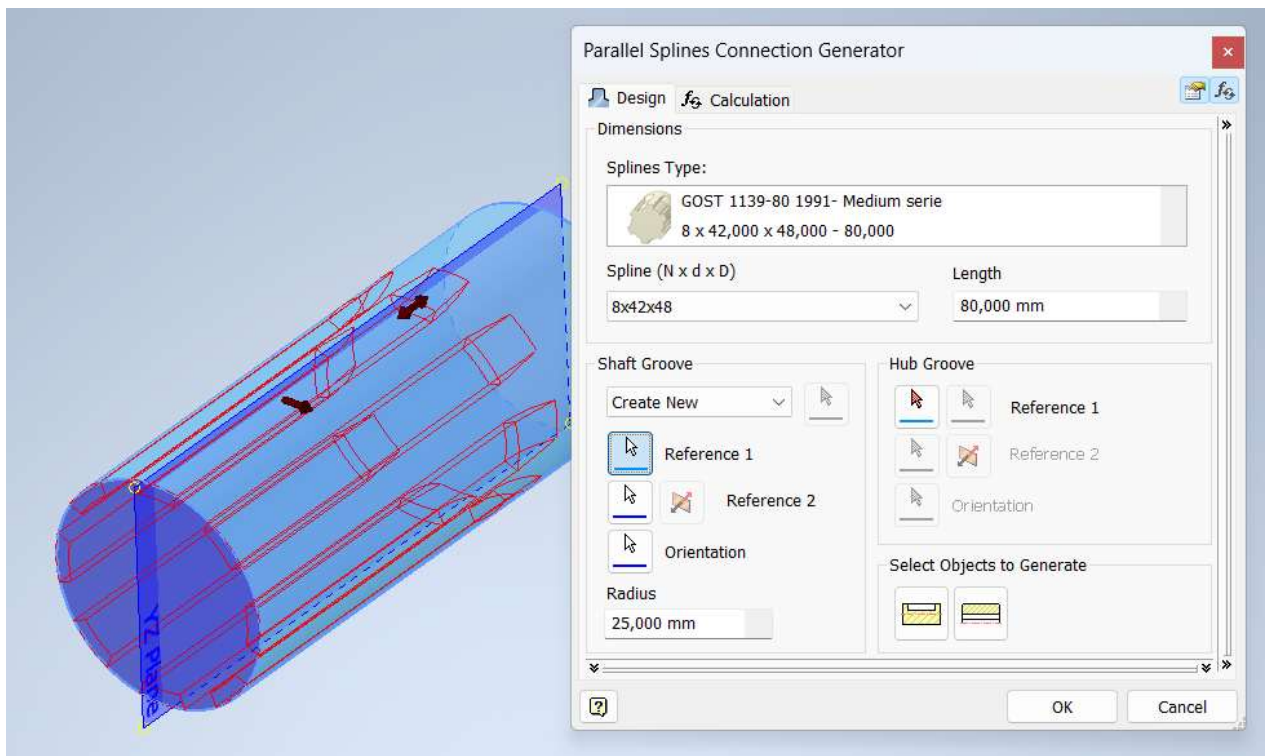


Рис. 2.20. Генерація прямобічних шліців

Для виконання розрахунку слід перейти на вкладку **Calculation**. Вибрати тип розрахунку міцності, ввести розрахункові значення. Введення значення навантаження здійснюється в залежності від обраного методу за допомогою введення потужності, частоти обертання або обертаючого моменту. Значення та одиниці виміру можна змінювати безпосередньо в полях редагування. При натисканні **Calculation** здійснюється розрахунок, результати розрахунку відображаються в цій же області **Calculation** (рис. 2.21).

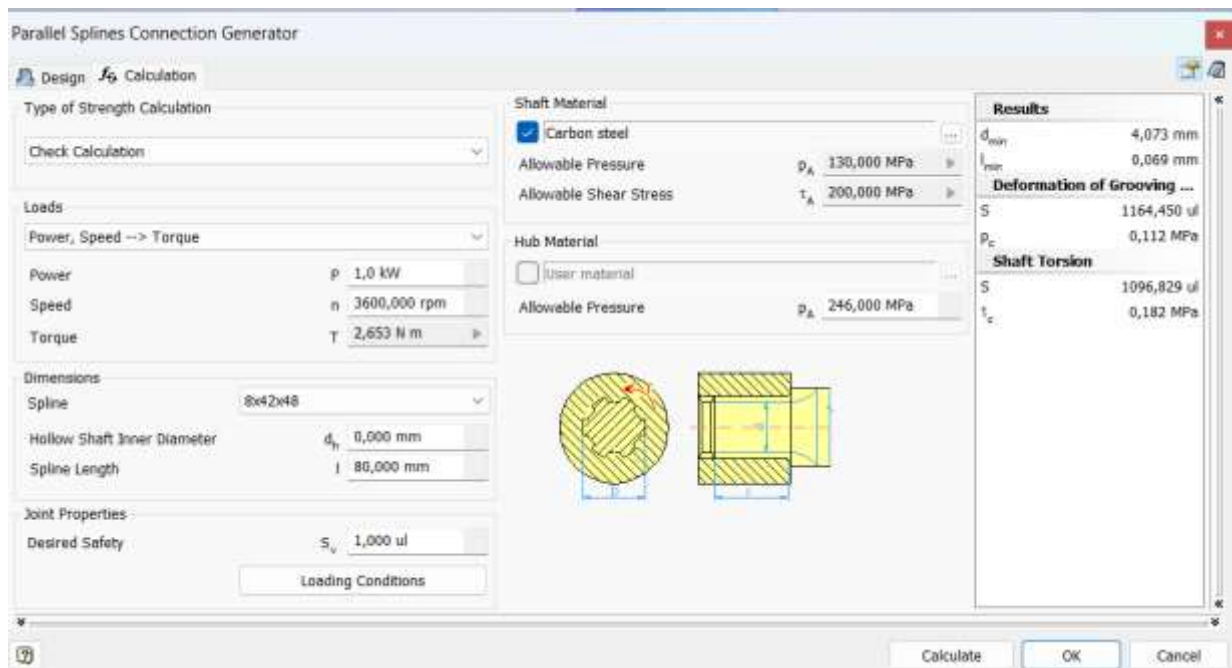


Рис. 2.21. Діалогове вікно вкладки **Calculation** прямобічних шліців

З урахуванням точності та достовірності інформації, що вводиться, важливості з'єднання, якості продукції та точності розрахунку, необхідний запас міцності вибирається в рекомендованих межах. Якщо вхідні значення призвели до збою розрахунку, вони відображаються червоним (це значення не відповідає іншим введеним значенням або критеріям розрахунку). В такому випадку слід скорегувати вхідні значення [16].

Евольвентний шліцевий вал

Генератор розрахунку та проектування евольвентних шліцевих з'єднань **Involute Splines** виконує розрахунок ширини шліців, а також перевірку навантажень вигину та тиску. У розрахунку беруть участь тільки зуби валу, оскільки напруження на зуби валу більші, ніж напруження на зубці маточини, які мають велику товщину біля основи.

З'єднання з евольвентними шліцями підходять для передачі високих, циклічних і крутних моментів. Цей тип використовується для фіксованих і ковзних муфт циліндричних валів зі маточиною. Його можна використовувати, як і паралельні шліци.

Шліцевий профіль створюється як евольвентний зуб у перерізі. Центрування може бути по зовнішньому діаметрі чи боках зуба, по діаметру є більш точним, центрування по боках – більш економічним і використовується частіше у практиці. Дно канавки може бути плоским або округленим.

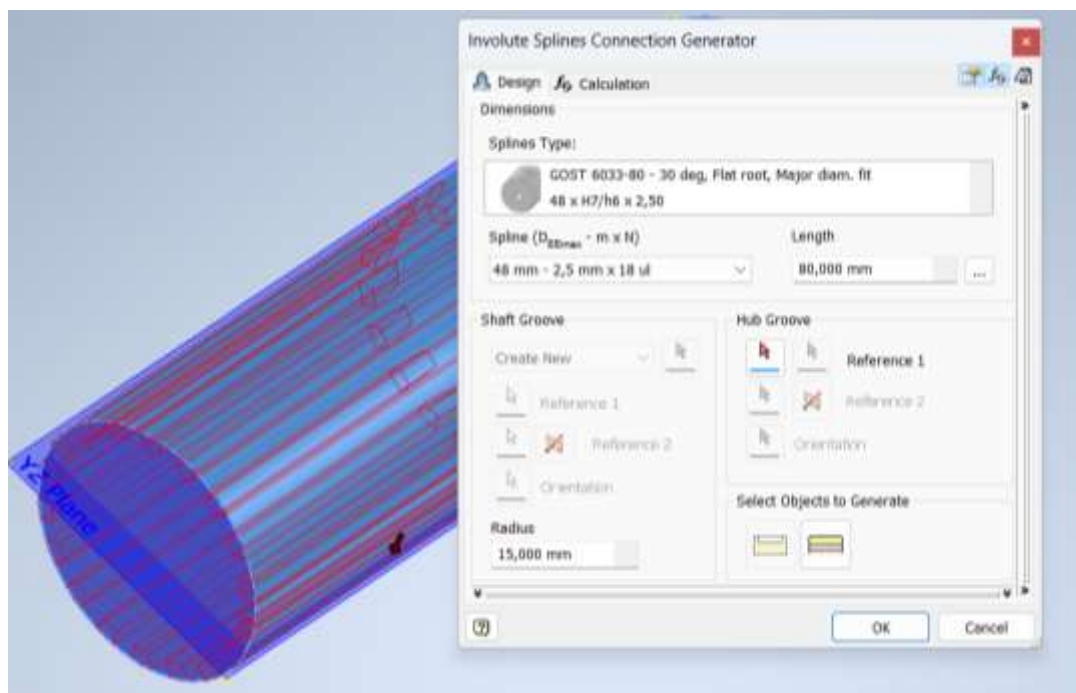


Рис. 2.22. Генерація евольвентних шліців на валу

Розрахунок евольвентних шліців виконується аналогічно прямобічних шліців. Слід перейти на вкладку **Calculation**. Вибрати тип розрахунку міцності, ввести розрахункові значення. Натиснути **Calculation**, щоб здійснити розрахунок. Результати розрахунку відображаються в області **Calculation** (рис.

2.23). Якщо результати розрахунків відповідають вимогам проектування, зберігають результат.

Вибір відповідних параметрів для розрахунку шліців залежить від вибраного стандарту - ANSI, ISO, DIN, CSN або GOST.

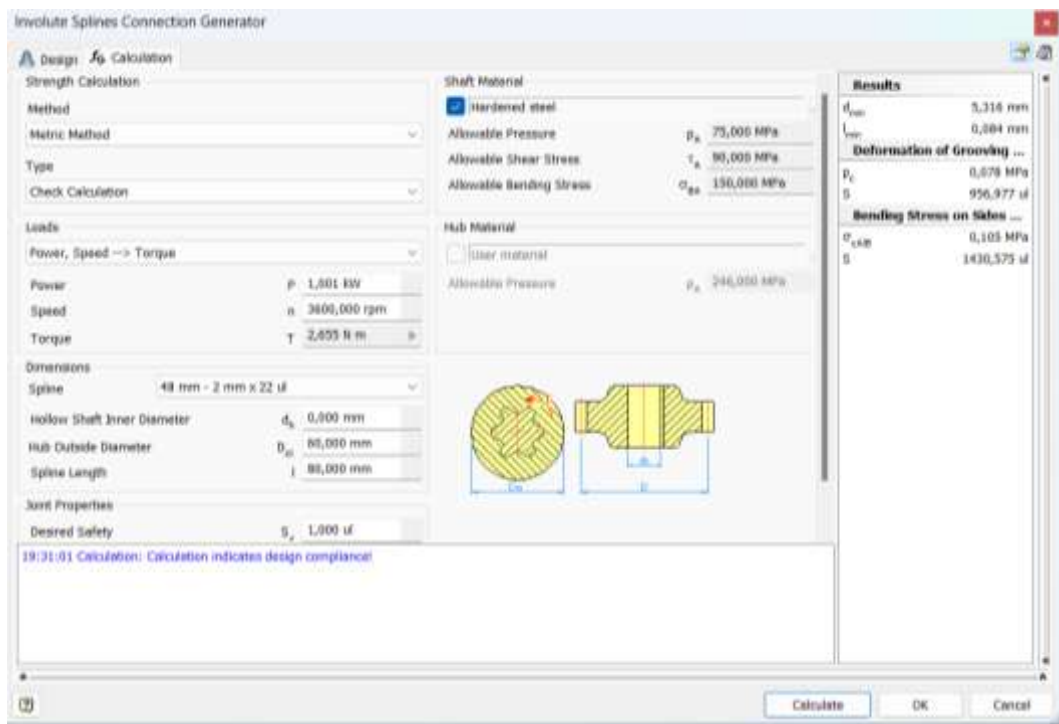


Рис. 2.23. Діалогове вікно вкладки **Calculation** евольвентних шліців

У разі використання порожнистого валу в з'єднанні вводять внутрішній діаметр валу. Цей параметр впливає на навантаження валу при крученні і значно впливає на визначення мінімального можливого діаметра валу.

Після генерації і виконання розрахунку шліців отримуємо графічне зображення (рис. 2.24).

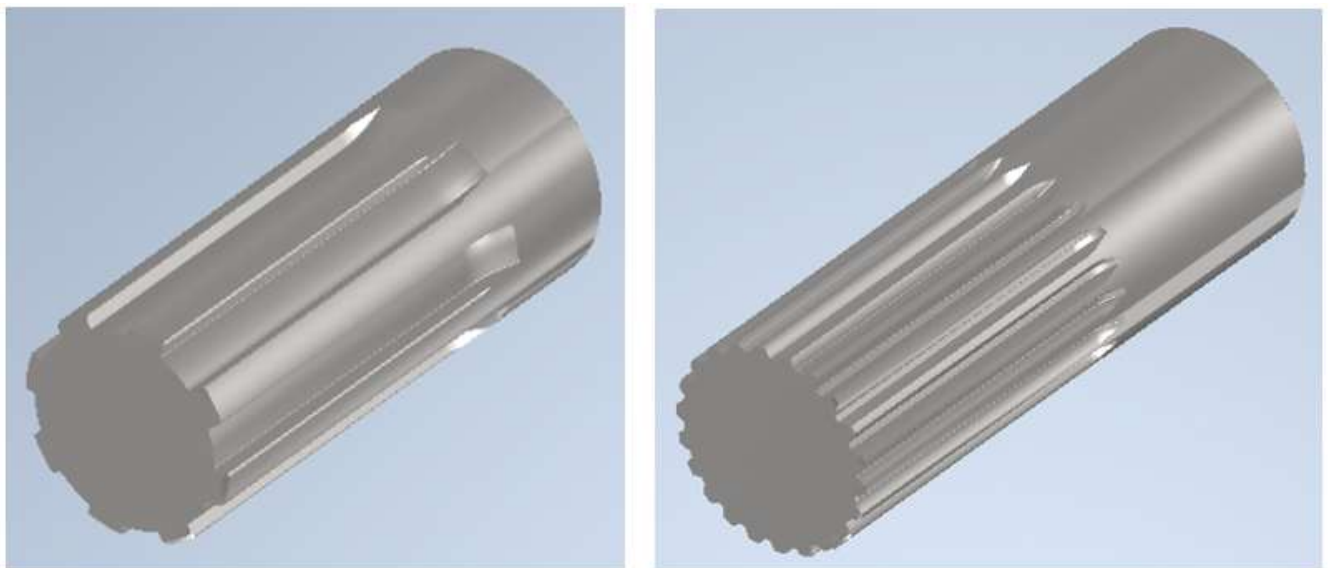


Рис. 2.24. Згенеровані прямобічні й евольвентні шліці на валах

Для побудови маточини шліцевого з'єднання вибирають початкову/кінцеву плоску грань або робочу площину, потім вибирають початкову точку (циліндричне ребро або робочу точку). Autodesk Inventor автоматично вибирає площину для орієнтації, за необхідності її можна змінити. Графічне зображення вибраної геометрії відображається у Autodesk Inventor (рис. 2.25).



Рис. 2.25. Згенерована маточина з евольвентними шліцами

Розміри шліців оновлюються залежно від вибраного типу шліців і стандарту. Рекомендується використовувати канавку маточини без внутрішнього отвору. Згенерована канавка маточини створює отвір відповідно до введених значень. Якщо діаметр канавки маточини більший за вибраний діаметр, проєктування не буде виконано і канавка маточини не буде створена. Тоді слід виправити введені значення й оновити генерацію.

Матеріал для вала й маточини вибирається з бази даних матеріалів бібліотеки Inventor, його значення вставляється автоматично. Розрахунок проводиться по допустимим напруженням зминання й зрізу. При необхідності матеріал деталей можна редагувати для виконання умов міцності.

Виконання розрахунку ведеться відповідно до стандартів ANSI. Доступно проєктування оптимальної активної довжини шліців для заданого навантаження, діаметра шліців та властивостей з'єднання. Вибирається відповідний метод і тип розрахунку шліцевого з'єднання, при виконанні умов міцності отримуємо графічне зображення з'єднання (рис. 2.26).

При невиконанні умов міцності й наявності результатів розрахунку, виділених червоним кольором, необхідно відкоригувати вхідні параметри й знов виконати розрахунок.

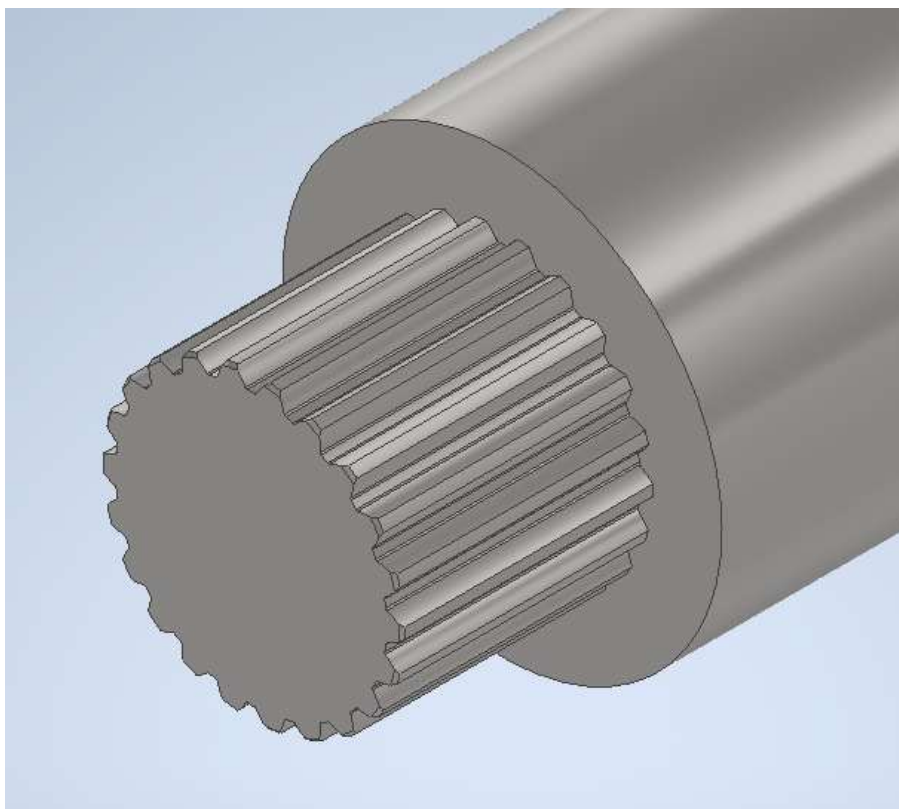


Рис. 2.26. З'єднання з евольвентними шліцами

2.6 Генератор підшипників

Для розрахунку роликів та кулькових підшипників користуються Генератором компонентів підшипника. Він забезпечує проєктування та розрахунок параметрів підшипника. Вибрані параметри розрахунку разом із підшипниками зберігаються у кресленику.

Генерація підшипника відбувається через вкладку **Design**, панель **Power Transmission**, вкладку **Bearing**. Вибирається стандарт та відповідний тип підшипника (рис. 2.27).

Генератор підшипників **Bearing Generator** в Inventor містить велику бібліотеку стандартних підшипників, включаючи радіальні, упорні, кулькові, роликові та інші типи підшипників відповідно до міжнародних стандартів (ISO, ANSI, DIN). Він дозволяє автоматично вибирати відповідні підшипники на основі заданих параметрів, таких як розміри вала і корпусу, навантаження, швидкість обертання та інші експлуатаційні умови.

Інструмент виконує автоматичні розрахунки для визначення довговічності підшипників, включаючи розрахунки навантаження, швидкості обертання, температурних режимів та інші експлуатаційні параметри. Аналіз довговічності і надійності допомагає оцінити, наскільки підшипник буде ефективним в заданих умовах експлуатації.

Генератором підшипників можна вибрати підшипник на вкладці **Design** відповідно до певних критеріїв, на вкладці **Calculation** налаштувати параметри розрахунку підшипника й виконати перевірку міцності та терміну служби

підшипника. Вибирається підшипник, який відповідає зазначеним критеріям та необхідному терміну служби з наявних стандартів у бібліотеці. При невиконанні умов розрахунку вносяться коригування параметрів і розрахунок оновлюється.

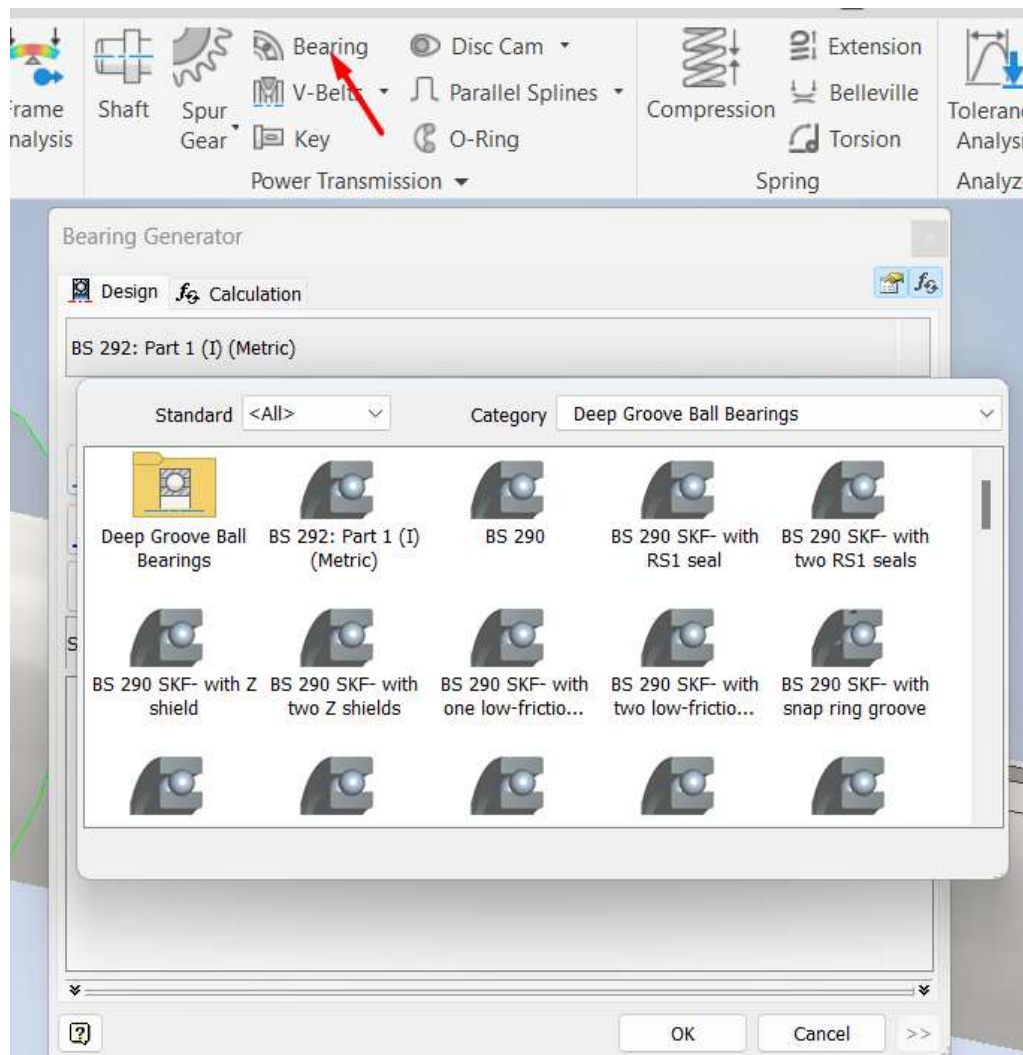


Рис. 2.27. Вибір типу підшипника

Вставити підшипник можна різними способами:

1. Вибрати циліндричну грань валу та початкову площину. Значення діаметра валу автоматично вставляється на вкладці **Design**. Далі вибирається тип підшипника відповідного стандарту в бібліотеці компонентів. Щоб відкрити бібліотеку компонентів, натисніть кнопку зі стрілкою поруч із полем редагування **Category**. Рекомендується вибрати **Standard**.

2. У правій частині вкладки **Design** можна також встановити значення фільтра розмірів для зовнішнього діаметра підшипника, внутрішнього діаметра і ширини. Можна ввести значення вручну або натиснути кнопку зі стрілкою для визначення розміру у збірці Autodesk Inventor. Якщо потрібно вказати розмір фільтра, вводяться початок і кінець діапазону. Можна ввести одне значення для початку та кінця фільтра. Відповідно до вибору та заданих значень фільтра підшипника в нижній частині вкладки **Design** відображається список

підшипників, які відповідають зазначеним критеріям. Зі списку вибирається відповідний підшипник, який відображається у полі над списком (рис. 2.28).

При труднощах з вибором підшипників малознайомих стандартів можна скористатися стандартом ISO чи DIN, які присутні в бібліотеці підшипників Autodesk Inventor. Або порівняти характеристики наявних підшипників із більш звичними знайомими стандартами.

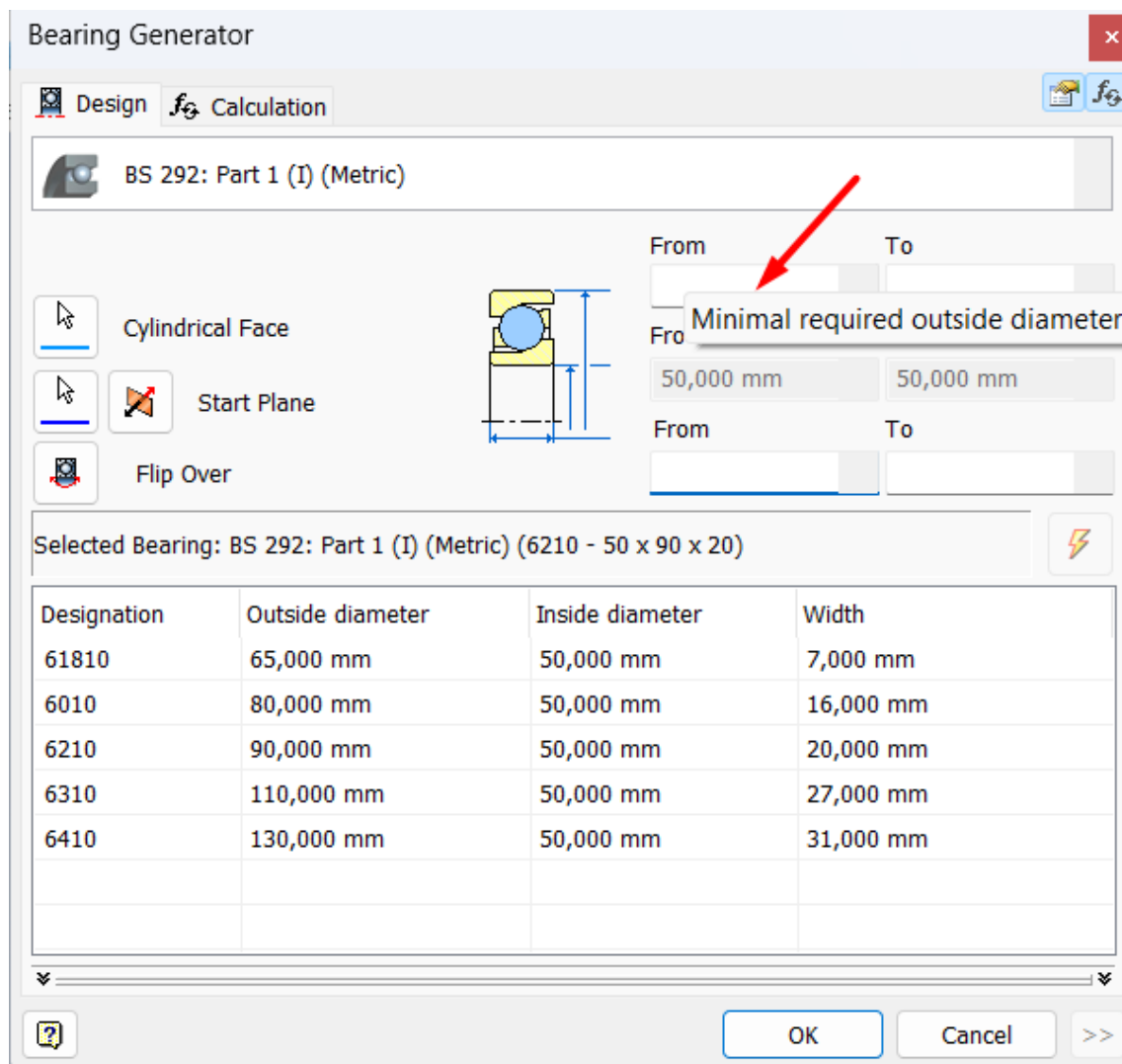


Рис. 2.28. Вибір підшипника за фільтром

Перед натисканням кнопки ОК та вставкою підшипників у складання Autodesk Inventor можна перейти на вкладку **Calculation**, щоб виконати розрахунок та перевірку міцності. Розрахунок виконується за натисканням кнопки **Calculation**.

Процедура вибору підшипника в Autodesk Inventor є важливою частиною процесу проєктування механічних систем. Інструменти, доступні в Inventor, дозволяють ефективно і точно вибирати підшипники з урахуванням навантажень, умов експлуатації та інших технічних параметрів.

Генератор підшипників інтегрується з іншими інструментами Autodesk Inventor, такими як генератори валів і механічних передач, що забезпечує

узгодженість і точність всього проекту. Це дозволяє проводити комплексний аналіз і оптимізацію всієї механічної системи.

Bearing Generator

Design Calculation

Type of Strength Calculation: Check calculation

Loads

Radial Load: F_r 400 N

Axial Load: F_a 0 N

Speed: n 1500 rpm

Bearing Properties

Nominal Contact Angle: α 0 deg

Basic Dynamic Load Rating: C 35100 N

Basic Static Load Rating: C_0 23200 N

Dynamic Radial Load Factor: X 0,60 ul 0,60 ul

Dynamic Axial Load Factor: Y 0,50 ul 0,50 ul

Limit value F_a/F_r : e 0,40 ul

Static Radial Load Factor: X_0 0,60 ul

Static Axial Load Factor: Y_0 0,50 ul

Exponent for determining life: p 3,00000 ul

Lim. Speed Lubrication Grease: n_{lim1} 0 rpm

Lim. Speed Lubrication Oil: n_{lim2} 0 rpm

Bearing Life Calculation

ANSI/AFBMA 9-1990 (ISO 281-1990) calculation method

Required Life: L_{req} 10000 hr

Required Reliability: R_{req} 90 ul

Special Bearing Properties Factor: a_0 1,00 ul

Operating Conditions Factor: a_1 1,00 ul

Working Temperature: T 100 c

Factor of Additional Forces: f_d 1,00 ul

Results

L_{10} 34757227 hr

L_{10a} 34757227 hr

L_{10b} 3128150 ul

L_{10c} 3128150 ul

S_{ac} 58,00000 ul

P_z 1,41372 W

F_{min} 232 N

P_0 400 N

P 240 N

k_n 0,0000 ul

a_1 1,00 ul

f_1 1,00 ul

n_b 1500 rpm

n_{min} 1500 rpm

n_{max} 1500 rpm

Bearing

D 90,000 mm

d 50,000 mm

B 20,000 mm

Table of Bearing Specifications:

Designation	Outside diameter	Inside diameter	Width
61810	65,000 mm	50,000 mm	7,000 mm
6010	80,000 mm	50,000 mm	16,000 mm
6210	90,000 mm	50,000 mm	20,000 mm
6310	110,000 mm	50,000 mm	27,000 mm
6410	130,000 mm	50,000 mm	31,000 mm

Buttons: Calculate, OK, Cancel, >>

Рис. 2.29. Вибір і розрахунок підшипника

Починають генерацію підшипників, як правило, з вибору циліндричної грані валу, оскільки підшипники вибираються саме за діаметром валу. Потім вказується діапазон зовнішнього діаметра підшипника і ширини. Але не обов'язково вказувати значення всіх параметрів, можна вибрати відповідний підшипник з представленого списку.

Також можна скористуватися представленими фільтрами. Для вибору фільтра розмірів підшипника встановлюється відповідний діапазон у правій частині вкладки **Design**. Тут можна ввести значення вручну або задіяти стрілку для визначення розміру в збірці Autodesk Inventor. Якщо спочатку була вказана геометрія підшипника, значення фільтра діаметра валу автоматично підставляється у поля редагування фільтра. В наявності є три фільтри розмірів, які можна вказати. Це основні геометричні розміри підшипника - зовнішній діаметр, внутрішній діаметр і ширина підшипника.

У нижній частині вкладки **Design** міститься список підшипників, які відповідають заданим критеріям. Зі списку вибирається відповідний підшипник, який відображається у полі над списком. Тільки після цього кнопка ОК стає

доступною, і підшипник можна вставити в збирання Autodesk Inventor. Дані підшипника поновлюються з урахуванням наданих розмірів. Команда стає доступною, якщо список відповідає розміру фільтра [16].

Для розміщення підшипника вибирається відповідна циліндрична грань. Потім задається початкова грань підшипника. Для зміни розміщення підшипника вздовж цапфи вала можна також використовувати стрілки з введенням точного розташування грані підшипника (рис. 2.30).

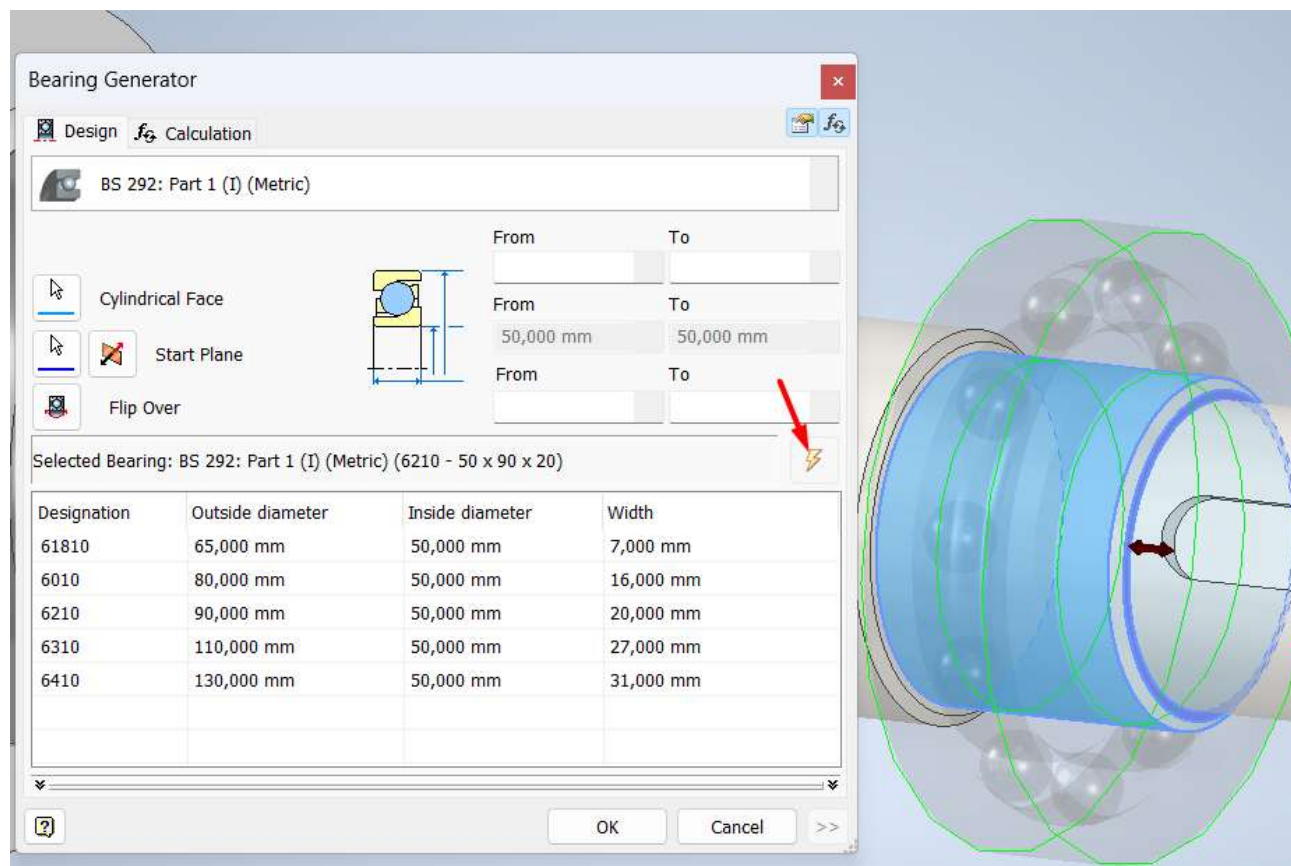


Рис. 2.30. Розміщення підшипника на валу

Редагування підшипника. За необхідністю можна змінити тип підшипника, розмір підшипника (зовнішній діаметр, діаметр вала, ширина підшипника) або виконати повторний розрахунок значень.

Якщо навантаження змінюється протягом терміну служби підшипника, вказують додаткові навантаження у діалоговому вікні. Після зміни значень різних навантажень повторно виконують розрахунок.

Якщо потрібно змінити значення розрахунку, натисніть кнопку **Calculation**, щоб переглянути міцність. Результати розрахунку відображаються в області **Results**. Вхідні значення, що призвели до збою розрахунку, відображаються червоним. В такому випадку слід змінити значення й знову виконати розрахунок для отримання коректних результатів.

Після всіх розрахунків і редагувань отримуємо графічне зображення вала з підібраними підшипниками (рис. 2.31).

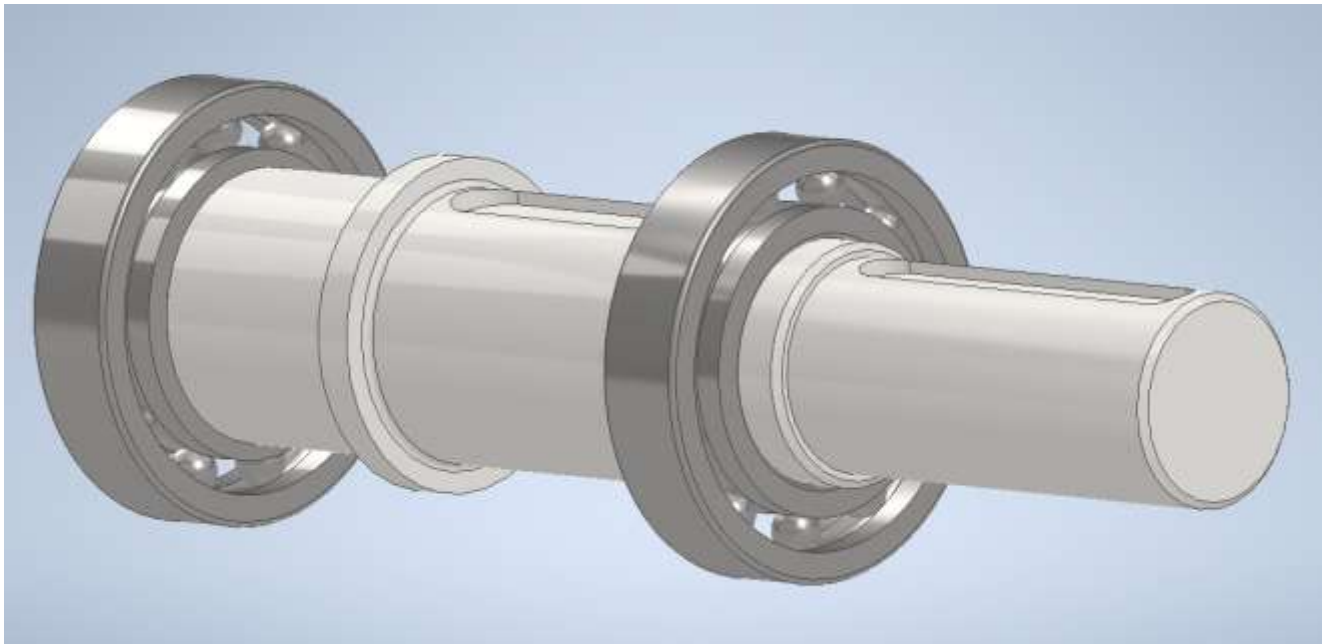


Рис. 2.31. Збірка вала з підшипниками

При виборі інших типів підшипників виникає необхідність зміни орієнтації підшипників. Для розміщення роликів радіально-упорних підшипників слід певним чином вказувати орієнтацію підшипника.

Щоб виконати поворот підшипника, слід натиснути **Flip Over**. Положення підшипника не змінюється, він залишається пов'язаним із тією ж площиною, але розвернеться на 180°. Ця функція часто застосовується для радіально-упорних підшипників, які встановлюються за різними схемами залежно від навантаження на валу. Після виконання всіх кроків кнопка ОК стає доступною, і підшипник можна вставити в збірку Autodesk Inventor (2.32).

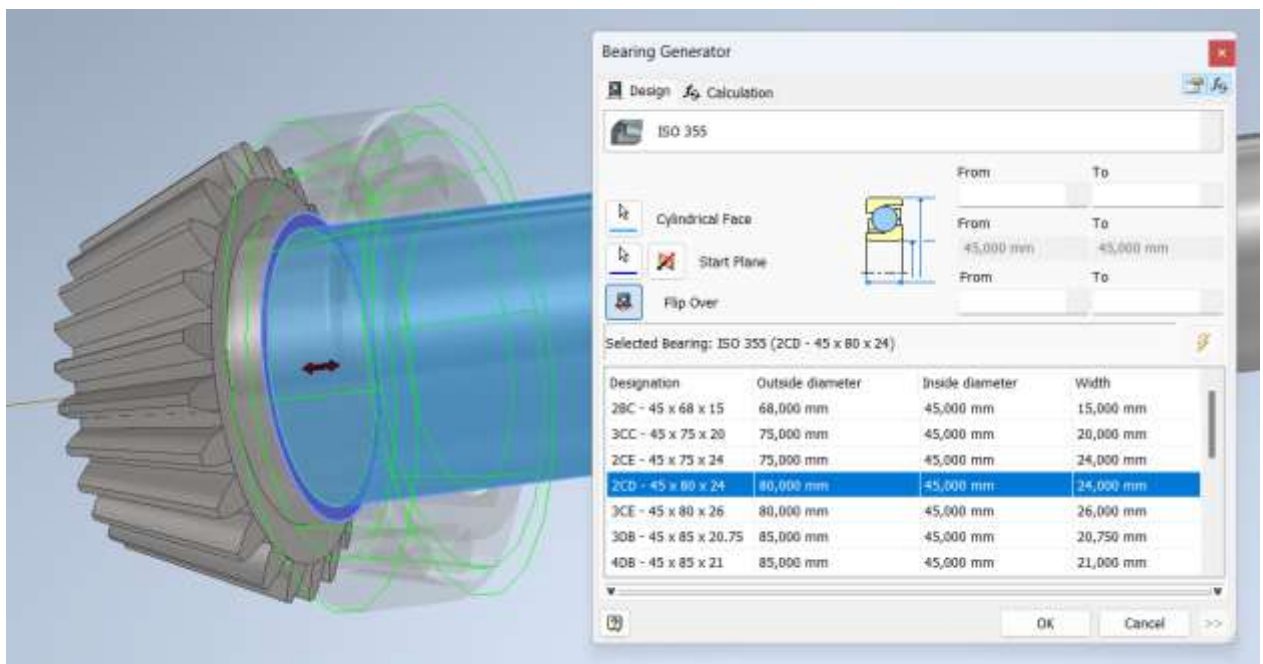


Рис. 2.32. Зміна орієнтації підшипника на валу

Користуванням стрілкою або введенням числового значення вказується точне розташування вибраних підшипників на ділянках вала.

Список підшипників також доступний на вкладці розрахунку. У нижній частині вкладки **Calculation** міститься список підшипників, які відповідають критеріям, заданим на вкладці **Design**.

При виборі одного підшипника на вкладку розрахунку переносяться значення цього підшипника. Другий підшипник генерується аналогічно першому й розміщується на відповідній відстані.

Перед вибором типу підшипника доцільно вибрати елементи посадкових поверхонь вала, на які буде встановлено підшипник.

Після вибору підшипників, виконання розрахунку й вказання місця розміщення їх на валу натиснути кнопку ОК й отримати графічне зображення збірки вала (рис. 2.33).

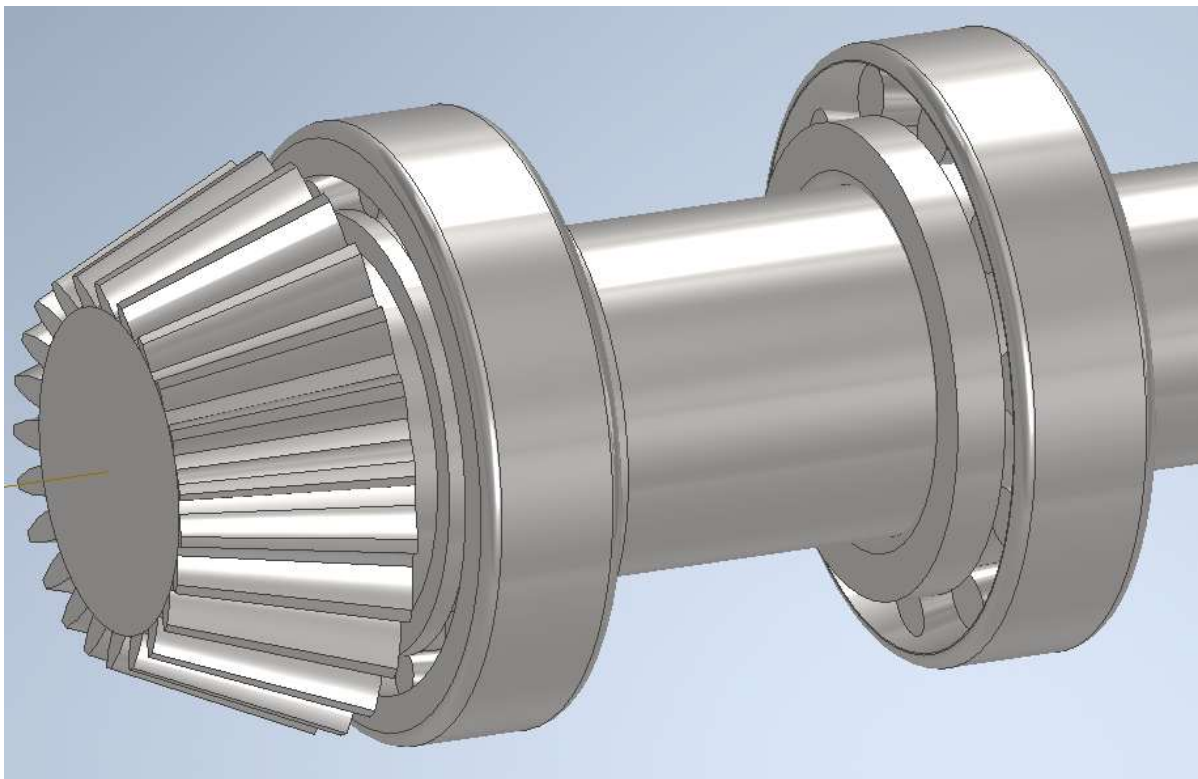


Рис. 2.33. Вал-шестірня з роликовими підшипниками

При розрахунку підшипників може бути задіяно декілька видів навантажень залежно від умов роботи підшипника. Проектування конічних і черв'ячних передач передбачає використання більш складних видів навантаження.

В залежності від типу підшипника він може сприймати тільки осьові чи радіальні навантаження або обидва одночасно. Тому для введення коректних відповідних навантажень у вкладці властивостей підшипників **Bearing Properties** (див. рис. 2.29) необхідно мати певні знання з курсу деталей машин.

Для визначення необхідних в розрахунку коефіцієнтів, урахування швидкості підшипників й їх змащення користуються довідковими даними з відповідних стандартів.

Якщо результати розрахунку підшипників вас не влаштовують (не достатній ресурс або недосконале змащення), вносяться відповідні коригування й повторюють розрахунок. Autodesk Inventor передбачає відповідний метод розрахунку підшипників з вбудованими формулами й передбачено нормативні значення терміну служби підшипника залежно від умов роботи.

Генератор підшипників в Autodesk Inventor значно спрощує процес вибору, вставки, розрахунку і аналізу підшипників у механічних системах. Його можливості дозволяють інженерам створювати точні і надійні моделі, оптимізувати конструкції і знижувати ймовірність помилок, що робить цей інструмент незамінним у сучасному машинобудуванні.



Контрольні питання

1. Які функції виконують генератори та калькулятори майстра проєктування?
2. В яких типах документів працюють генератори та калькулятори майстра проєктування?
3. Основні можливості генератора проєктування валів в Inventor.
4. Яким чином виконується базування валу при проєктуванні.
5. Назвіть основні типи елементів, які можна розташувати на ступенях вала.
6. Назвіть основні можливості генератора шпонкових з'єднань.
7. Опишіть процедуру створення моделі шпонкового з'єднання.
8. Відтворіть процедуру розрахунку шпонкового з'єднання.
9. Назвіть можливості генератора підшипників.
10. Способи розміщення підшипників на валу.

3. ПРОЄКТУВАННЯ ЦИЛІНДРИЧНИХ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС ЗАСОБАМИ ПАРАМЕТРИЧНОГО ПРОЄКТУВАННЯ В AUTODESK INVENTOR

3.1 Основні параметри зубчастих коліс

Зубчасте колесо або шестірня (рис. 3.1) - основна деталь зубчастої передачі у вигляді диска з зубцями на циліндричній або конічній поверхні, що входять в зачеплення з зубами іншого зубчастого колеса. У машинобудуванні прийнято мале зубчасте колесо з меншим числом зубів називати **шестірнею**, а більше - **колесом**. Однак часто всі зубчасті колеса називають шестернями. Зубчасті колеса зазвичай використовуються парами з різним числом зубів з метою перетворення обертового моменту і числа обертів валів на вході і виході. Колесо, до якого обертальний момент підводиться ззовні, називається ведучим, а колесо, з якого момент знімається - веденим. Якщо діаметр ведучого колеса менше, то обертальний момент веденого колеса збільшується шляхом пропорційного зменшення швидкості обертання, і навпаки. Згідно з передаточним відношенням, збільшення крутного моменту буде викликати пропорційне зменшення кутової швидкості обертання веденого колеса, а їх добуток - механічна потужність - залишиться незмінним. Дане співвідношення справедливе лише для ідеального випадку, не враховує втрати на тертя і інші ефекти, характерні для реальних пристроїв.

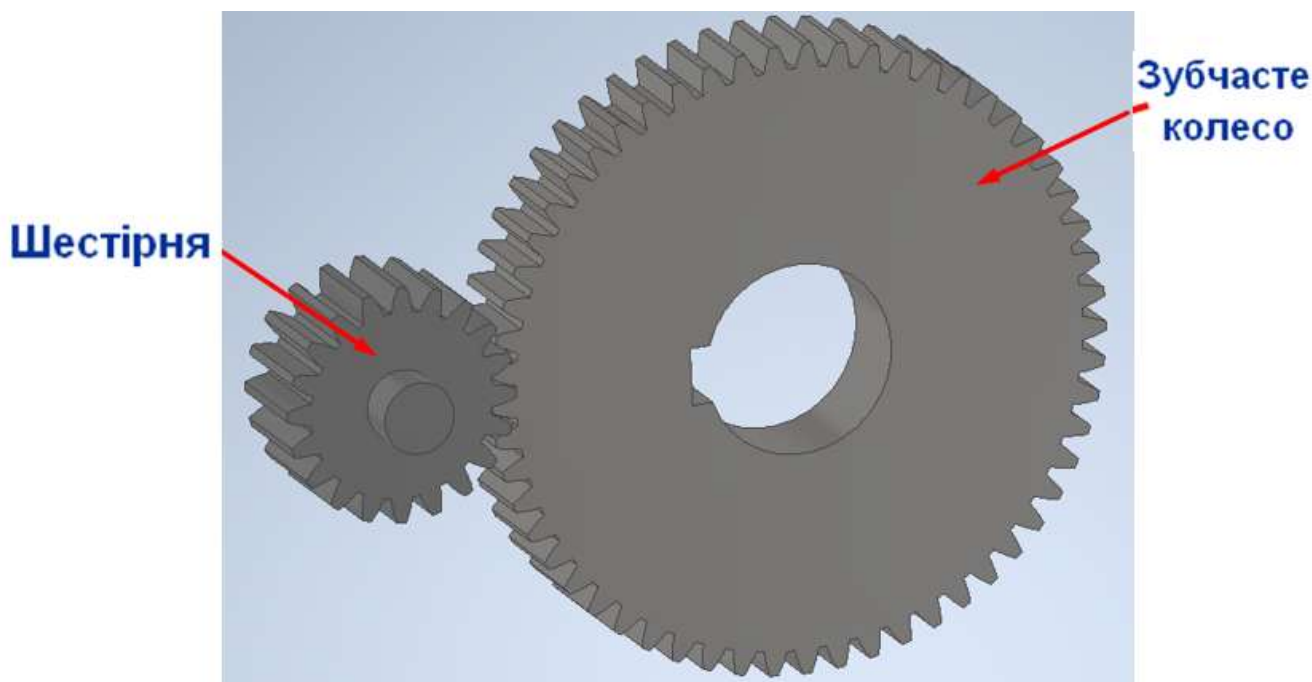


Рис. 3.1. Циліндрична зубчаста передача

Шестірню сучасного редуктора виготовляють, як правило, разом з валом при відповідних діаметрах вала і шестірні (рис. 3.2).

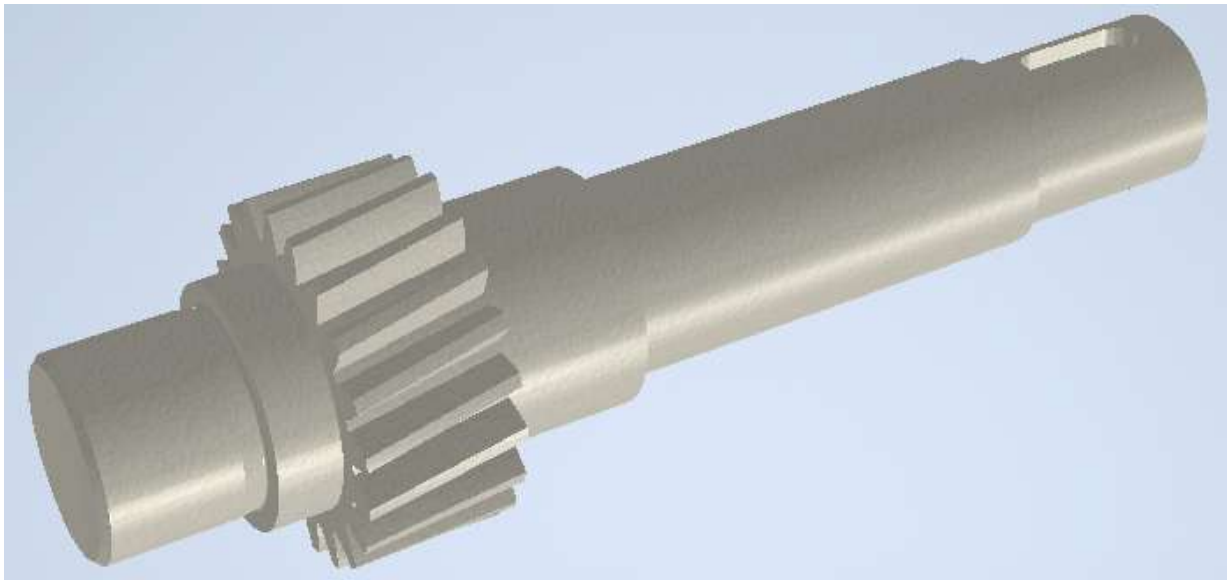


Рис. 3.2. Вал-шестірня з циліндричною шестірнею

Цілісна конструкція зменшує загальну вартість валу і шестерні, збільшує жорсткість валу, що сприятливо позначається на роботі зубчастого зачеплення, особливо при консольному розташуванні одного з коліс (рис. 3.3).

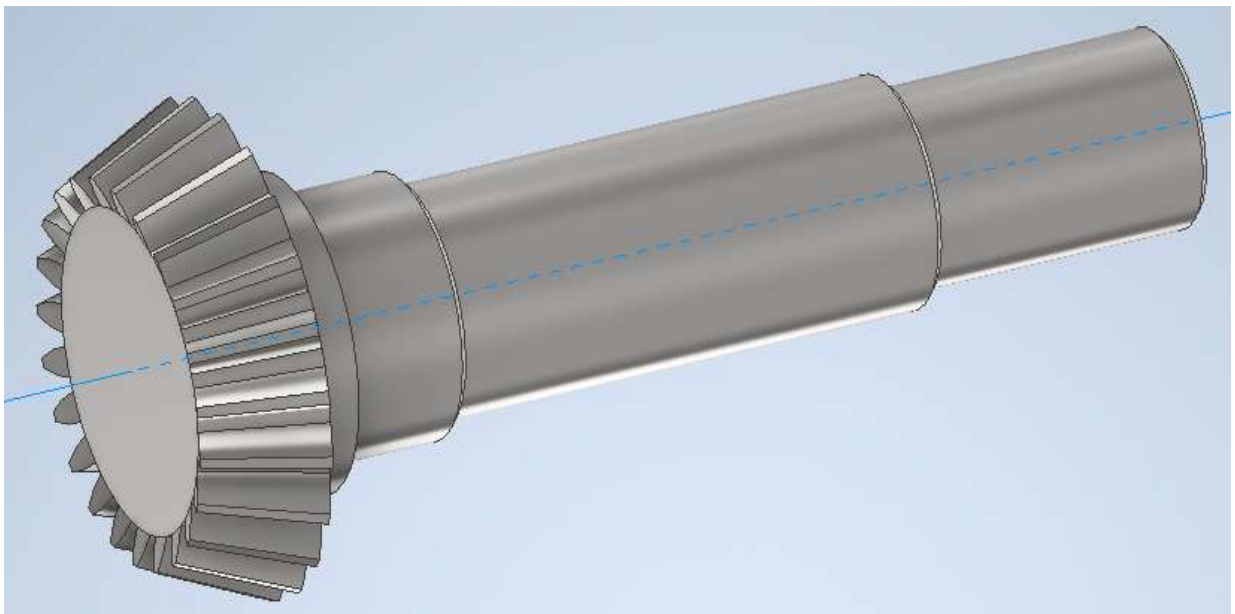


Рис. 3.3. Вал-шестірня конічної передачі

Шестірню виготовляють окремо від валу, якщо вона значно більша за вал по діаметру, або якщо це обумовлено якими-небудь спеціальними причинами (рис. 3.4). Однак існує умова обов'язкового виконання вала-шестірні:

$$X = 0,5 \cdot (d_{f1} - d) - t_1 \leq 2,5 \cdot m_t,$$

де d_{f1} – діаметр западин шестерні, мм;

m_t – торцевий модуль, мм.

Всі інші складові зрозумілі з рисунка 3.5.



Рис. 3.4. Шестірня циліндричної передачі

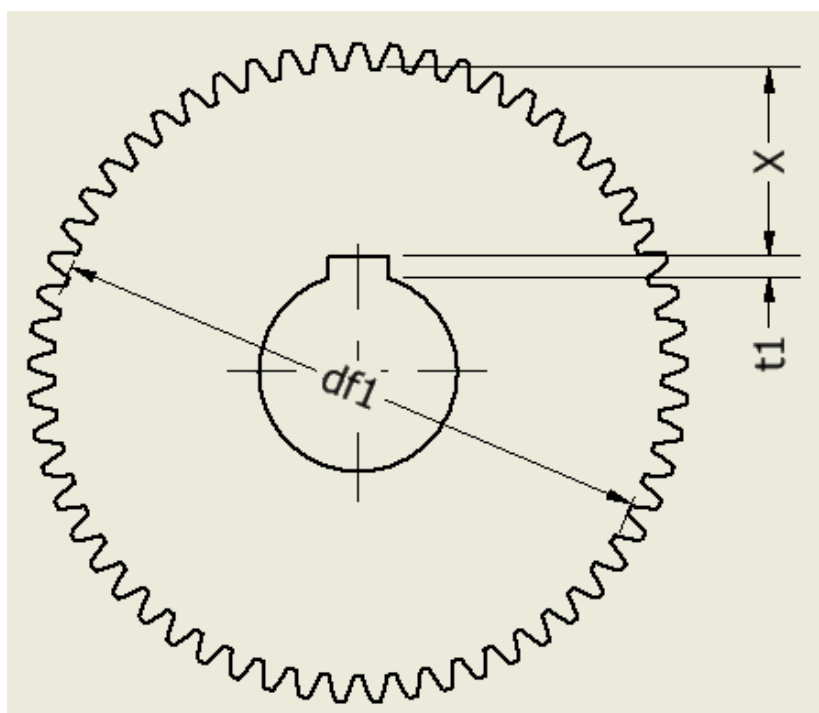


Рис. 3.5. Умова обов'язкового виконання вала-шестірні

Конструкція шестірні, що наведена на рисунках 3.4 та 3.5, застосовується при діаметрах $d_a < 80$ мм і виготовляється з круглого прокату, або поковок.

Конструкцію сталевого зубчастого колеса вибирають залежно від його діаметра, масштабів виробництва і конкретних умов заводу-виготовлювача. Тому не можна скласти жорсткі універсальні правила конструювання коліс. Однак є рекомендації і деякі усереднені співвідношення.

Форма зубчастого колеса може бути плоскою (рис. 3.5, рис. 3.6, а) або з маточиною, що виступає (рис. 3.6, б). Значно рідше (в одноступеневих

редукторах) колеса роблять з маточиною, яка виступає в обидві сторони.

На рисунку 3.6 показані найпростіші форми коліс, виготовлених в одиничному і дрібносерійному виробництві. При невеликих діаметрах коліс їх виготовляють із прутка, а при великих - заготівлі отримують вільним куванням з подальшою токарною обробкою. Для зменшення обсягу точної обробки різанням на дисках коліс виконують виточки глибиною 1...2 мм (рис. 3.6).

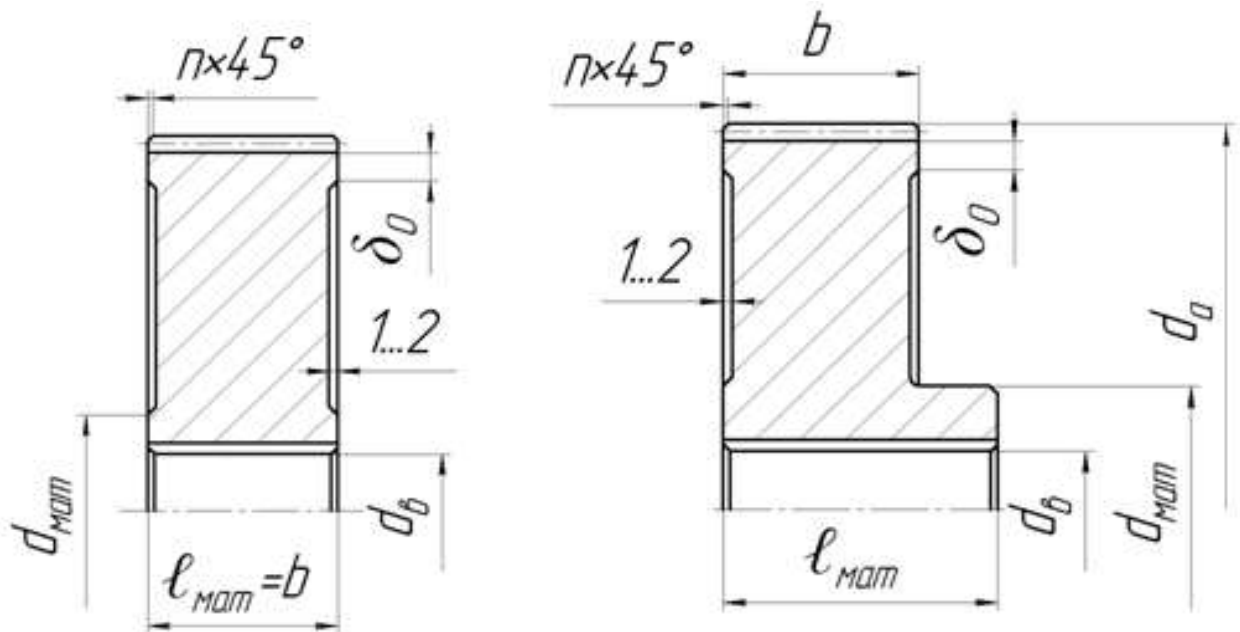


Рис. 3.6. Циліндричні зубчасті колеса з $d_a < 150$ мм

Довжину посадкового отвору колеса $l_{\text{мат}}$ бажано приймати рівною або більше ширини зубчастого вінця b ($l_{\text{мат}} \geq b$). Прийнятну довжину маточини слід узгодити з розрахунковою і з діаметром посадкового отвору. Зазвичай довжину маточини визначають за усередненим співвідношенням:

$$l_{\text{мат}} = (1,2 \dots 1,5) \cdot d_g \geq b,$$

де d_g – діаметр вала.

Діаметр маточини для сталевих зубчастих коліс визначають з наступного співвідношення:

$$d_{\text{мат}} = 1,6 \cdot d_g.$$

Колесо виконується з розташованим посередині диском товщиною близько третини ширини колеса. Основні розміри конструктивних елементів циліндричного зубчастого колеса з $d_a < 600$ мм виготовленого за допомогою вільного кування наведено на рисунку 3.7.

Товщину обода δ_0 (ширину торця зубчастого вінця) визначають із залежності:

$$\delta_0 = (2,5 \dots 4) \cdot m_n \geq 8 \dots 15,$$

де m_n – нормальний модуль.

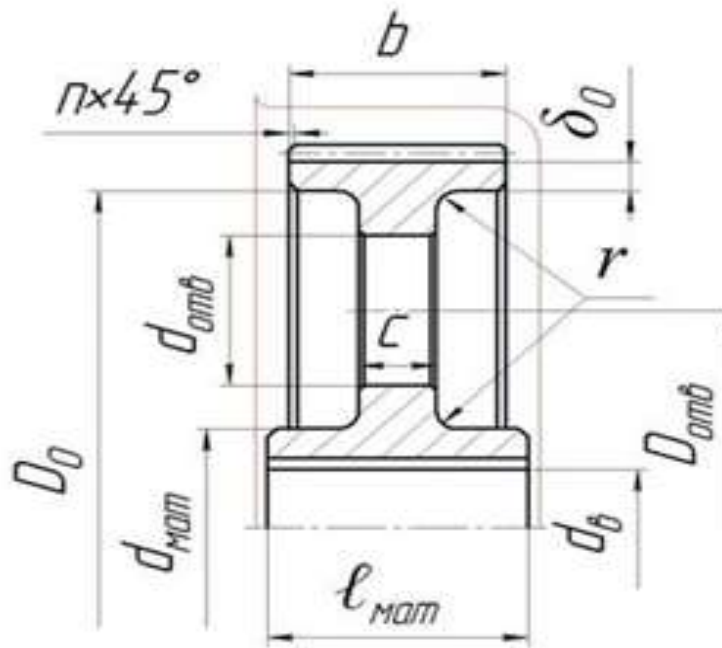


Рис. 3.7. Конструкція циліндричного зубчастого колеса з $d_a < 600$ мм

Товщину диска c визначають із залежності:

$$c \approx 0,3 \cdot b.$$

В дисках роблять 4... 6 отворів. Отвори служать для кріплення колеса при обробці заготівлі й дозволяють обробляти отвір під вал і зовнішню поверхню обода з однієї установки, а також використовуються при транспортуванні коліс. При великих розмірах отворів вони служать для зменшення маси коліс, у литих колесах - для виходу ливарних газів при виливку. Діаметр отворів $d_{отв}$ визначають із залежності:

$$d_{отв} \approx 0,25 \cdot (D_0 - d_{мат}),$$

де D_0 – діаметр обода:

$$D_0 = d_f - 2 \cdot \delta_0,$$

де d_f – діаметр западин зубчастого колеса.

Діаметр розташування отворів визначають із залежності:

$$D_{отв} = 0,5 \cdot (D_0 + d_{мат}).$$

На торцях зубчастого вінця виконують фаски розміром:

$$n = (0,5 \dots 0,7) \cdot m_n.$$

Фаски округляють до стандартного значення. На прямозубих зубчастих колесах фаску виконують під кутом 45° , на косозубих і шевронних колесах при твердості робочих поверхонь $HV \leq 350$ під кутом 45° , а при $HV \geq 350$ під кутом $15 \dots 20^\circ$. Гострі краї на торцях маточини, кутах обода також притупляють фасками, розміри яких приймають залежно від діаметра.

У середньо-, великосерійному і масовому виробництві при діаметрах до 600 мм колеса виготовляють переважно штампуванням. Штампування відрізняється високою продуктивністю і максимально наближає форму заготівлі до форми готового колеса.

Дефіцит часу, викликається зростанням обсягів розробок, а також підвищення рівня складності виробів, що проєктуються, спонукають конструкторів до пошуку все нових програмних засобів автоматизації різних етапів проєктної діяльності. Бажання кожного інженера - більше результатів при менших зусиллях - засноване на прагненні позбутися від монотонних, повторюваних дій і зосередитися на творчому процесі.

Створення тіл обертання - невіддільна частина проєктування механічних пристроїв. Нехай не найскладніша, але віднімає багато часу, причому неважливо, чи створюєте ви тривимірну модель або плоске креслення.

На сьогодні існують програмні продукти, призначені для тривимірного проєктування - це інтегровані системи моделювання тіл обертання. З їх допомогою можна:

- без значних зусиль створити прості ступені коліс (маточини) і побудувати на їх поверхнях різні конструктивні елементи (шліцьові і шпонкові ділянки, канавки, кільцеві пази і т.д.). Форма моделі може бути різною: циліндр, конус, шестигранник, квадрат, сфера;
- спроектувати і розрахувати елементи механічних передач;
- доповнити кресленники автоматично згенерованими видами і перерізами моделі, таблицями параметрів і виносними елементами зубчастих передач;
- виконати геометричні розрахунки та розрахунки на міцність і довговічність зубчастих передач.

За допомогою систем Autodesk розрахунок параметрів і створення моделей стануть етапами автоматизованого проєктування. Потрібно лише викликати потрібні команди, ввести вихідні дані і запустити завдання на виконання.

По закінченні розрахунку конструктор отримає відомості про якість зачеплення. Якщо всі параметри в нормі, вже на цьому етапі можна створити модель. Але можна продовжити розрахунок і перевірити проєктовану передачу на міцність і довговічність.

3.2 Проєктування коліс циліндричних зубчастих передач в *Spur Gears Component Generator*

Розробка власного проєкту автоматизованим способом на основі стандартів, що дозволяє заощаджувати на екстенсивному моделюванні вузла і деталей, виконується в **Autodesk Inventor**.

Для виконання цього завдання необхідно мати результати розрахунку зубчастої передачі, виконаного раніше, а саме: модуль; кількість зубців для кожного колеса; ширину зубчастих вінців; значення силових факторів, що діють в передачі; результати моделювання валів, виконані раніше.

Також по діаметрам валів вибираються підшипники.

Генератори Майстра проектування відкриваються в останньому допустимому стані, в якому компонент був вставлений в вузол Autodesk Inventor.

Відкриття файлу проекту і запуск генератора здійснюється таким чином:

1. Вибрати як активний СВІЙ проєкт.
2. Відкрити файл проєкту (...iam).
3. На стрічці натиснути вкладку **Design** > **Spur Gears**.

Запущений генератор компонентів зубчастих зачеплень **Spur Gears Component Generator** відкривається на вкладці **Design**. Вводяться відповідні параметри, задаються розташування циліндричних зубчастих коліс і вибираються методи розрахунку (рис. 3.8).

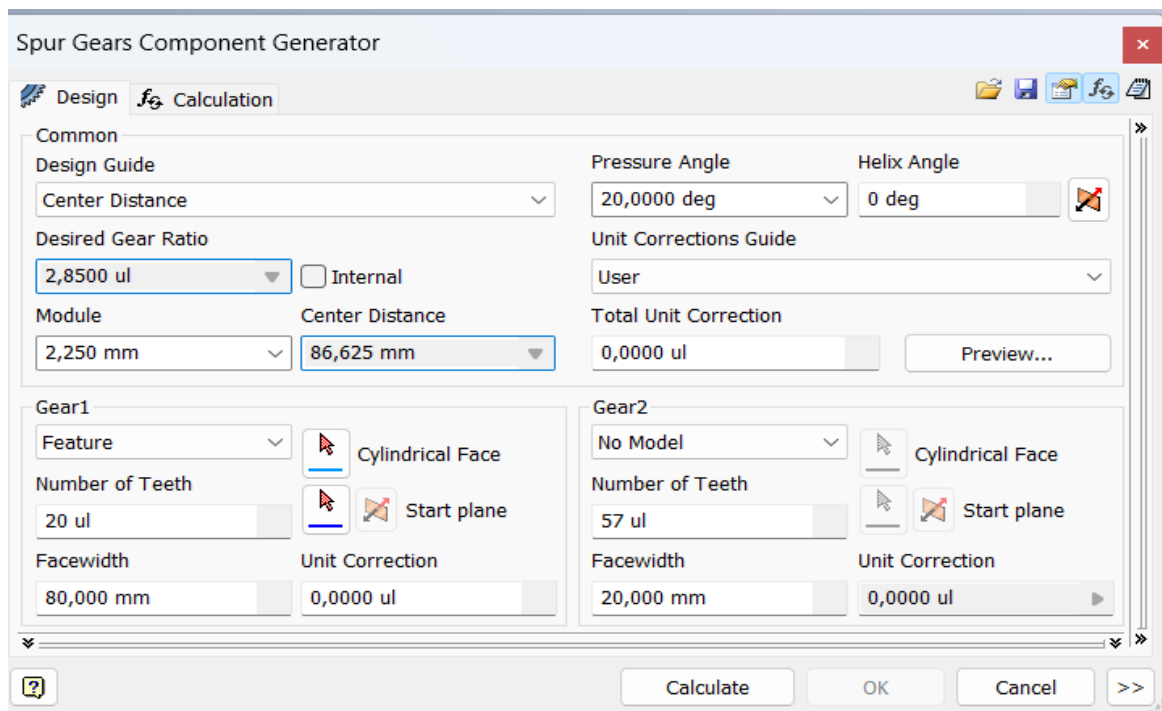


Рис. 3.8. Діалогове вікно **Spur Gears Component Generator**

Вкладка **Design** поділена на декілька груп вкладень, в яких можна задати різні параметри.

Common. У цій області містяться параметри, спільні для обох зубчастих коліс, наприклад модуль або кут нахилу зубця.

У меню **Design Guide** (Вибір моделі) наведені п'ять можливих варіантів моделей і розрахунків (рис. 3.9):

- Module and Number of Teeth – розрахунок модуля і кількості зубів;
- Number of Teeth – розрахунок кількості зубів;
- Center Distance – розрахунок міжосьової відстані;
- Total Unit Correction – використовується для розрахунку сумарного коефіцієнта зміщення;
- Module – використовується для розрахунку модуля.

Для кожного методу потрібно вказати свої параметри, які можуть розрізнятися для зубчастих коліс, наприклад, число зубців або ширина колеса. Крім того, тут розташовані кнопки для визначення розташування цих двох коліс.

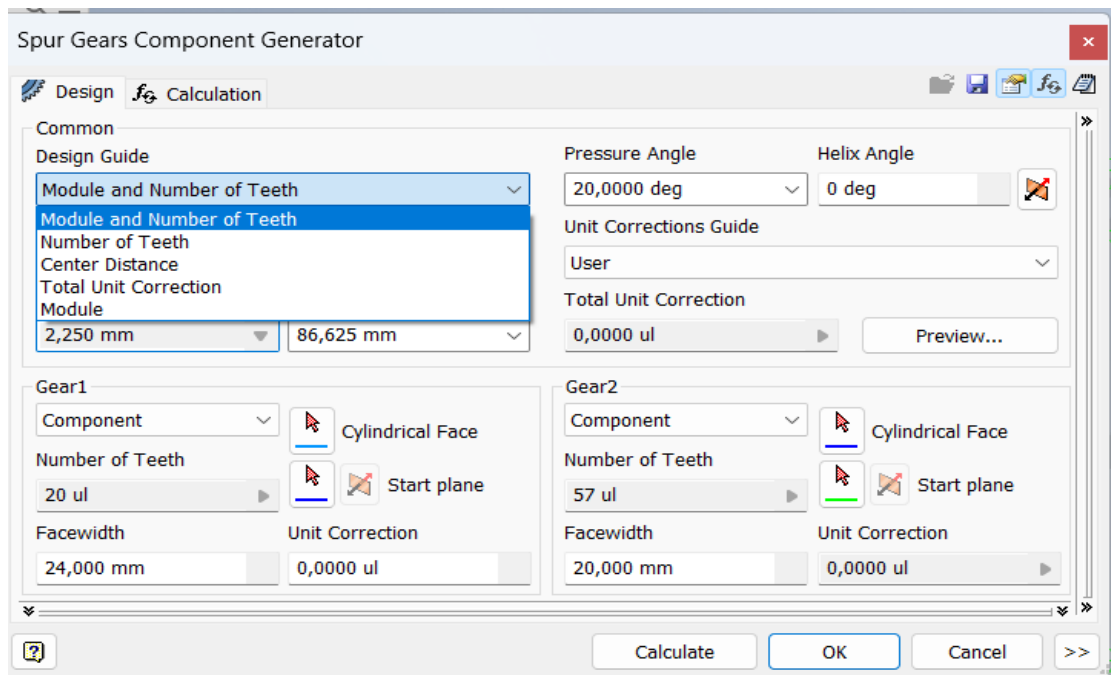


Рис. 3.9. Вибір моделі **Module and Number of Teeth**

Доступність полів редагування на вкладці **Design** залежить від значення, вказаного в полі вибору моделі. Для кожного методу потрібно вказувати свої параметри. За допомогою меню, що розкривається, вибирається тип колеса, що вставляється: компонент, елемент моделі, або без зазначення типу. Тобто можна вести розрахунок й без графічного зображення того чи іншого елемента зубчастого зачеплення. Розміри коліс **Gear 1** (Зубчасте колесо 1) й **Gear 2** (Зубчасте колесо 2) та зображення їх зачеплення між собою та з інструментальною рейкою доступні після натиснення кнопки перегляду **Preview** (рис. 3.10).

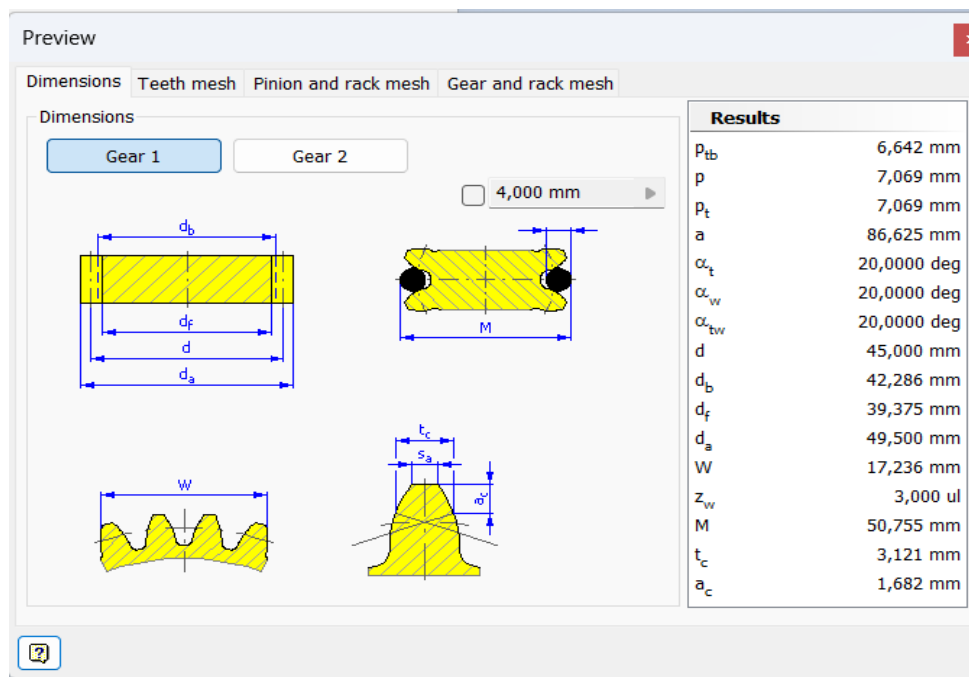


Рис. 3.10. Діалогове вікно перегляду розмірів зубчастих коліс

Додаткові параметри

При натисненні в правому нижньому кутку вкладки кнопки додаткових параметрів **More options** відкриється область з іншими параметрами проєктування зубчастих зачеплень. Наприклад, при виборі **Input Type** (Вхідний тип) значення **Number of Teeth** (Кількість зубців) кількість зубців є заданим значенням (рис. 3.11). Після виконання розрахунку будуть доступні результати отриманої зубчастої передачі.

The dialog box 'More options' contains the following settings:

- Input Type:** ☒ Number of Teeth
- Size Type:** ☒ Module
- Reaching Center Distance:** ☒ Teeth Correction
- Unit Tooth Sizes:**
 - Gear 1:** Addendum a^* = 1,0000 ul; Clearance c^* = 0,2500 ul; Root Fillet r_f^* = 0,3500 ul
 - Gear 2:** Addendum = 1,0000 ul; Clearance = 0,2500 ul; Root Fillet = 0,3500 ul

Рис. 3.11. Перегляд додаткових параметрів

Для перегляду панелі результатів **Results** зі списком обчислених значень натиснути двічі подвійною лінією справа або один раз кутовою дужкою. Позначені сірим значення відповідають результатам, які не збігаються зі значеннями, введеними на вкладці проєкту (рис. 3.12). Для отримання результатів розрахунку введених значень натиснути кнопку **Calculation**.

The 'Spur Gears Component Generator' window shows the following data:

Method of Strength Calculation: ISO 6336:1996

Loads:

	Gear 1	Gear 2
Power P	1,000 kW	0,980 kW
Speed n	1000,00 rpm	350,88 rpm
Torque T	9,549 N m	26,671 N m
Efficiency η	0,980 ul	

Material Values:

	Gear 1	Gear 2
Bending Fatigue Limit σ_{Flim}	352,0 MPa	352,0 MPa
Contact Fatigue Limit σ_{Hlim}	1140,0 MPa	1140,0 MPa
Modulus of Elasticity E	206000 MPa	206000 MPa
Poisson's Ratio μ	0,300 ul	0,300 ul
Heat Treatment	2 ul	2 ul

Required Life: L_h = 10000 hr

Results:

Gear 1	
F_t	424,413 N
F_r	154,474 N
F_a	0,000 N
F_{rt}	451,651 N
V	2,356 mps
n_{Et}	27545,679 rpm
Gear 2	
S_H	1,569 ul
S_F	5,900 ul
S_{Hst}	1,419 ul
S_{Fst}	12,355 ul

Рис. 3.12. Перегляд результатів розрахунку

3.3 Вибір параметрів циліндричних зубчастих зачеплень

Загальний алгоритм вибору й введення параметрів для проєктування зубчастих передач:

1. В області **Common** на вкладці **Design** вибрати в меню, що розкривається, **Design Guide** (Вибір моделі) параметр **Module** (Модуль). Від вибору цього параметра залежить модель, що використовується, і метод розрахунку. У даному прикладі використовуватиметься параметр **Module**.

2. Для визначення додаткових параметрів зубчастих коліс натиснути кнопку **More options**, розташовану в правому нижньому кутку вкладки **Spur Gears Component Generator**.

3. У групі полів **Size Type** (Тип розміру) вибрати значення **Module**.

При проєктуванні зубчастих зачеплень в метричній збірці параметр **Module** вибирається генератором за умовчанням. У разі проєктування зубчастих передач з використанням англійських одиниць виміру в генераторі вибирається параметр **Diametral Pitch** (Діаметральний крок).

4. В області **Input Type** (Вхідний тип) вибрати параметр **Number of Teeth**. Тоді як параметр введення використовуватиметься кількість зубців.

5. В описі цієї роботи наведені відомості щодо вставки одного елемента й одного компонента. Якщо у групі полів **Gear 1** вибрати в меню, що розкривається, значення **Feature** (Елемент), перше зубчасте колесо буде вставлене в вузол як елемент валу.

6. У групі полів **Gear 2** вибрати в меню, що розкривається, значення **Component** (Компонент). Друге зубчасте колесо буде вставлене як нова деталь.

Також для вставки обчислення без компонента або елемента можна вибрати параметр **No Model** (Немає моделі).

7. У полі **Pressure Angle** (Кут зачеплення) вказується значення 20 градусів - стандартний кут зачеплення.

8. У полі **Helix Angle** (Кут нахилу зубця) вказується значення, обчислене при розрахунках. При розрахунку прямозубого зачеплення цей кут дорівнює нулю.

Для решти кроків необхідно так само ввести значення, обчислені раніше.

9. Ввести правильну кількість зубців. Модель зубчастого колеса будуватиметься на основі цих відомих параметрів. У редагованому полі **Number of Teeth** в області **Gear 1** вказується розраховане значення.

10. У редагованому полі **Number of Teeth** в області **Gear 2** вказується розраховане значення.

11. Для зубчастих коліс 1 і 2 в полі **Facewidth** (Ширина грані) вказуються розраховані значення ширини коліс.

12. У області **Gear 1** вказується в полі **Unit Correction** (Коефіцієнт зміщення) значення 0, якщо передача не корегована.

3.4 Виконання розрахунку

Для виконання розрахунку натисніть кнопку **Calculation**. Область попереднього перегляду оновиться, а в області коротких відомостей про повідомлення з'явиться повідомлення про успішне виконання розрахунку (рис. 3.13). При невиконанні умов розрахунку повідомлення буде висвітлене червоним кольором. В такому випадку слід виконати коригування введених значень і знов виконати розрахунок.

Для відкриття області коротких відомостей про повідомлення, розташованої в нижній частині вкладок **Design** і **Calculation**, треба двічі клацнути в нижній частині вкладок подвійну лінію або один раз – кутову дужку.

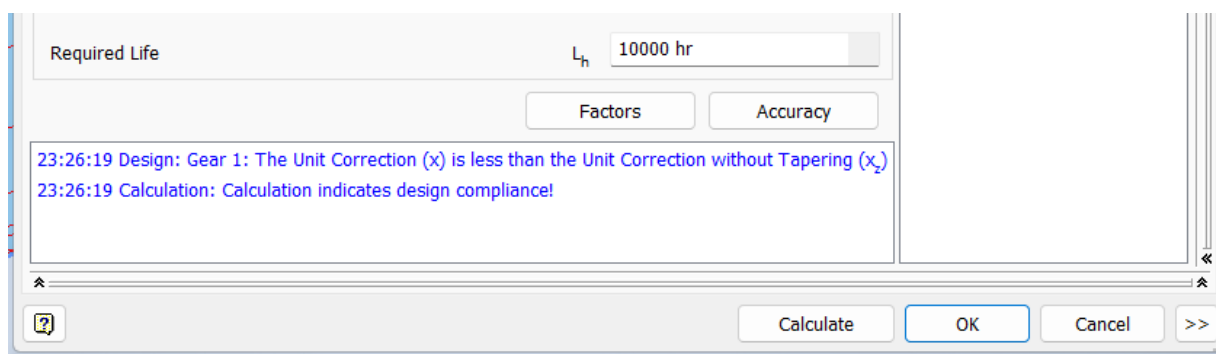


Рис. 3.13. Повідомлення про успішне виконання розрахунку

3.5 Розміщення циліндричного зубчастого колеса

Для визначення розміщення зубчастого колеса 1 натиснути в групі полів **Gear 1** кнопку **Cylindrical Face** (Циліндрична грань). У графічному вікні вибрати циліндричну грань (рис. 3.14). Діаметр перетину валу повинен бути більшим або рівним зовнішньому діаметру зубчастого колеса інакше колесо не буде згенеровано.

Для визначення у вузлі початкової площини вибрати команду **Start plane** (Початкова площина). У графічному вікні вибрати початкову площину, як показано на рис. 3.15. При необхідності розташування колеса на відповідній відстані від початкової площини можна скористатися стрілками й ввести точне значення відстані з клавіатури.

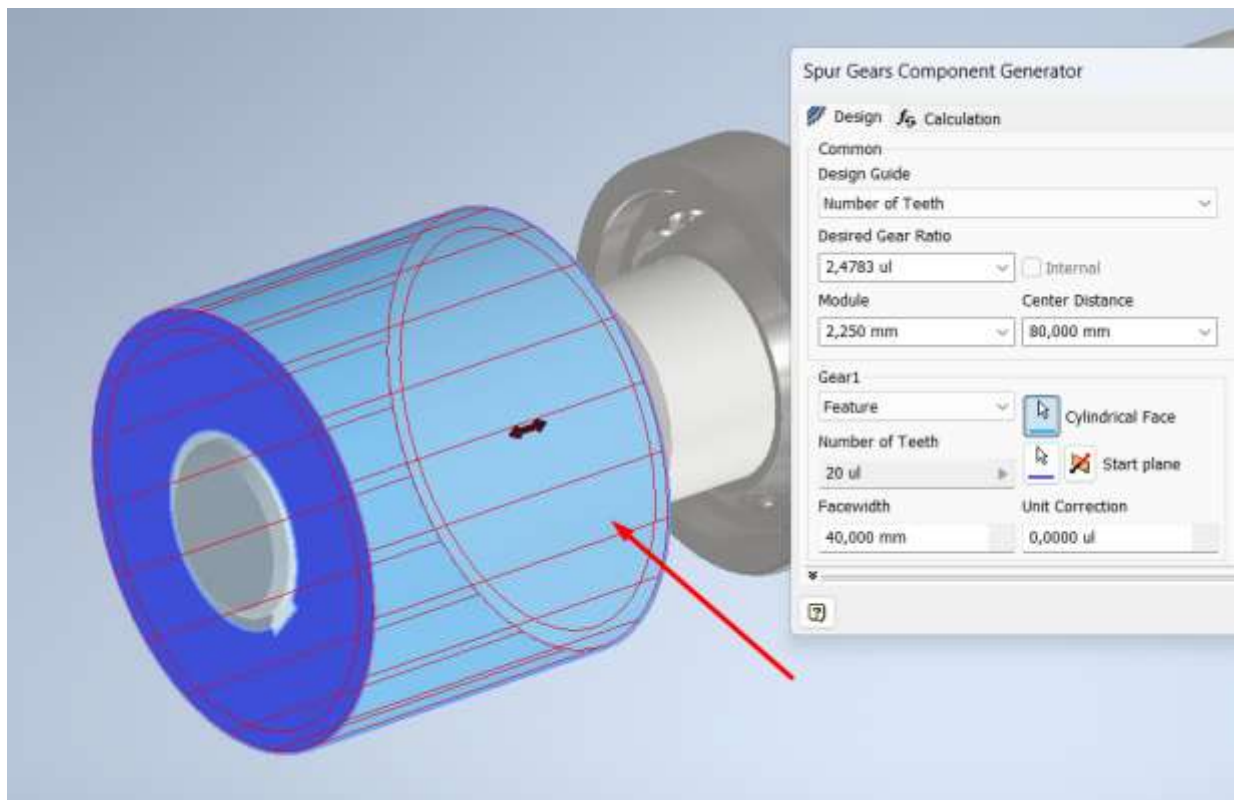


Рис. 3.14. Вибір циліндричної грані

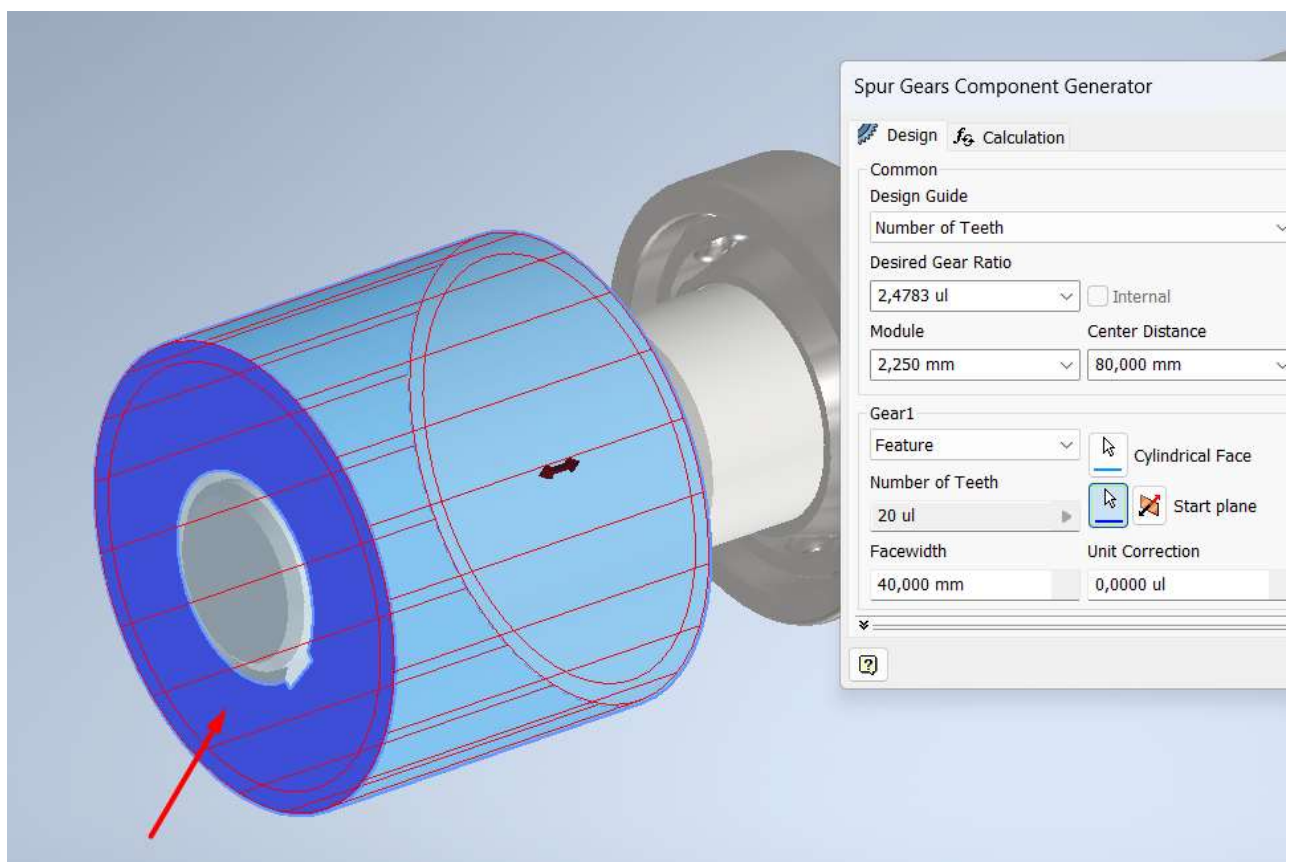


Рис. 3.15. Вибір початкової площини

У вікні попереднього перегляду зубчасте колесо показано в заданому положенні (рис. 3.16).

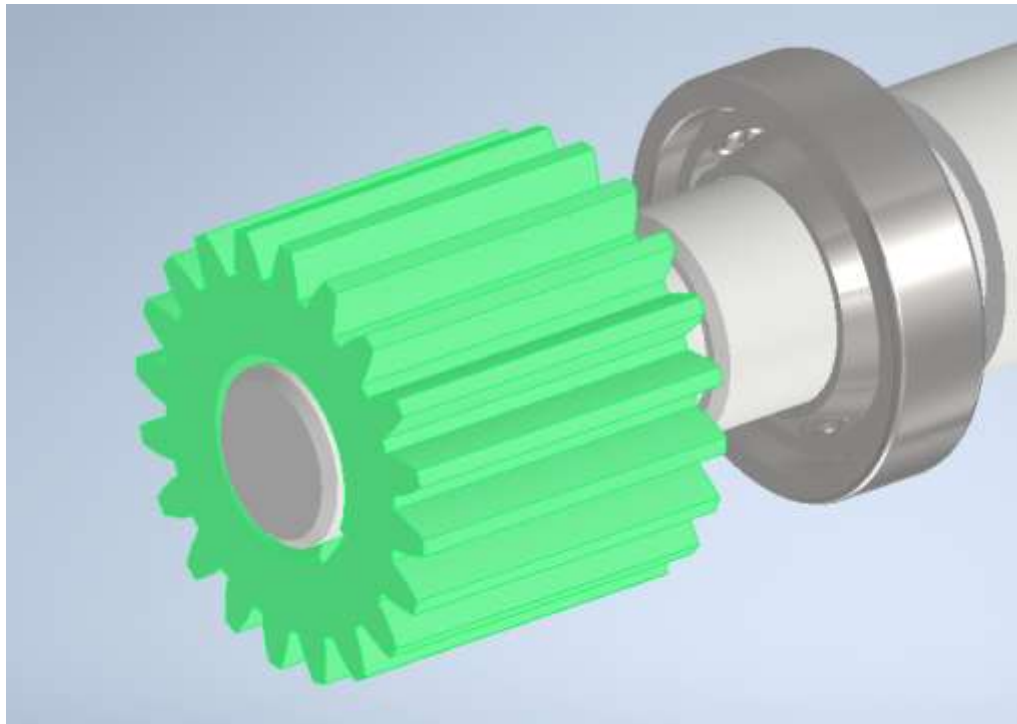


Рис. 3.16. Побудоване зубчасте колесо

Розміщення другого зубчастого колеса виконується аналогічно.

1. У групі полів **Gear 2** натиснути кнопку **Cylindrical Face**.
2. Вибрати циліндричну грань в графічному вікні, щоб розмістити друге зубчасте колесо.
3. Для визначення у вузлі початкової площини вибрати команду **Start plane**.
4. У графічному вікні вибрати початкову площину. Зубчасте колесо 2 буде розміщено в заданому положенні.

Для вставки у вузол зачеплення із зубчастими колесами вибираються відповідні площини й вказуються відстані розташування елементів. При натисканні кнопки **ОК** обидва колеса будуть відображені у збірці.

Після додавання всіх деталей і вузлів у збірку у графічному вікні відобразиться вся збірка, побудована з урахуванням всіх введених значень. Для кращого перегляду і уявлення конструктивних елементів складових збірки деякі моделі представляються у розрізаному вигляді.

У курсовому проектуванні з деталей машин розглядаються приклади проектування приводів загального призначення з двоступеневим зубчастим циліндричним редуктором. При першому знайомстві з редуктором виникають певні складнощі з уявленням його конструкції, тому буде доцільним зображення його моделі при знятій кришці й розрізами деяких деталей (рис. 3.17).

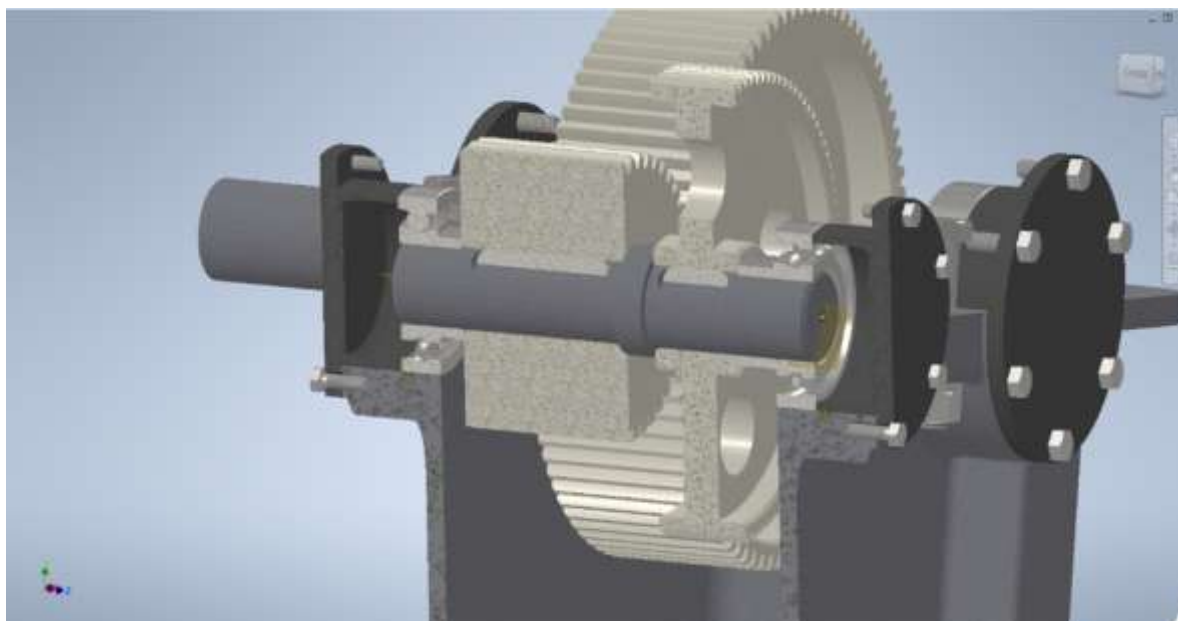


Рис. 3.17 Встановлені в вузол зубчасті колеса

Формування файлу з результатами розрахунків

Результати розрахунків зубчастої передачі можуть бути збережені у вигляді окремого файлу. Формування файлу здійснюється натисканням кнопки **Results** у правому горішньому куті вікна майстра проектування. Натиснувши кнопку **Results**, отримуємо **Spur Gears Component Generator** (рис. 3.19)

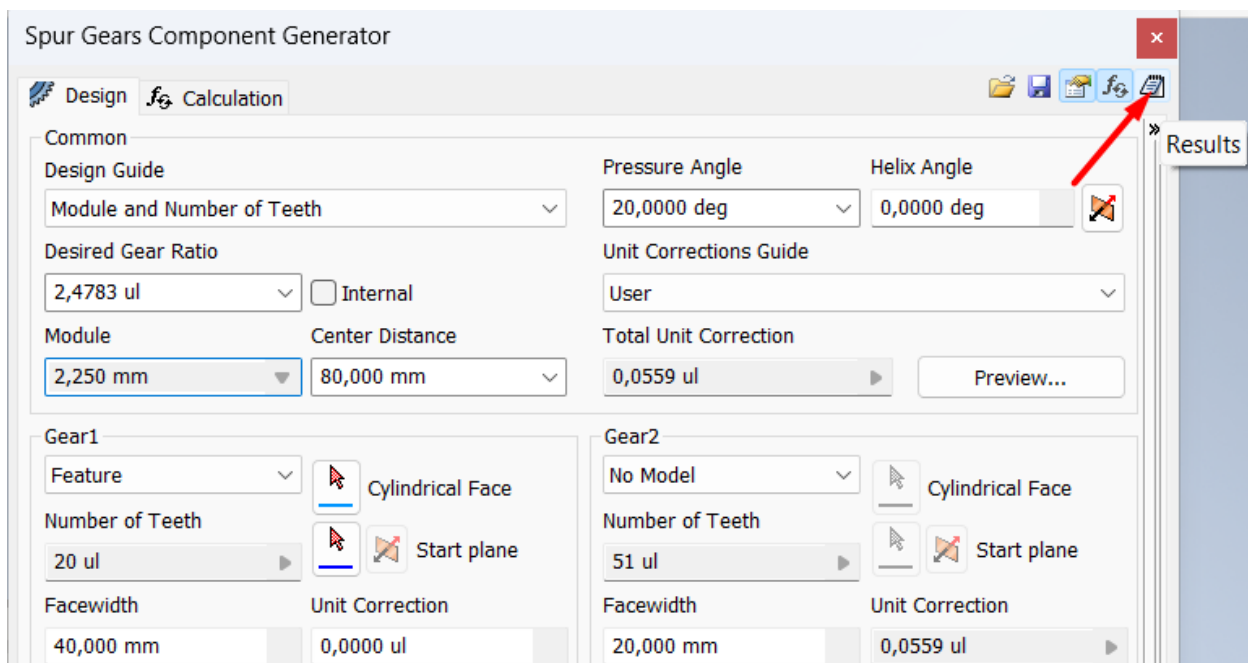


Рис. 3.18. Формування файлу з результатами розрахунків

Результати розрахунку подаються у форматі *.htm і можуть бути збережені також у форматах *.mht та *.txt. (рис. 3.20).

Натиснення кнопки **ОК** призводить до завершення роботи майстра проектування. Для іменування файлів відкриється діалогове вікно **File Naming**. Це діалогове вікно може бути відкрите також натисненням кнопки **File Naming** у правому горішньому куті вікна майстра проектування. При цьому робота майстра проектування не припиняється.

Spur Gears Component Generator (Version: 2024 (Build 280153000, 153))		
26.05.2024		
▣ Project Info (iProperties)		
▣ Guide		
Design Guide - Module and Number of Teeth		
Unit Corrections Guide - User		
Type of Load Calculation - Torque calculation for the specified power and speed		
Type of Strength Calculation - Check Calculation		
Method of Strength Calculation - ISO 6336:1996		
▣ Common Parameters		
Gear Ratio	i	2,8500 ul
Desired Gear Ratio	i_{in}	2,8500 ul
Module	m	2,250 mm
Helix Angle	β	0,0000 deg
Pressure Angle	α	20,0000 deg
Center Distance	a_w	86,625 mm
Product Center Distance	a	86,625 mm
Total Unit Correction	Σx	0,0000 ul
Circular Pitch	p	7,069 mm
Base Circular Pitch	p_{tb}	6,642 mm
Operating Pressure Angle	α_w	20,0000 deg
Contact Ratio	ϵ	1,6667 ul
Limit Deviation of Axis Parallelity	f_x	0,0110 mm
Limit Deviation of Axis Parallelity	f_y	0,0055 mm
▣ Gears		
	Gear 1	Gear 2
Type of model	Component	Component

Рис. 3.19. Результати розрахунку у форматі *.htm

У діалоговому вікні **File Naming** для компонентів і елементів Майстра проектування можна вказати значення ім'я, що відображається, **Display name** та ім'я файлу **File name**. Якщо встановлений прапорець запитування ім'я файлу **Always prompt for filename**, при кожній вставці компонента або елемента Майстра проектування відображатиметься діалогове вікно (рис. 3.20).

Нові деталі або збірки можна створювати під час роботи в існуючій збірці. Під час створення деталі за місцем результату аналогічний результату при вставці раніше створеного файлу деталі. Можна створити ескіз на межі компонента збирання (або робочої поверхні збирання) і включити геометрію з інших компонентів збірки в ескізи елементів. Після виклику команди "Створити" та вибору площини побудови ескізу активізується середовище моделювання деталей.

Для побудови додаткових елементів коліс використовуються загальні принципи моделювання, які притаманні прикладним програмам.

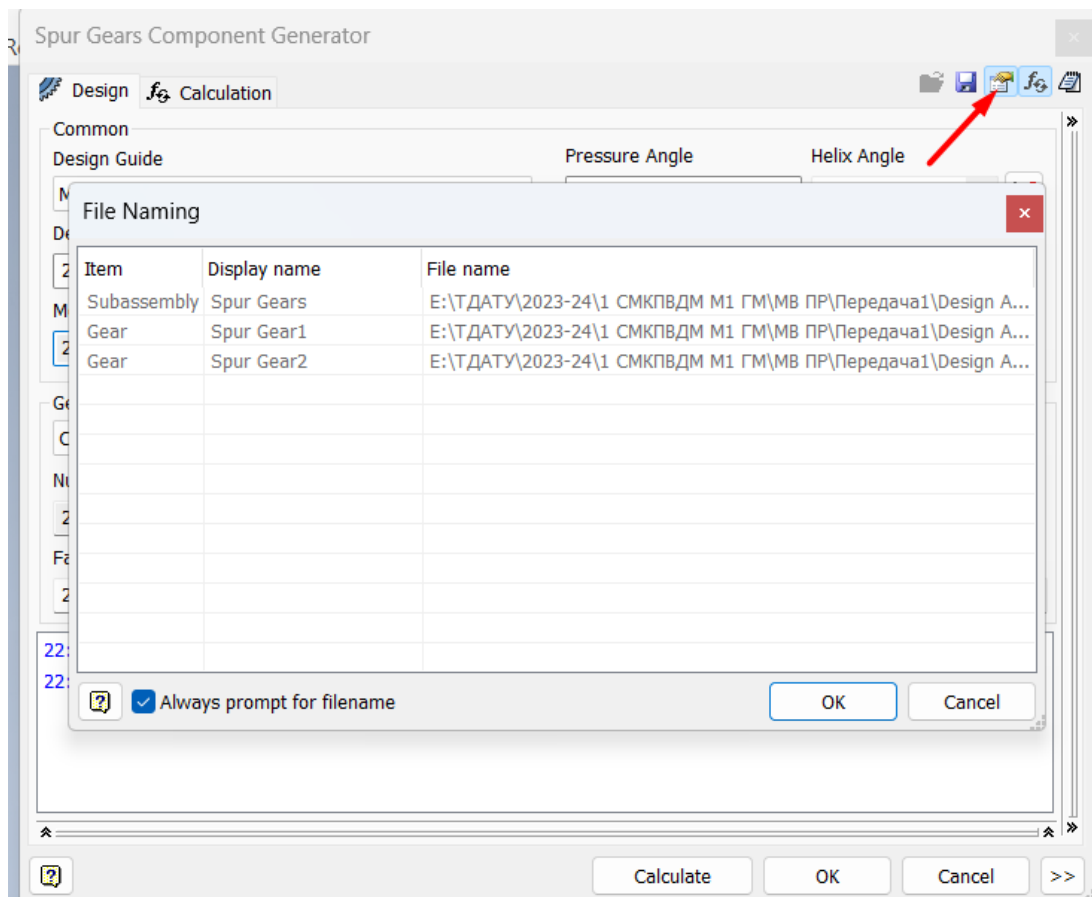


Рис. 3.20. Діалогове вікно **File Naming**

Додаткові параметри вала-шестірні (3.21):

- діаметр вала;
- довжина ділянок вала;
- перехідні ділянки;
- виточки на дисках.

Додаткові параметри колеса (3.22):

- діаметр отвору зубчастого колеса під вал;
- товщина диска;
- діаметр маточини;
- довжина маточини;
- діаметр отворів у диску;
- діаметр розташування отворів;
- перехідні ділянки.

При проєктуванні циліндричної зубчастої шестірні можливе виконання вала-шестірні. В такому разі у нас буде одна деталь. При проєктуванні зубчастого колеса потрібно виконання збірки, тобто шпонкове з'єднання.

Побудова отворів під шпонковий паз на валу й на маточині колеса можливе двома способами:

- побудовою ескізу й вирізанням паза (загальний спосіб моделювання);
- генерацією шпонкового з'єднання без вставлення шпонки.

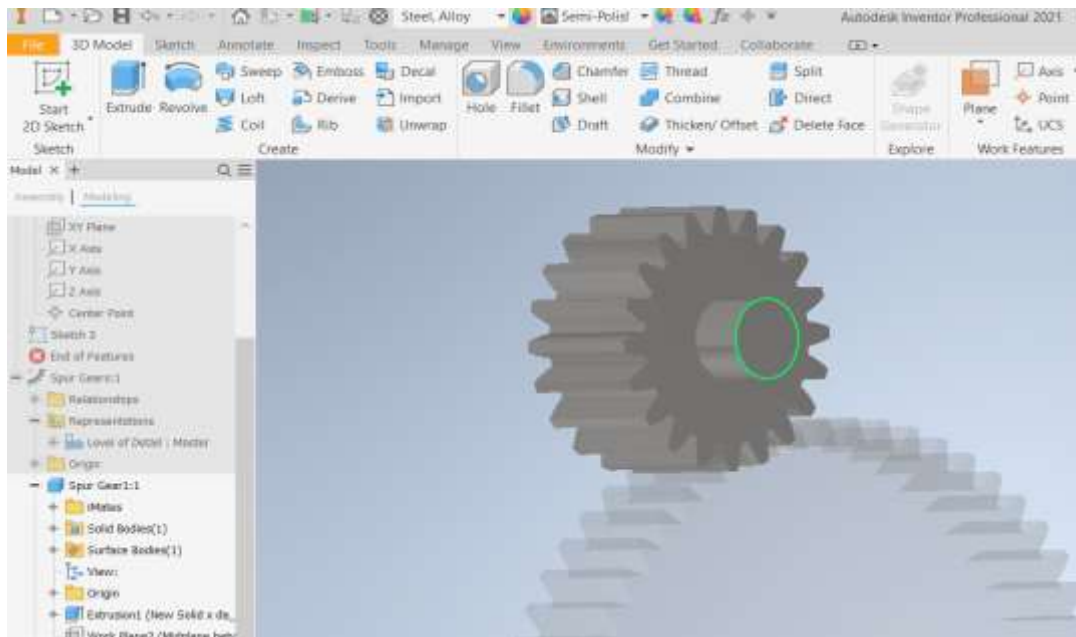


Рис. 3.21. Побудова додаткових елементів **Gear 1**

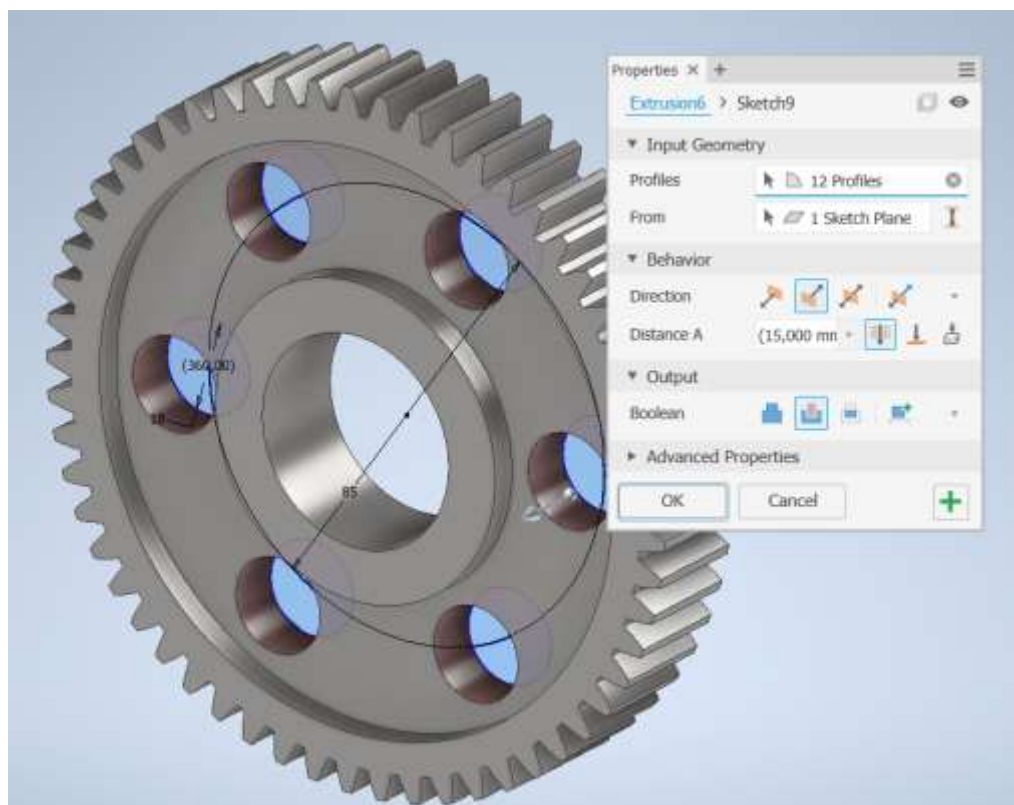


Рис. 3.22. Побудова додаткових елементів **Gear 2**

При користуванні загальними способами моделювання потрібно знати розміри шпонкового паза вала й маточини колеса. Треба мати довідкові дані певного стандарту, за яким виконується шпонкове з'єднання (рис. 3.23). Це не завжди зручно й доречно.

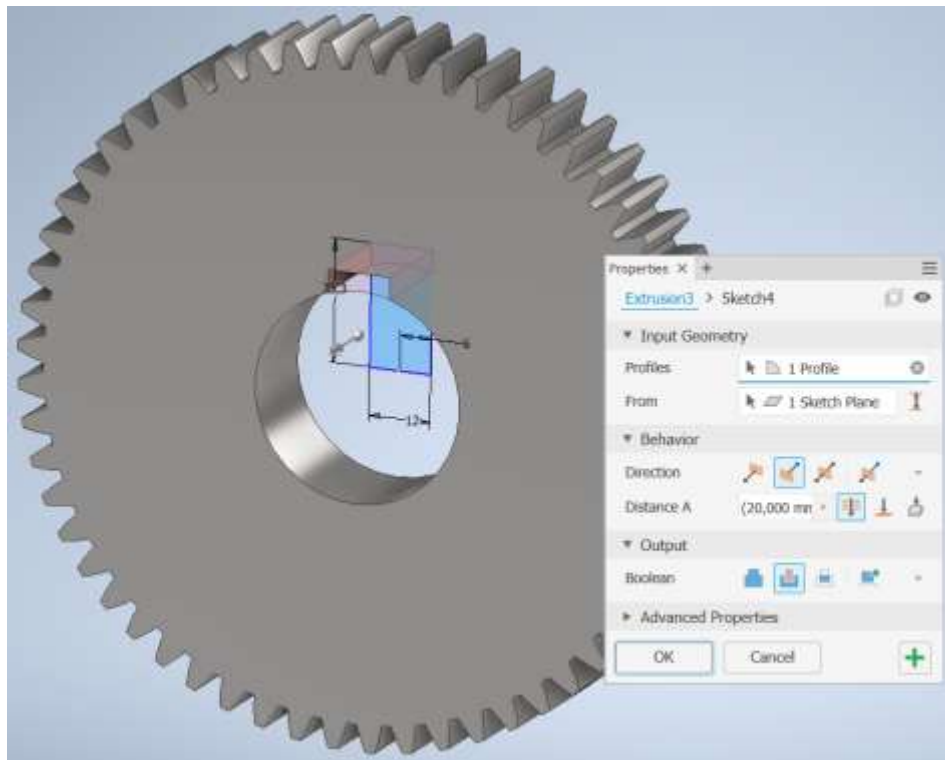


Рис. 3.23. Побудова шпонкового паза на колесі за допомогою операції **Extrude**

Генератор шпонкового з'єднання автоматизує процес створення шпонкових пазів, що значно зменшує час, необхідний для проєктування таких елементів. Не потрібно вручну задавати кожен параметр, що економить час і зусилля. Генератор містить бібліотеки стандартних шпонкових пазів, які відповідають міжнародним стандартам (наприклад, ISO, DIN). Це гарантує, що створені елементи відповідають промисловим стандартам і вимогам.

Для генерації шпонкового з'єднання створюється збірка вала з циліндричним колесом. Одночасно виконується й розрахунок шпонкового з'єднання. Програма сама визначає розміри шпонки й пазів на валу та маточині в залежності від вибраного стандарту.

Після введення діаметра валу вибирається відповідна шпонка, а також найменша довжина, при якій вона може витримати необхідне навантаження. За довжиною шпонки призначається довжина маточини колеса.

Вибирається шпонка для вставлення. Визначаються межі валу, на яких необхідно розмістити паз. Відповідно до діаметра валу задаються параметри шпонки. Визначається розміщення канавки маточини. В області **Select Objects to Generate** обираються об'єкти для вставки. Усі параметри вибрано за замовчуванням. Для зміни довжини і розміщення шпонки можна використовувати стрілки (рис. 3.24).

При необхідності отримання моделі тільки колеса з шпонковим пазом, його можна відкрити у іншому файлі приховати ті елементи, які не потребують або графічного уявлення.

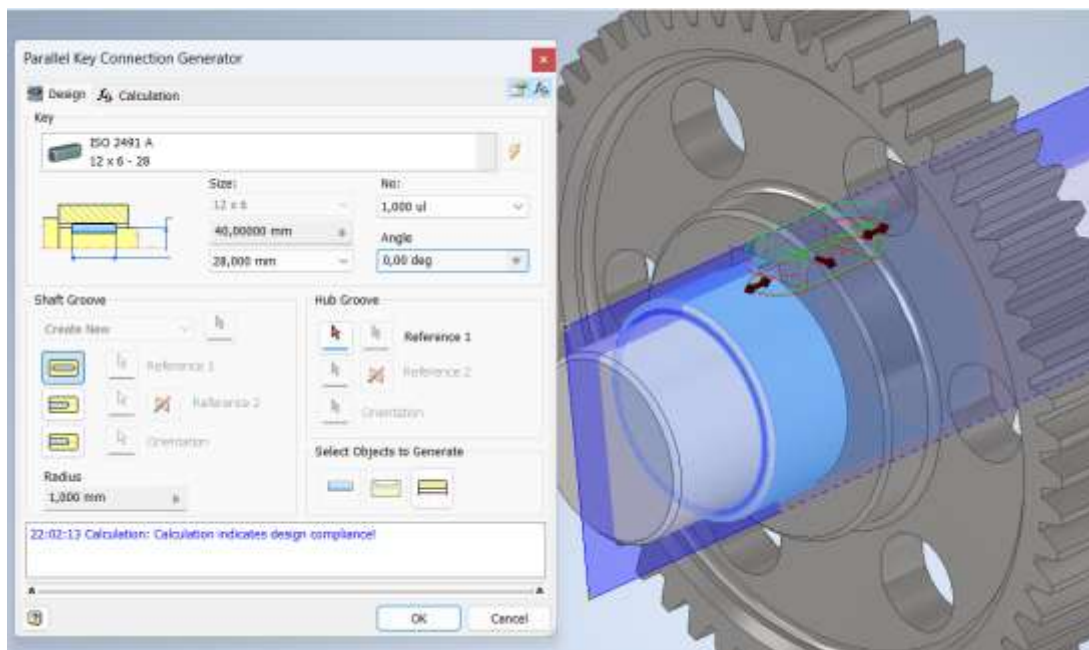


Рис. 3.24. Генерація шпонкового з'єднання

Результати розрахунку відображаються в області "Результати". Якщо вхідні значення, що призвели до збою розрахунку, відображаються червоним, слід зробити коригування й знов запуснути розрахунок.

При задовільному результаті розрахунку завершується генерація й отримується збірка зубчастого колеса з валом (рис. 3.25).

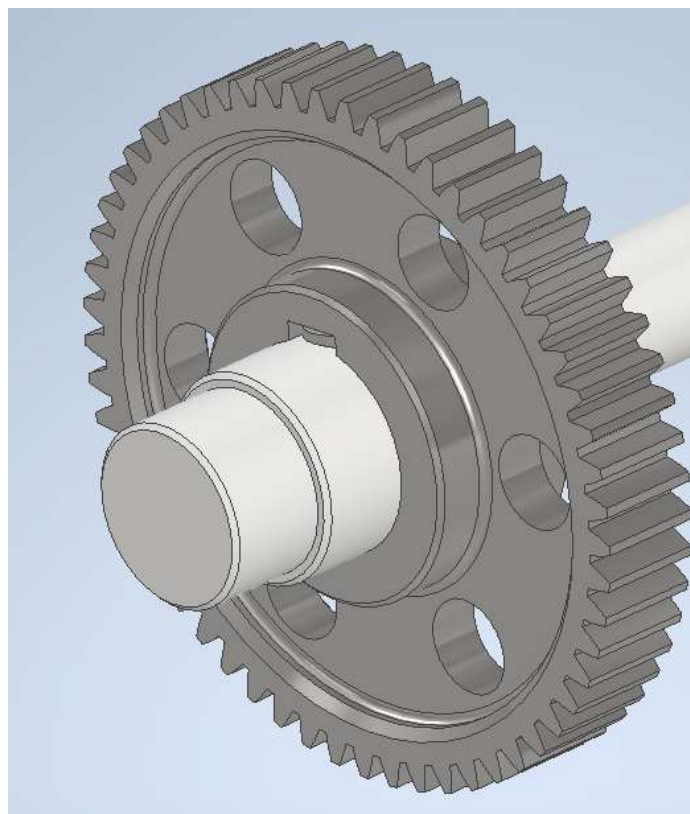


Рис. 3.25. Модель збірки зубчастого колеса з валом



Контрольні питання

1. Назвіть основні можливості генераторів зубчастих передач.
2. Приведіть порядок створення моделі циліндричної зубчастої передачі.
3. Опишіть порядок при створенні циліндричного вала-шестірні.
4. Назвіть методи розрахунку міцності, що доступні у генераторі циліндричних зубчастих передач, та особливості кожного із них.
5. Опишіть порядок роботи з базою даних матеріалів у генераторі циліндричних зубчастих передач.
6. Побудова додаткових елементів вала-шестірні.
7. Побудова додаткових елементів зубчастого колеса.
8. Способи побудови отворів під шпонковий паз на валу й на маточині колеса.

4 ПРОЄКТУВАННЯ КОНІЧНИХ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС ЗАСОБАМИ ПАРАМЕТРИЧНОГО ПРОЄКТУВАННЯ В AUTODESK

4.1 Проєктування конічних зубчастих коліс

Сталеві конічні зубчасті колеса, як і циліндричні виконують:

- точеними з круглого прокату;
- кованими;
- штампованими;
- за допомогою литва.

Зуби конічних коліс виконуються трьома формами. Найбільш поширеною формою зуба є така, коли зуб конічного колеса пропорційно зменшується в залежності від відстані до торця. Існують також конструкції, у яких вершини ділильного конуса і конуса западин не збігаються. Зустрічаються колеса з рівновисоким зубом.

Шестірня конічної передачі має, зазвичай, консольне розташування, тому її бажано проєктувати у вигляді вала-шестерні (рис. 4.1).

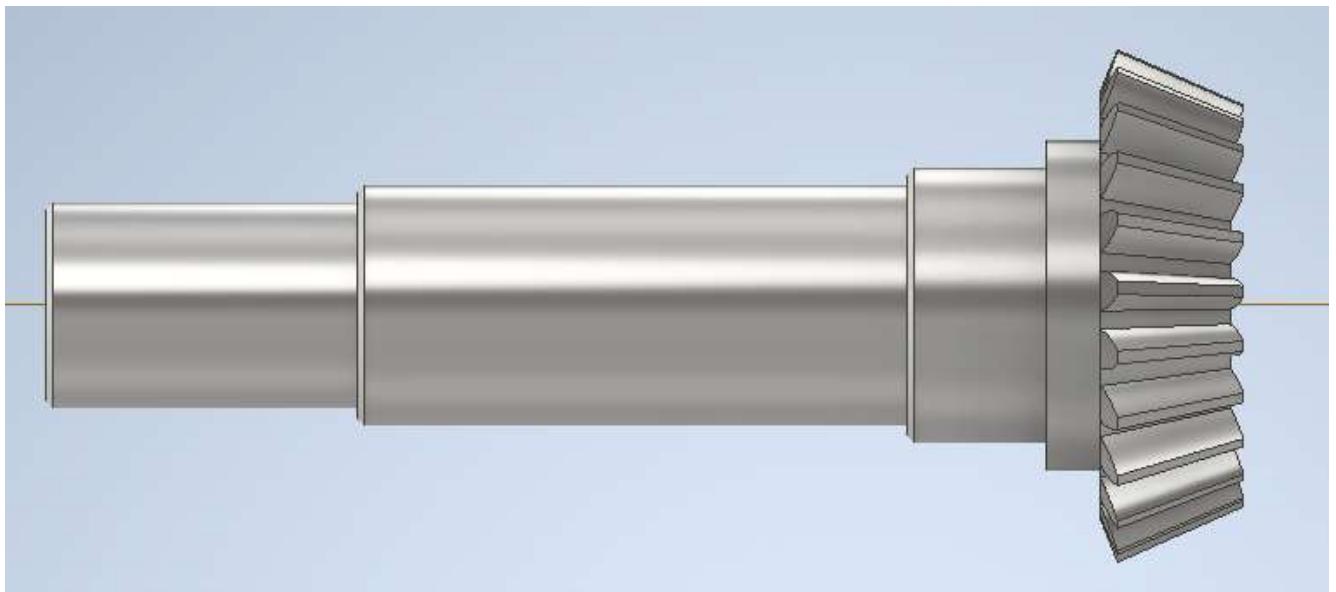


Рис. 4.1. Вал-шестірня конічної передачі

Але це не стосується випадків, якщо шестірня значно більше валу по діаметру. Конструктивні форми конічних зубчастих коліс із зовнішнім діаметром вершин зубів $d_{ae} \leq 120$ мм показано на рисунку 4.2.

При куті ділильного конуса конічного колеса $\delta \leq 30^\circ$ їх виконують по рисунку 4.2, а з колового прокату, а при куті $\delta \geq 45^\circ$ – з поковок. Якщо кут ділильного конуса знаходиться між 30 і 45° , то припускаються обидві форми конічних коліс. Розмір маточини визначають за співвідношеннями для циліндричних зубчастих коліс.

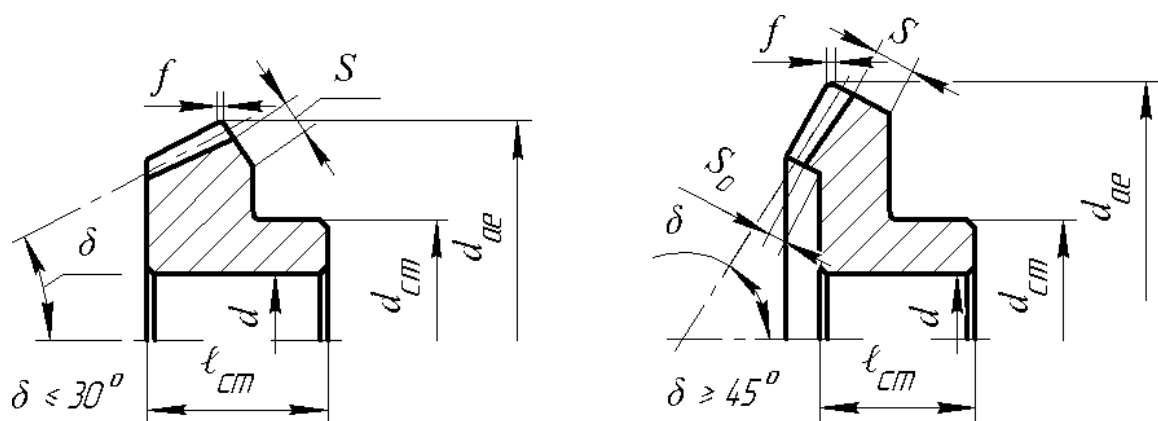


Рис. 4.2. Конічні колеса з $d_{ac} \leq 120$ мм

Товщину обода S визначають із співвідношення:

$$S = 2,5 \cdot m_{te} + 2 ; S_o \geq 1,2 \cdot m_{te} ,$$

де m_{te} – зовнішній модуль.

Радіуси заокруглень мають бути ≥ 1 м. Товщина диска встановлюється графічно.

На торцях зубів виконують фаски розміром $f = 0,5 \cdot m_{te}$ з округленням до стандартного значення. Фаски знімають паралельно вісі отвору колеса.

Колеса конструюють з маточиною, яка виступає за торець диска з сторони більшого конуса.

Конструкції конічних зубчастих коліс з зовнішнім діаметром вершин зубів $d_{ac} \geq 120$ мм наведено на рисунку 4.3. При одиничному і мілко серійному виробництві колеса виконують по рисунку 4.3, а з поковок, а при крупносерійному виробництві по рисунку 4.3, б за допомогою штампування.

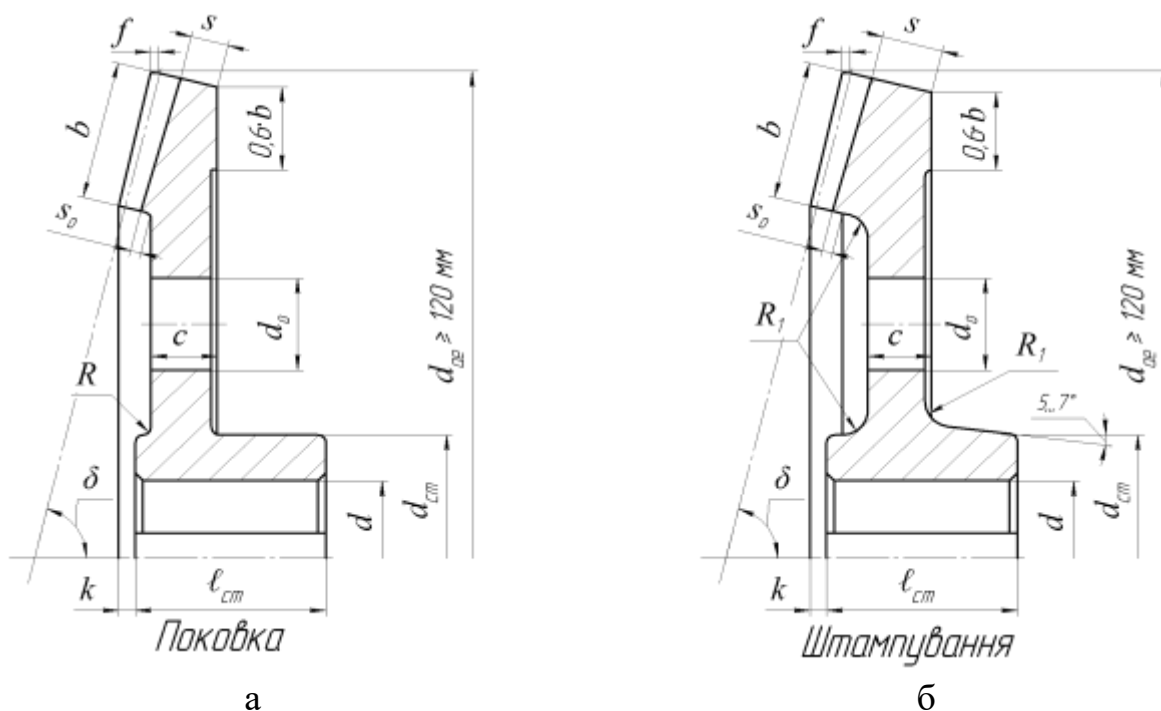


Рис. 4.3. Конічні колеса з $d_{ac} \geq 120$ мм

Товщину диска c визначають із залежності:

$$c \approx 0,5 \cdot (S + \delta_{\text{мат}}) \geq 0,25 \cdot b,$$

де $\delta_{\text{мат}}$ – товщина маточини:

$$\delta_{\text{мат}} = 0,3 \cdot d.$$

Радіуси заокруглень: $R \geq 1; R_1 \geq 6$ мм. В дисках роблять 4... 6 отворів.

Розміри отворів складають: $d_0 \geq 25$ мм. Розмір k приймається конструктивно. Для зменшення об'єму точної механічної обробки на диску, з сторони більшого конуса, виконують виточки глибиною 1...2 мм.

Конструкції конічних зубчастих коліс з зовнішнім діаметром вершин зубів $d_{\text{ac}} \geq 180$ мм при одиничному і мілкосерійному виробництві колеса виконують складовими, а при крупносерійному виробництві за допомогою литва.

Дефіцит часу, викликається зростанням обсягів розробок, а також підвищення рівня складності проєктованих виробів, спонукають конструкторів до пошуку все нових програмних засобів автоматизації різних етапів проєктної діяльності. Бажання кожного інженера - більше результатів при менших зусиллях - засноване на прагненні позбутися від монотонних, повторюваних дій і зосередитися на творчому процесі.

Створення тіл обертання – невіддільна частина проєктування механічних пристроїв. Нехай не найскладніша, але віднімає багато часу, причому неважливо, чи створюєте ви тривимірну модель або плоске креслення. Для обох випадків, на сьогодні, існують програмні продукти, призначені для тривимірного проєктування – це інтегровані системи моделювання тіл обертання.

З їх допомогою можна:

Без особливих зусиль створити прості ступені коліс (маточини) і побудувати на їх поверхнях різні конструктивні елементи (шліцьові і шпонкові ділянки, канавки, кільцеві пази і т.д.). Форма моделі може бути різною: циліндр, конус, шестигранник, квадрат, сфера.

Спроєктувати і розрахувати елементи механічних передач.

Доповнити креслення автоматично згенерованими видами і перерізами моделі, таблицями параметрів і виносними елементами зубчастих передач.

Виконати геометричні розрахунки та розрахунки на міцність і довговічність зубчастих передач.

За допомогою системи Autodesk розрахунок параметрів і створення моделей стануть етапами **автоматизованого** проєктування. Потрібно лише викликати потрібні команди, ввести вихідні дані й запустити завдання на виконання.

По закінченні розрахунку конструктор отримає відомості про якість зачеплення. Якщо всі параметри в нормі, вже на цьому етапі можна створити модель. Але можна продовжити розрахунок і перевірити проєктовану передачу на міцність і довговічність.

4.2 Проектування коліс конічних зубчастих передач за допомогою Bevel Gears Component Generator

Для проектування конічної зубчастої передачі необхідно ввести параметри передачі: модуль; кількість зубців для кожного колеса; ширина зубчастих вінців; значення силових факторів, що діють в передачі; результати моделювання валів, виконані раніше; вибрані підшипники.

Розробка власного проекту автоматизованим способом на основі стандартів, дозволяє економити на екстенсивному моделюванні вузла і деталей. Основні кроки при проектуванні конічної зубчастої передачі аналогічні проектуванню циліндричної зубчастої передачі:

- Вибір розташування зубчастих коліс;
- Вибір методу проектування;
- Задавання імен файлів;
- Вставка конічної зубчастої передачі у вузол.

Необхідні умови:

- наявність раніше створеного проекту;
- знання принципів навігації в робочому просторі з використанням різних інструментів перегляду.

Відкриття файлу проекту і запуск генератора

1. Виберіть як активний (активуйте) СВІЙ проект.
2. Відкрийте файл проекту (...iam).
3. На стрічці натисніть вкладку **Design** > **Bevel Gear**.

Для завантаження генератора зубчастих зачеплень з даними установки за замовчанням необхідно утримуючи натиснутою клавішу **Ctrl** вибрати команду для генерації конічної передачі **Bevel Gears** (рис. 4.4).

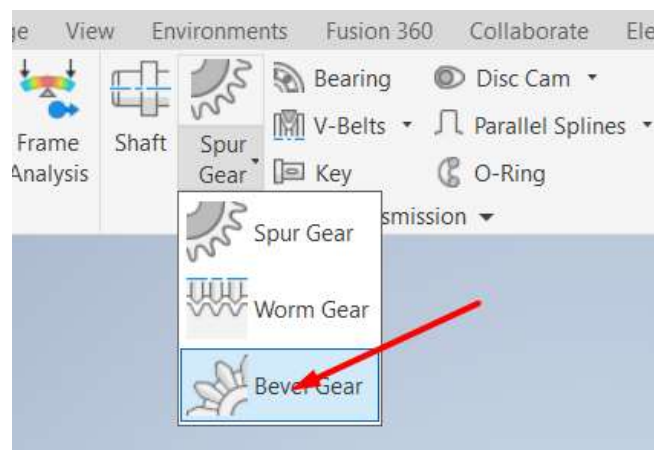


Рис. 4.4. Вибір потрібного варіанту **Bevel Gears**

Запущений генератор компонентів зубчастих зачеплень відкривається на вкладці **Design**. Тут можна ввести особливі параметри, задати розташування конічних зубчастих коліс і вибрати методи розрахунку.

Вкладка **Design** поділена на декілька груп полів, в яких можна задати загальні параметри: **Common**. У цій області містяться параметри, спільні для обох зубчастих коліс, наприклад, модуль або кут нахилу зуба (рис. 4.5).

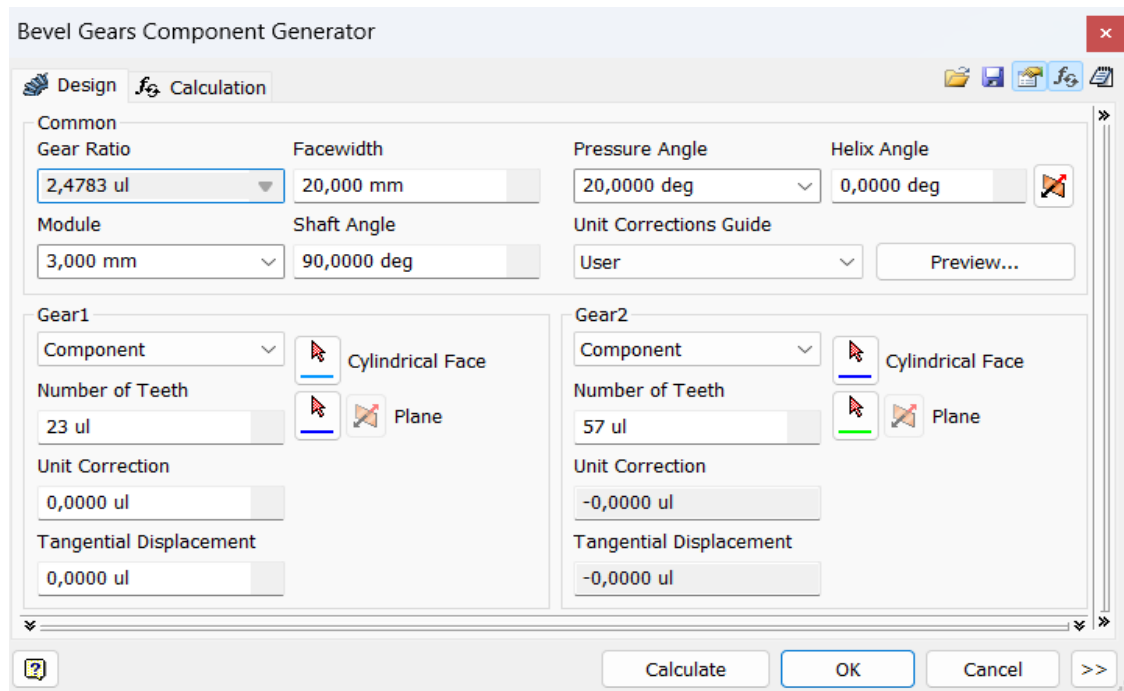


Рис. 4.5. Вікно введення спільних параметрів зубчастих коліс

Кнопка **Preview** відкриває додаткове поле із інформацією про параметри зубчастої передачі (рис. 4.6).

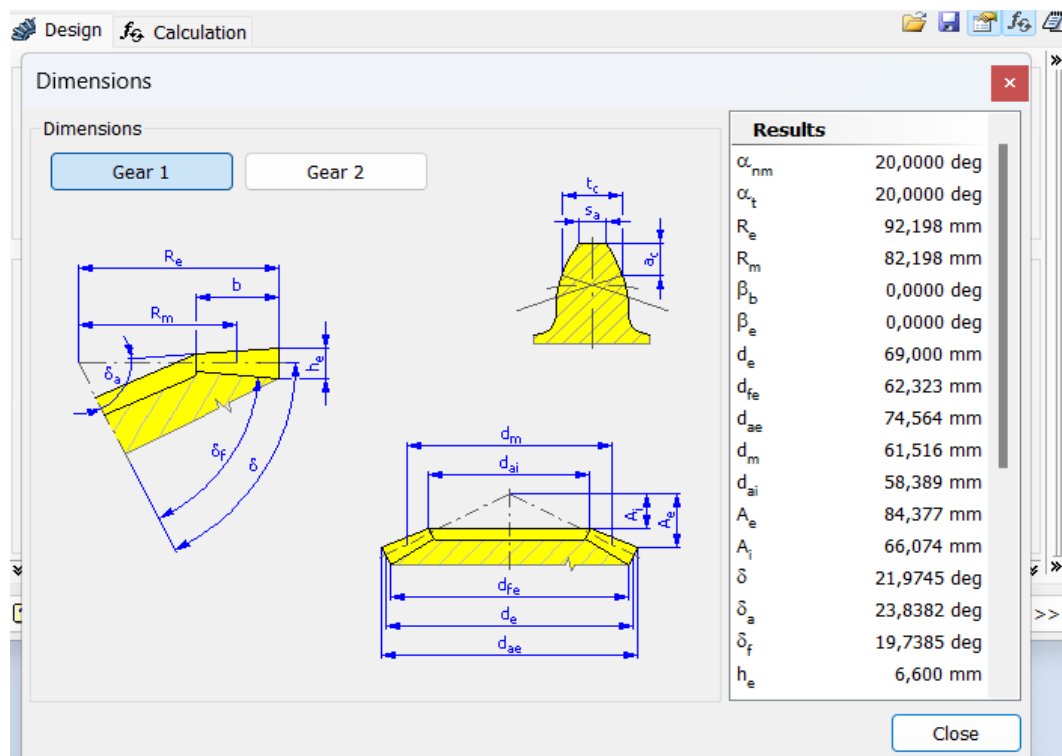


Рис. 4.6 Вікно введення параметрів, однакових для обох зубчастих коліс

У наступній області містяться параметри, які можуть відрізнятися для зубчастих коліс, наприклад число зубців або ширина грані. Крім того, тут розташовані кнопки для визначення розташування цих двох коліс.

За допомогою меню, що розкривається, можна вибрати тип колеса, що вставляється: компонент або без зазначення типу.

Також можна вибрати методику розрахунку за відповідним стандартом **Method of Strength Calculation** (рис. 4.7).

Залежно від вибору в додатковому полі, що розкривається натисканням кнопки >> у правому нижньому куті вікна майстра проєктування, змінюється доступність полів редагування на вкладці **Design**. Для кожного методу потрібно вказувати свої параметри.

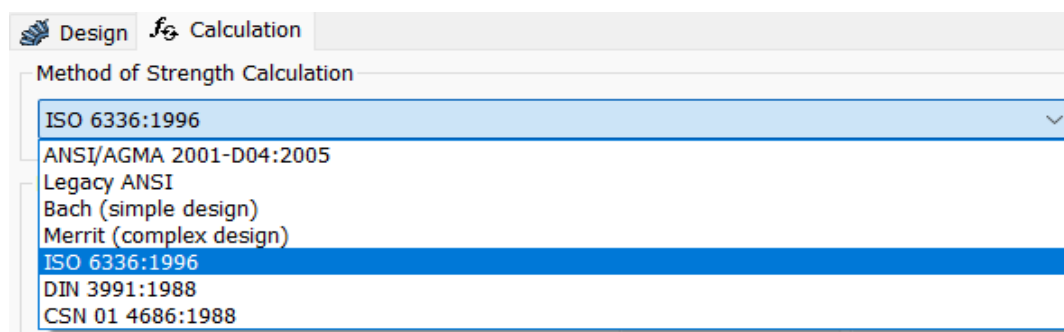


Рис. 4.7 Вікно вибору стандарту

More options

При натисненні в правому нижньому кутку вкладки кнопки додаткових параметрів **More options** відкриється область з іншими параметрами проєктування зубчастих зачеплень (рис. 4.8). Наприклад, при виборі в групі полів **Input Type** значення **Number of Teeth** кількість зубців є заданим значенням.

Рис. 4.8 Додаткові параметри зубчастих коліс

Для перегляду результатів зі списком обчислених значень на панелі **Results** двічі клацніть подвійною лінією справа або один раз кутовою дужкою. Позначені сірим значення відповідають результатам, які не збігаються зі значеннями, введеними на вкладці **Design** (рис. 4.9). Для отримання результатів розрахунку слід натиснути кнопку **Calculate**.

Results	
F_t	372,558 N
F_n	396,468 N
v	3,221 mps
n_{E1}	18200,907 rpm
Gear 1	
F_{r1}	125,749 N
F_{r2}	125,749 N
F_{a1}	50,741 N
F_{a2}	50,741 N
S_H	1,570 ul
S_F	4,929 ul
S_{Hst}	1,779 ul
S_{Fst}	7,402 ul
Gear 2	
F_{r1}	50,741 N
F_{r2}	50,741 N
F_{a1}	125,749 N
F_{a2}	125,749 N
S_H	1,623 ul
S_F	5,146 ul
S_{Hst}	1,514 ul
S_{Fst}	6,949 ul

Рис. 4.9 Вигляд панелі **Results**

4.3 Вибір параметрів конічних зубчастих зачеплень

Визначення умов розрахунку здійснюється у полі додаткових параметрів зубчастих коліс (рис. 4.10).

В області **Input Type** вибирається параметр **Number of Teeth**. Тоді як параметр введення використовуватиметься кількість зубців.

У групі полів **Size Type** вибирається значення модуля **Module**.

При проєктуванні зубчастих зачеплень в метричній збірці параметр **Module** вибирається генератором за замовчанням. У разі проєктування зубчастих передач з використанням англійських одиниць виміру в генераторі вибирається параметр **Diametral Pitch** (Діаметральний крок).

Проєктування конічних зубчастих передач засобами майстра проєктування передбачене як для компонентів. У групі полів **Gear 1** та **Gear 2** вибрати в меню, що розкривається, значення **Component**, тоді обидва зубчасті колеса будуть вставлені в вузол як нові деталі.

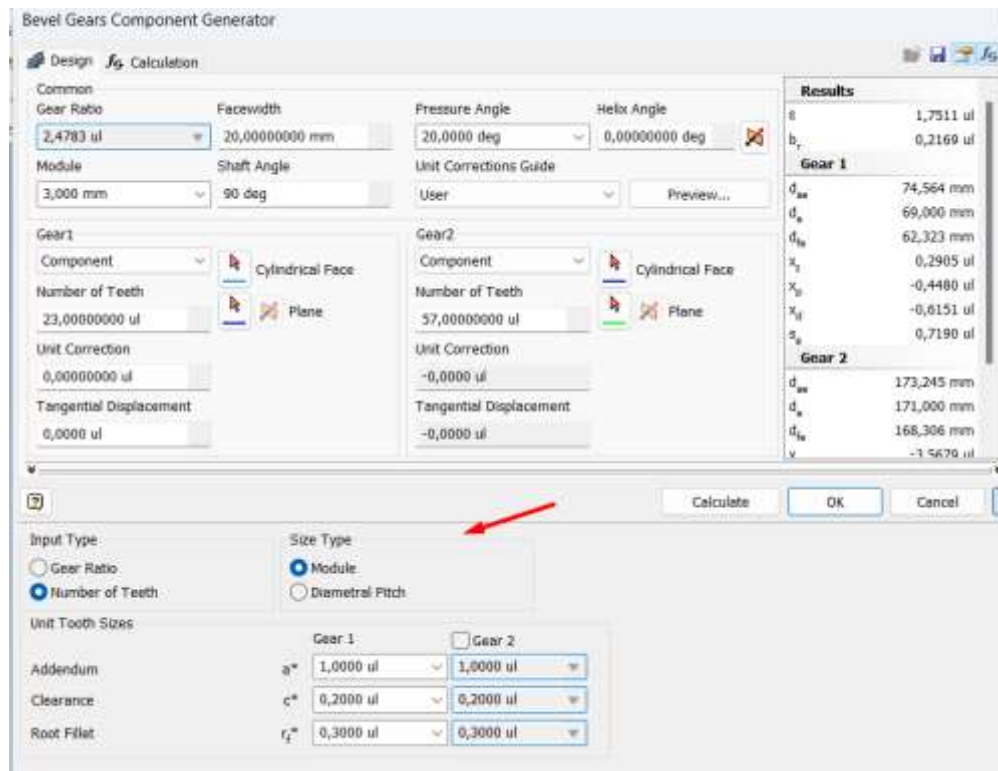


Рис. 4.10. Вибір параметрів зубчастих зацеплень

Також для вставки обчислення можна вибрати параметр **No Model** (рис. 4.11). Буде виконаний розрахунок без графічного зображення зубчастих коліс.

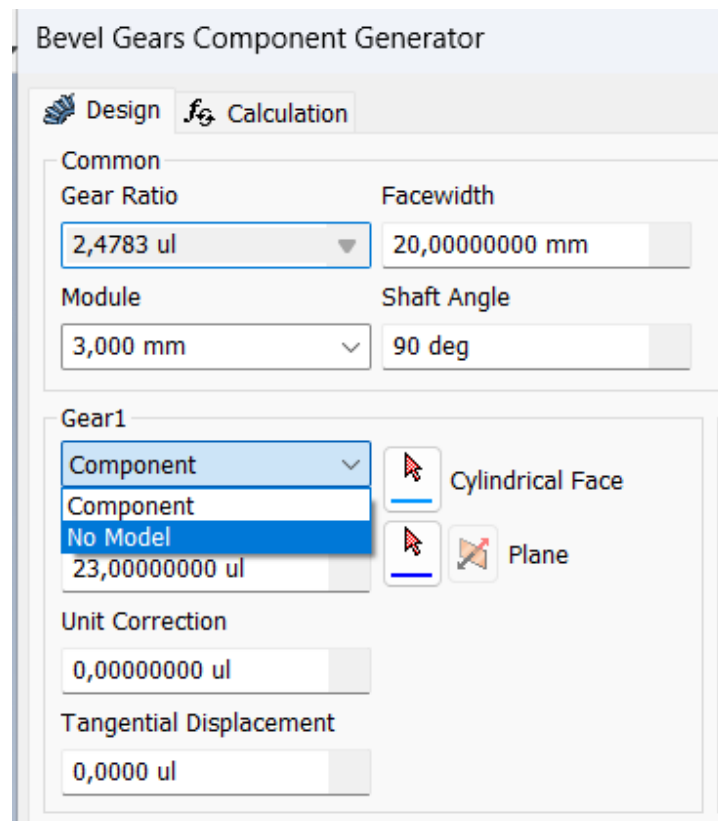


Рис. 4.11. Вибір параметра для графічного зображення зубчастих коліс

При встановленні елементів, що визначають характер обертання в зубчастих зачепленнях, може бути використаний параметр **Movement is impossible** (Рух неможливий). Його можна використовувати лише у разі вставки обох зубчастих коліс як компонентів.

У полі **Pressure Angle** (Кут зачеплення) вказується значення 20 градусів - стандартний кут зачеплення.

У полі **Helix Angle** (Кут нахилу зубця) вказується значення, обчислене при розрахунках. При розрахунку прямозубого зачеплення цей кут дорівнює нулю.

Для решти кроків необхідно так само ввести значення, обчислені раніше.

Ввести правильну кількість зубців. Модель зубчастого колеса будуватиметься на основі цих відомих параметрів. У редагованому полі **Number of Teeth** в області **Gear 1** вказується розраховане значення.

У редагованому полі **Number of Teeth** в області **Gear 2** вказується розраховане значення.

Для зубчастого зачеплення в полі **Facewidth** вказуються розраховане значення ширини коліс.

У полі коефіцієнта зміщення **Unit Correction** вказується значення 0, якщо передача не корегована.

The screenshot displays the 'Bevel Gears Component Generator' software interface. The 'Design' tab is selected, showing input parameters for a gear design. The 'Factors' panel on the right lists various factors for Contact and Bending, with values for Gear 1 and Gear 2. The 'Results' panel on the far right shows calculated values for Z_g , S_g , and S_{ng} for both gears.

Factor	Gear 1	Gear 2
Application Factor	1.116 ul	1.116 ul
Dynamic Factor	2.426 ul	1.938 ul
Face Load Factor	1.334 ul	1.474 ul
Transverse Load Factor	1.000 ul	1.000 ul
One-time Overloading Factor	1.000 ul	1.000 ul
Zone Factor	2.495 ul	1.000 ul
Contact Ratio Factor	0.886 ul	1.000 ul
Single Pair Tooth Contact Factor	1.004 ul	1.000 ul
Life Factor	1.000 ul	1.000 ul
Lubricant Factor	0.982 ul	1.000 ul
Roughness Factor	1.000 ul	1.000 ul
Velocity Factor	0.987 ul	1.000 ul
Helix Angle Factor	1.000 ul	1.000 ul
Size Factor	1.000 ul	1.000 ul
Bevel Gear Factor	0.830 ul	1.000 ul
Perr Factor	2.647 ul	2.157 ul
Stress Correction Factor	1.649 ul	1.951 ul
Teeth with Grinding Notches Factor	1.000 ul	1.000 ul
Helix Angle Factor	1.000 ul	1.000 ul
Contact Ratio Factor	0.678 ul	1.000 ul
Alternating Load Factor	1.000 ul	1.000 ul
Production Technology Factor	1.000 ul	1.000 ul
Life Factor	1.000 ul	1.000 ul
Relch Sensitivity Factor	1.188 ul	1.221 ul
Size Factor	1.000 ul	1.000 ul
Tooth Root Surface Factor	1.000 ul	1.000 ul
Bevel Gear Factor	1.000 ul	1.000 ul

Рис. 4.12. Призначення параметрів проєктування

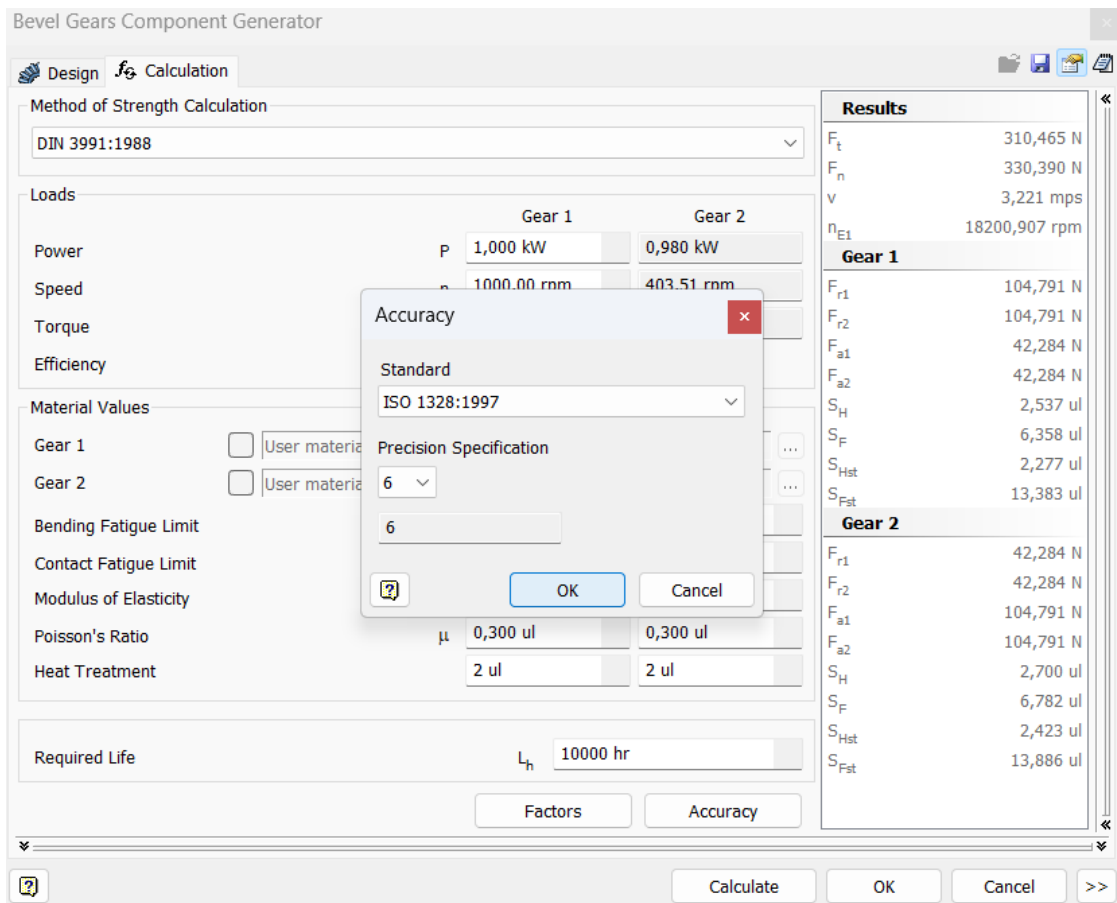


Рис. 4.13. Вибір стандарту при проєктуванні

Виконання розрахунку і визначення імен файлів

Для виконання розрахунку у вкладці **Calculation** необхідно ввести відомості про обраний стандарт розрахунку, параметри передачі, та матеріали обох коліс.

Натиснення кнопки **Calculation** дозволяє одержати результати розрахунку. Область попереднього перегляду оновиться, а в області коротких відомостей про повідомлення з'явиться повідомлення про успішне виконання розрахунку.

При виявленні некоректних значень розрахунку, виділених червоним кольором, необхідно відкоригувати вхідні параметри й знов виконати розрахунок.

Для відкриття області **Короткі відомості** про повідомлення, розташованої в нижній частині вкладок **Calculation** і **Design**, двічі клацніть в нижній частині вкладок подвійну лінію або один раз – кутову дужку (рис. 4.14).

Після редагування й перегляду всіх параметрів натиснути кнопку ОК. У графічному вікні відобразиться кінчна зубчаста передача, побудована з урахуванням всіх введених значень (рис. 4.15).

Bevel Gears Component Generator

Design Calculation

Method of Strength Calculation
ANSI/AGMA 2001-D04:2005

Loads

	Gear 1	Gear 2
Power	$P = 1,000 \text{ kW}$	$0,980 \text{ kW}$
Speed	$n = 1000,00 \text{ rpm}$	$403,51 \text{ rpm}$
Torque	$T = 9,549 \text{ N m}$	$23,192 \text{ N m}$
Efficiency	$\eta = 0,980 \text{ ul}$	

Material Values

Gear 1 ☐ User material

Gear 2 ☐ User material

	Gear 1	Gear 2
Allowable Bending Stress	$S_{at} = 152,0 \text{ MPa}$	$152,0 \text{ MPa}$
Allowable Contact Stress	$S_{ac} = 1170,0 \text{ MPa}$	$1170,0 \text{ MPa}$
Modulus of Elasticity	$E = 206000 \text{ MPa}$	206000 MPa
Poisson's Ratio	$\mu = 0,300 \text{ ul}$	$0,300 \text{ ul}$

Required Life $L_h = 10000 \text{ hr}$

Factors Accuracy

15:46:47 Design: Gear 1: The Unit Correction (x) is less than the Unit Correction without Tapering (x_t)
15:46:47 Design: Calculation indicates design compliance!

Results

Gear 1	
F_t	$310,465 \text{ N}$
F_n	$330,390 \text{ N}$
V	$3,221 \text{ mps}$
n_{B1}	$18200,907 \text{ rpm}$
Gear 1	
F_{r1}	$104,791 \text{ N}$
F_{r2}	$104,791 \text{ N}$
F_{a1}	$42,284 \text{ N}$
F_{a2}	$42,284 \text{ N}$
k_f	$2,905 \text{ ul}$
$k_{H\beta}$	$4,637 \text{ ul}$
Gear 2	
F_{r1}	$42,284 \text{ N}$
F_{r2}	$42,284 \text{ N}$
F_{a1}	$104,791 \text{ N}$
F_{a2}	$104,791 \text{ N}$
k_f	$3,057 \text{ ul}$
$k_{H\beta}$	$4,775 \text{ ul}$

Calculate OK Cancel <<

Type of Load Calculation
☒ Power, Speed --> Torque
☐ Torque, Speed --> Power
☐ Power, Torque --> Speed

Type of Strength Calculation
Check Calculation

Limit Values

	Contact	Bending
Minimal Factor of Safety	$1,200 \text{ ul}$	$1,300 \text{ ul}$

Рис. 4.14. Вкладка **Calculation** майстра проєктування конічних зубчастих коліс

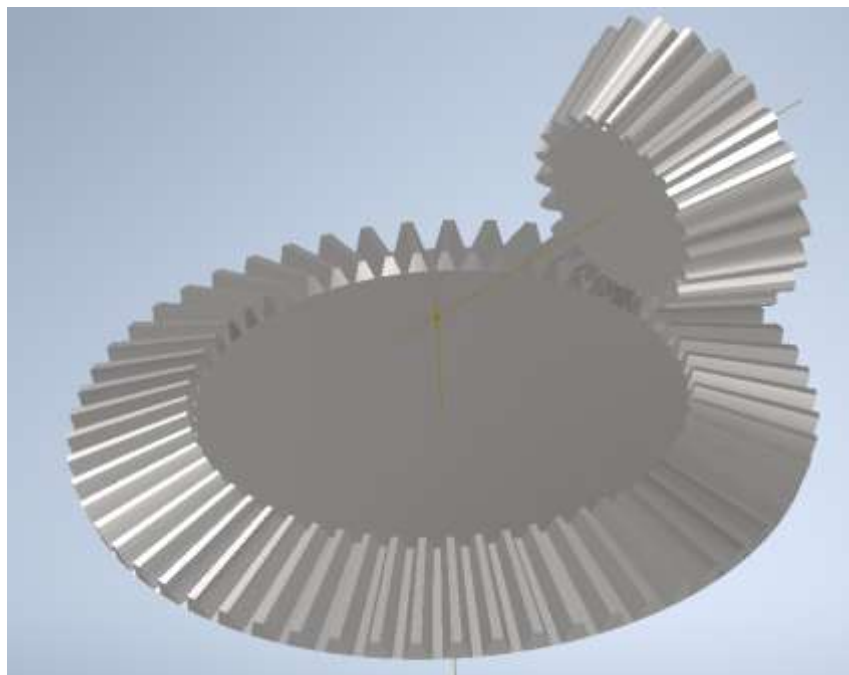


Рис. 4.15. Побудована конічна передача

Натисніть кнопку **OK**. Відкриється діалогове вікно **File Naming**. У діалоговому вікні **File Naming** для компонентів і елементів Майстра проектування можна вказати значення **Display name** і **File name**. Якщо встановлений прапорець **Always prompt for filename**, при кожній вставці компонента або елемента Майстра проектування відображатиметься діалогове вікно. Для вставки у вузол зачеплення із зубчастими колесами натисніть кнопку **OK**.

В процесі використання генератора компонентів зубчастих коліс був вивчений порядок виконання таких дій:

Запуск генератора компонентів кінцевих зубчастих коліс у зубчастих передачах аналогічний генерації циліндричних зубчастих коліс.

- Налаштування параметрів розрахунку.
- Вставка елементів і компонентів.
- Виконання розрахунку.
- Задавання імен файлів.

4.4 Розміщення кінцевого зубчастого колеса

Для визначення розміщення кінцевого зубчастого колеса 1 на відповідному валі натисніть в групі полів **Gear 1** кнопку **Cylindrical Face**. У графічному вікні виберіть циліндричну грань, потім виберіть команду **Start plane** і виберіть початкову площину, щоб розташувати кінцеву шестірню (рис. 4.16).

Також можна згенерувати кінцеву зубчасту передачі і добудувати обидва вала для розміщення на них кінцевих коліс. Слід пам'ятати, що у кінцевому зачепленні одне коліс або обидва матимуть консольне розташування.

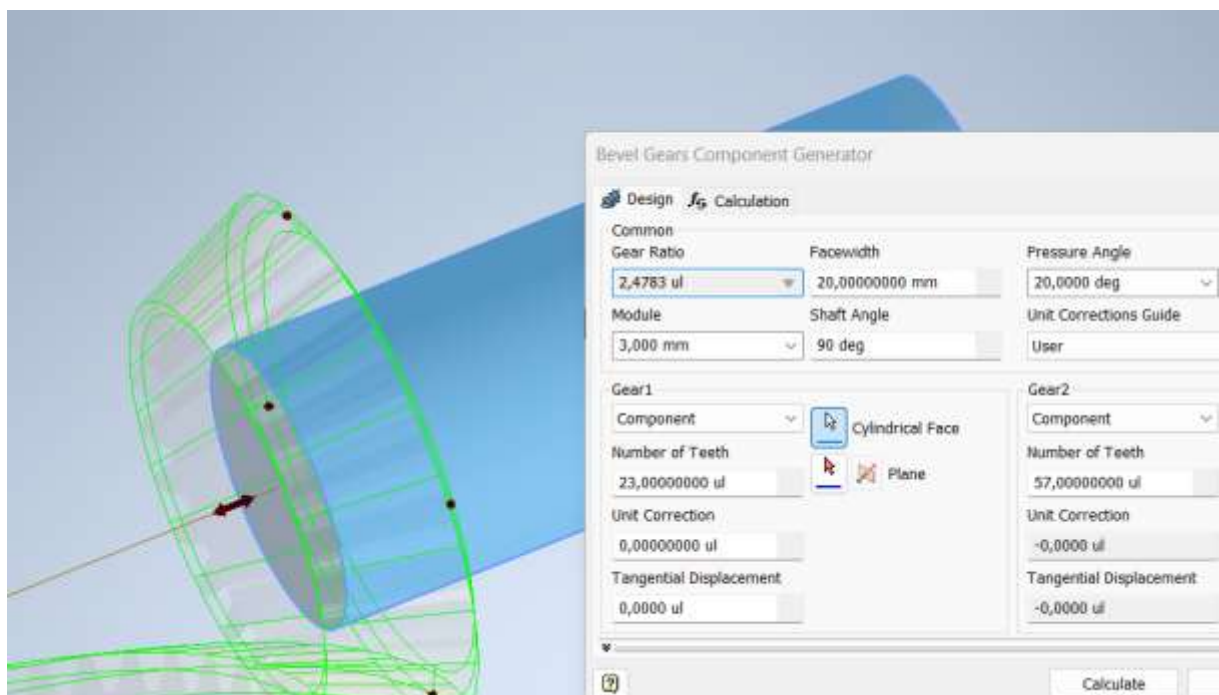


Рис. 4.16. Вибір місця розміщення кінцевого зубчастого колеса

Для побудови додаткових елементів коліс використовуються загальні принципи моделювання.

Додаткові параметри вала-шестірні:

- діаметр вала;
- довжина ділянок вала;
- товщина обода вінця;
- перехідні ділянки.

Додаткові параметри колеса:

- діаметр отвору зубчастого колеса під вал;
- товщина диска;
- діаметр маточини;
- довжина маточини;
- діаметр отворів у диску;
- кількість отворів у диску;
- діаметр розташування отворів;
- перехідні ділянки.

Для великих конічних зубчастих коліс можуть бути необхідні додаткові ребра жорсткості, щоб забезпечити структурну цілісність і мінімізувати деформацію під навантаженням. Якщо конічне зубчасте колесо встановлюється на фланець, потрібно моделювати фланцеві з'єднання з урахуванням всіх посадкових місць і кріплень.

Після розрахунку й генерування конічної передачі отримуємо модель конічної передачі (рис. 4.17).

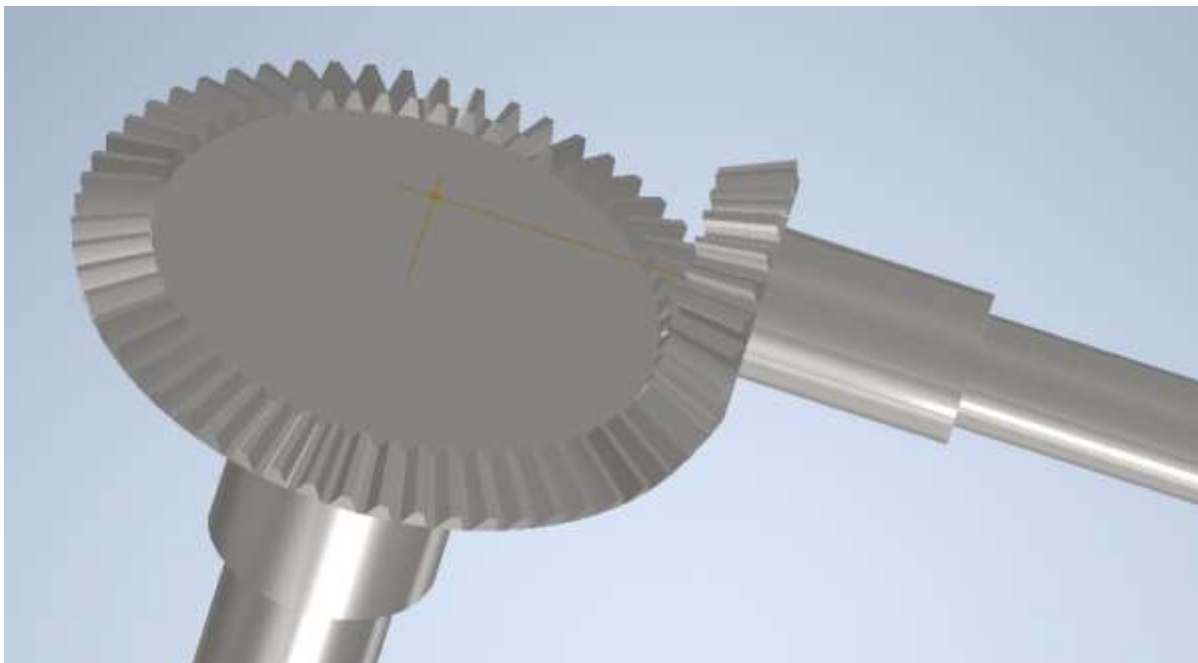


Рис. 4.17. Згенерована модель конічної передачі

Далі виконується доопрацювання елементів конічної пари, тобто побудова маточини, технологічних отворів, перехідних ділянок тощо (рис. 4.18).

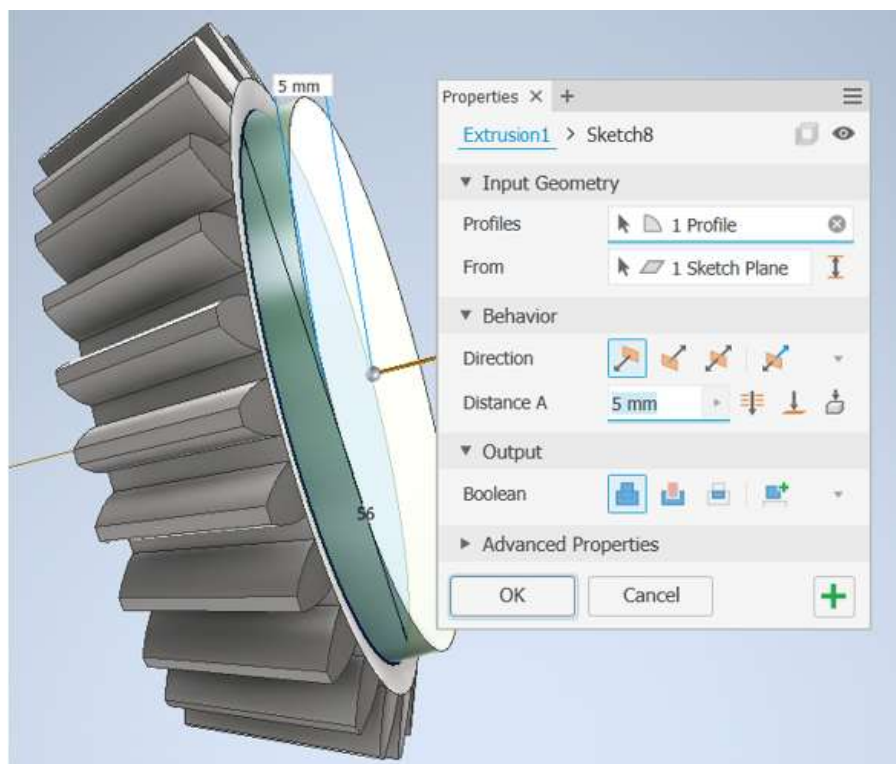


Рис. 4.18. Побудова додаткових елементів **Gear 1**

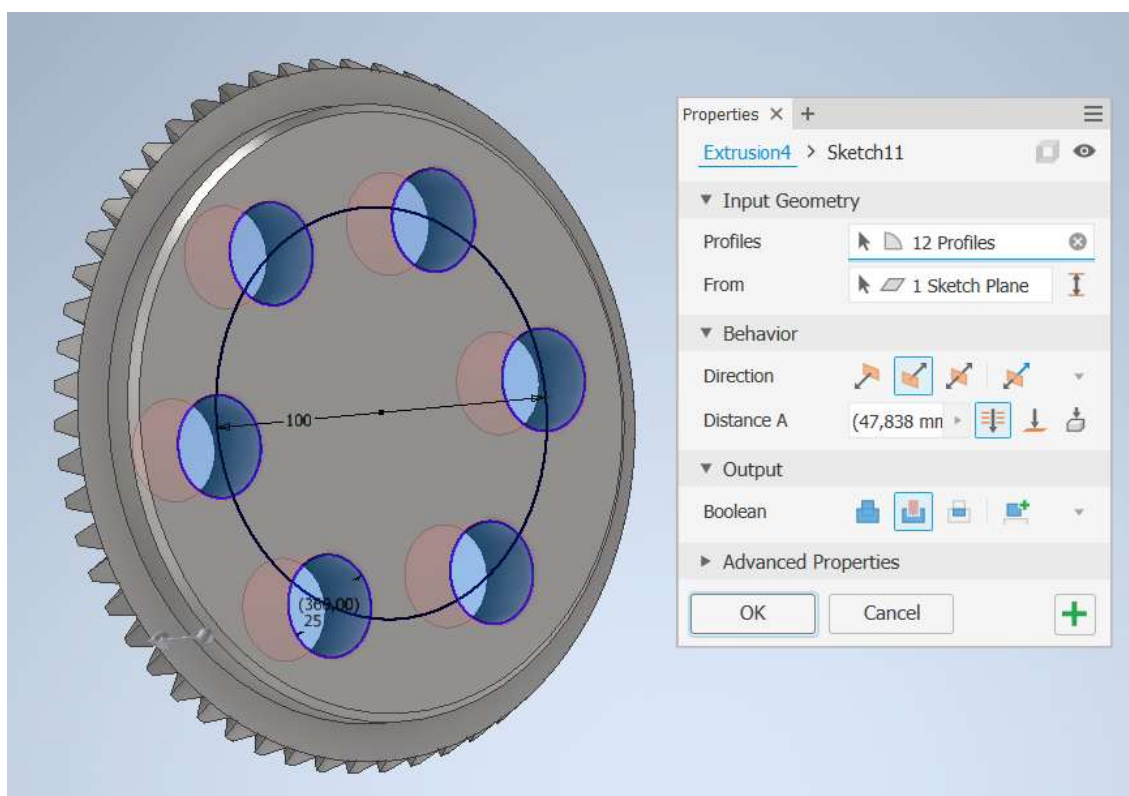


Рис. 4.19. Побудова додаткових елементів **Gear 2**

По завершенні побудови додаткових елементів коліс отримуємо кінчну прямозубу передачу (рис. 4.20).

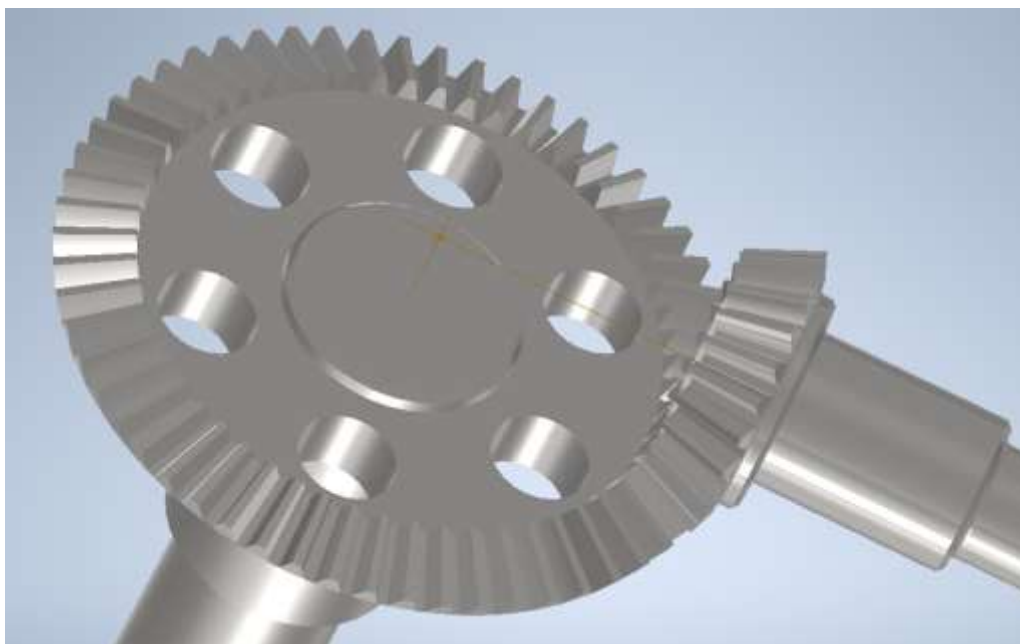


Рис. 4.20. Конічна прямозуба передача

Після генерації та побудови додаткових елементів конічних коліс вибираються й розраховується підшипники (рис. 4.21). Вибір, розрахунок і розміщення підшипників виконується аналогічно проєктуванню зубчастих циліндричних передач з урахуванням особливостей конічних передач.

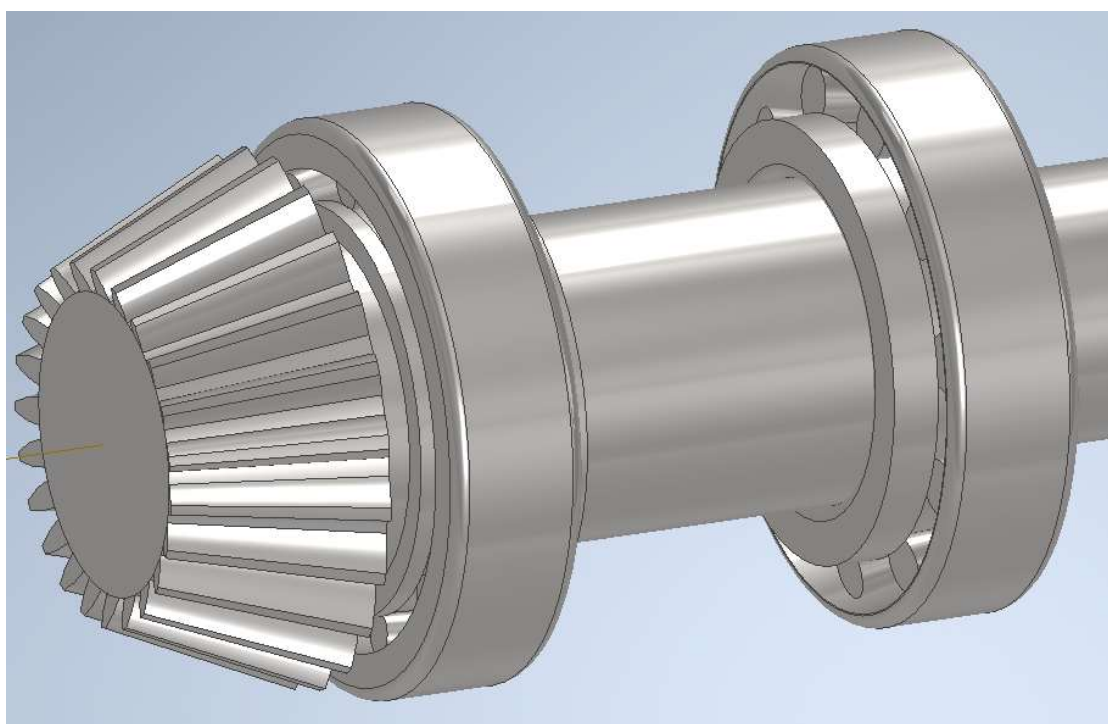


Рис. 4.21. Вал-шестірна з роликовими підшипниками



Контрольні питання

1. Який рекомендують приймати модуль m_n при розрахунку силових зубчастих передач?
2. Для виконання яких завдань використовують бібліотеку програми Autodesk Inventor?
3. Яким чином позначають матеріал для виготовлення деталі, виконуючи її модель у програмі Autodesk Inventor?
4. Які спряження належить використати для виконання моделі зачеплення конічної зубчастої передачі?
5. Побудова додаткових елементів конічного вала-шестірни.
6. Побудова додаткових елементів конічного колеса.
7. Способи побудови отворів під шпонковий паз на валу й на маточині конічного колеса.

5 ПРОЄКТУВАННЯ ЧЕРВ'ЯКІВ І ЧЕРВ'ЯЧНИХ КОЛІС ЗАСОБАМИ ПАРАМЕТРИЧНОГО ПРОЄКТУВАННЯ В AUTODESK

5.1 Проєктування черв'ячної передачі

Черв'ячні передачі належать до категорії зубчасто-гвинтових передач. Їх застосовують у випадках, коли геометричні осі ведучого і веденого валів перехрещуються (зазвичай під прямим кутом) (рис. 5.1).

Переваги черв'ячних передач:

- плавність і безшумність роботи;
- великі передаточні числа при малих габаритах;
- можливість самогальмування.

Недоліки черв'ячних передач:

- низький ККД і значне тепловиділення;
- необхідність застосування для вінців черв'ячних коліс дорогих антифрикційних сплавів;
- схильність до заїдання.

Силові черв'ячні передачі є невід'ємною частиною багатьох механічних систем завдяки своїм унікальним властивостям. Вони знаходять застосування в машинобудуванні, автомобілебудуванні, транспортних системах, промисловому обладнанні, енергетиці та побутовій техніці. Їх висока передаточна здатність, можливість самогальмування, плавність ходу та компактність роблять їх незамінними у багатьох сферах.

Область застосування силових черв'ячних передач обмежується такими параметрами як потужність, що передається, колова швидкість до 15 м/с, передаточне число до 14...80.

Черв'ячні передачі є складнішими у виготовленні та обслуговуванні порівняно з циліндричними передачами. Часто використовуються матеріали з різними механічними властивостями для черв'яка (зазвичай сталь) і черв'ячного колеса (часто бронза), щоб зменшити знос. Черв'ячна передача складається з черв'яка та черв'ячного колеса.

Черв'яки ортогональних циліндричних черв'ячних передач за ДСТУ ISO/TR 10828:2005 Черв'ячні передачі. Геометрія профілів черв'яка (ISO/TR 10828:1997, IDT): А - архімедів, І - евольвентний, N - з прямолінійним профілем витка, К - отриманий конусом, С - нелінійний.

Найчастіше черв'ячні колеса виготовляють складовими. Центр колеса - з чавуну або сталі, зубчастий вінець - з бронзи. З'єднання вінця з центром має забезпечити передачу великого крутного моменту і порівняно невелику осьову силу. Конструкція черв'ячного колеса і спосіб з'єднання вінця з центром залежать від масштабу виробництва.

При одиничному і дрібносерійному виробництві, коли число виготовлених черв'ячних коліс < 50 , зубчасті вінці з'єднують з центром посадкою з натягом. Конструктивно це з'єднання оформляють так, як показано на рисунку 5.2. При постійному напрямку обертання черв'ячного колеса на зовнішній поверхні

центру передбачають буртик. Така форма центру є традиційною.



Рис. 5.1. Черв'ячна передача

Наявність буртика ускладнює виготовлення і центру і вінця, а ніяких переваг при виготовленні або при складанні не дає. Тому в сучасних конструкціях з'єднання вінця з центром слід виконувати за відповідними рекомендаціями. При цьому встановлювати гвинти в стик зубчастого вінця й обода центру не обов'язково.

При великих діаметрах коліс ($d_{a2} \geq 400$ мм) кріплення вінця до центру можна здійснювати болтами, поставленими без зазору. У цьому випадку вінець попередньо центрують по зовнішній поверхні центру. Пару поверхонь, що центрують, виконують згідно з перехідною посадкою. Остаточне положення зубчастого вінця визначається сполученням його отворів зі стрижнями болтів, поставлених без зазору. Слід зазначити, що в таких конструкціях потрібно передбачати надійне стопоріння від самовідгвинчування гайки.

Вінці черв'ячних коліс виготовляють переважно з бронзи, а інколи з латуні та чавуну. Олов'яні бронзи БрО10НІФ1, БрО10Ф1 та інші є кращими матеріалами для вінців черв'ячних коліс при високих швидкостях ковзання ($v_s > 5$ м/с), однак вони дорогі та дефіцитні. Тому такі бронзи використовують лише для відповідальних черв'ячних передач. Менш дефіцитні й дешевші безолов'яні бронзи БрА10Ж4Н4, БрА9ЖЗЛ та ін. Вони мають достатньо високі показники міцності, але дещо гірші антифрикційні властивості й меншу здатність до пропрацювання. Безолов'яні бронзи вимагають високої твердості та чистоти

робочих поверхонь витків черв'яка і застосовуються при середніх швидкостях ковзання $v_s = (2...5)$ м/с. Для допоміжних, малонавантажених та тихохідних ($v_s < 2$ м/с) черв'ячних передач можливе виготовлення черв'ячного колеса із чавуну (СЧ15, СЧ18) або пластмас (текстоліту, поліамідів).

Інколи черв'ячну передачу виготовляють зі зміщенням (коригованою) для того, щоб вписати її у задану або стандартну міжосьову відстань.

Генератори Майстра проєктування відкриваються в останньому допустимому стані, в якому компонент був вставлений в вузол Autodesk Inventor.

Для завантаження генератора черв'ячної передачі вибрати команду **Worm Gear** (Черв'ячна передача) (рис. 5.2).

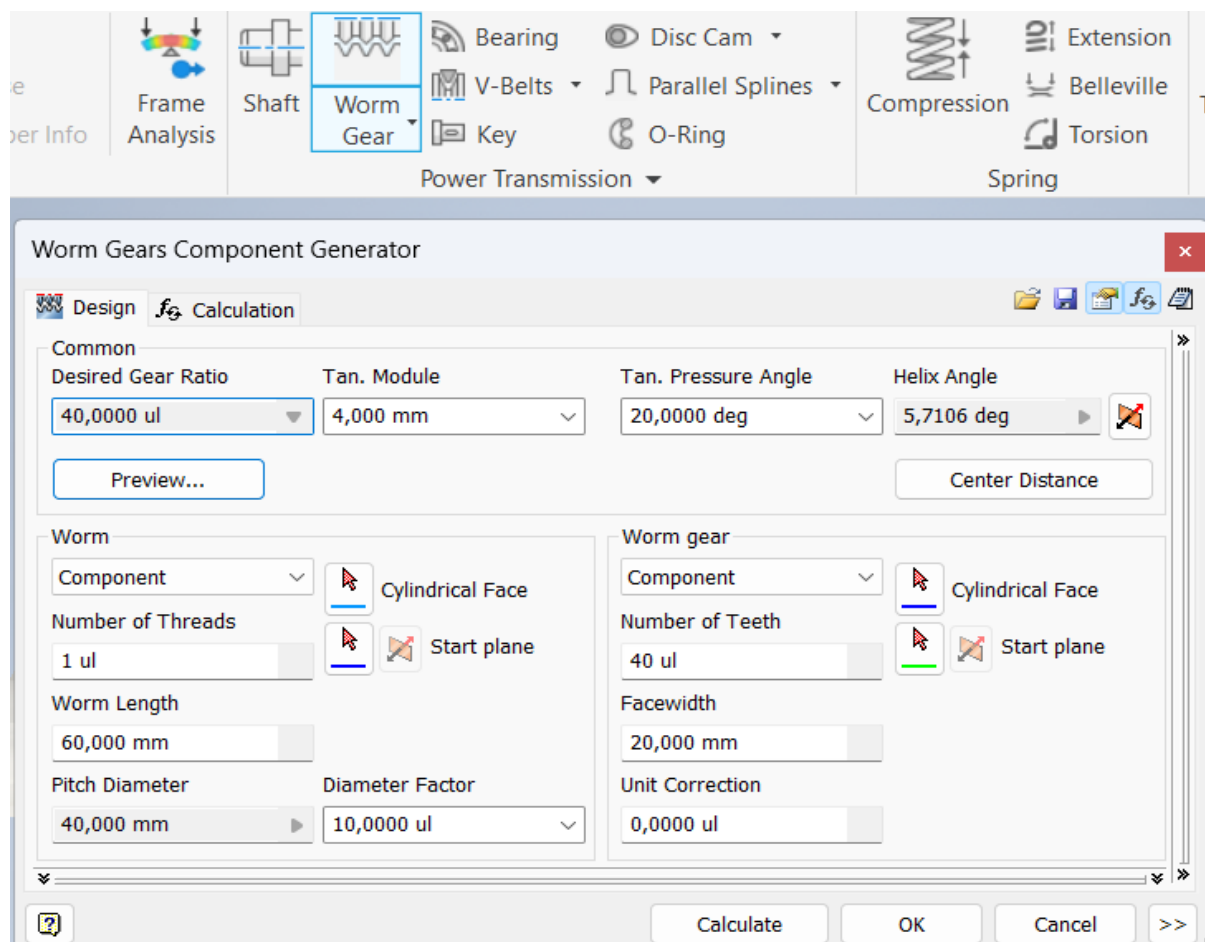


Рис. 5.2. Діалогове вікно **Worm Gear Component Generator**

Результати моделювання та розрахунків відображаються у вікні **Results** кожної із вкладок діалогового вікна **Worm Gear Component Generator**. До кожного значення, що там відображається, можна отримати підказку, що впливає. Протокол розрахунку з назвами параметрів та їх значеннями можна отримати за допомогою кнопки **Results**. Потрібно наголосити, що криві форм зубів в моделях передач мають спрощене представлення.

В цілому проєктування черв'ячної передачі рекомендується виконувати в такій послідовності.

- Виклик генератора черв'ячної передачі, перехід на вкладку **Calculation**.

- Введення вихідних даних: потужності (моменту), швидкості, ККД, коефіцієнтів, терміну служби, точності, необхідних коефіцієнтів та запасу міцності. Вибрати в списку додаткових параметрів **Type of Strength Calculation** тип розрахунку **Geometry Design** (Підбір геометрії).

- Перехід на вкладку **Design**, вибір в групах параметрів "Вихідний параметр", "Тип зачеплення" та "Розмір черв'яка" потрібних параметрів і відповідних їм інших параметрів.

- В групах параметрів **Worm** (Черв'як) та **Worm gear** вибрати зі списків параметри **No Model**.

- Виконати розрахунок, натиснувши кнопку **Calculation**.

- Натиснути кнопку **Center Distance** (Міжосьова відстань) і в діалоговому вікні **Gearing Choice** (Вибір передачі) вибрати рядок з потрібним набором допустимих параметрів.

- Вставити результати розрахунку в модель збірки.

- Підготувати модель збірки, зокрема базові циліндричні поверхні для черв'яка та колеса та початкові площини. При цьому потрібно звернути особливу увагу на те, міжосьова відстань в моделі повинна точно дорівнювати розрахованій.

- Редагувати встановлені результати можна за допомогою команди **Edit using Design Accelerator**.

- В групах параметрів **Worm** та **Worm gear** вибрати зі списків параметри **Component**.

- За допомогою кнопок **Cylindrical Face** та **Start plane** вибрати компоненти для базування та орієнтації черв'ячної пари і вставити модель пари в збірку.

Кнопка **Preview** відкриває додаткове поле з інформацією про параметри передачі.

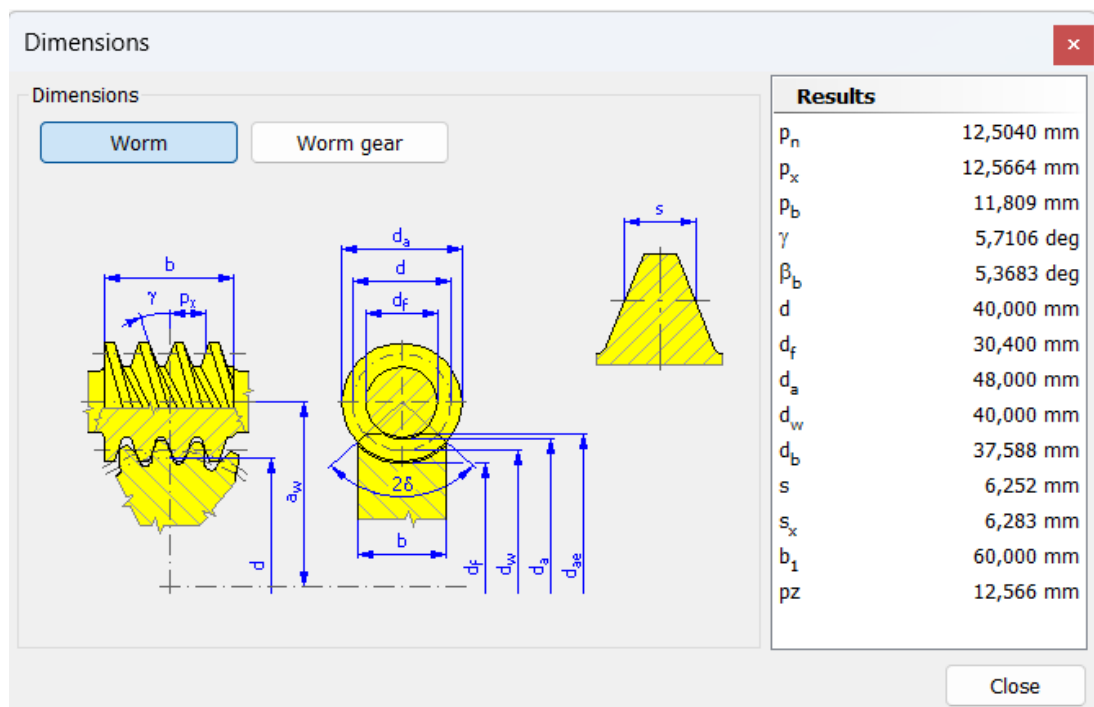


Рис. 5.3. Діалогове вікно перегляду розмірів черв'ячної передачі

- Доопрацювати моделі черв'яка і черв'ячного колеса відповідно до попередніх розрахунків (рис. 5.4).



Рис. 5.4. Приклади конструкцій черв'яка та черв'ячного колеса

5.2 Проєктування черв'ячного колеса з напресованим вінцем

З метою економії кольорових металів черв'ячні колеса виготовляють складеними з двох частин: бронзового вінця, який з'єднується з чавунним або сталевим колісним центром по відповідній посадці й закріплюється додатково гвинтами або болтами. Можливі інші варіанти з'єднання колісного центра з вінцем черв'ячного колеса. При малих діаметрах черв'ячних коліс або чавунних колесах застосовують суцільні черв'ячні колеса

Зубці черв'ячних коліс – найслабкіші елементи у черв'ячних передачах. Значні швидкості ковзання в зачепленні спричинюють спрацювання та заїдання. Ці явища посилюються невідповідними умовами змащування контакту, бо напрям швидкості ковзання утворює малий кут із напрямом лінії контакту витків та зубців.

Проєктування черв'ячної передачі:

На стрічці натисніть вкладку **Design > Worm Gears Component Generator**.

Генератор компонентів черв'ячної передачі створює моделі та виконує проєктувальні розрахунки (визначення розмірів та підбір матеріалу) і розрахунок навантажувальної здатності циліндричної черв'ячної передачі відповідно до стандартів CSN і ANSI.

Autodesk Inventor може мати два типи зачеплення в **Worm Gears Component Generator**. В діалоговому вікні генератора черв'ячної передачі цей тип зачеплення можна вибрати:

Common - звичайне зачеплення з конволютним черв'яком ZN.

Spiral - з Архімедовим черв'яком ZA (рис. 5.4).

Wozm вкажіть **Component**

Wozm gear вкажіть **Component (or No Model)**, якщо не потрібно графічне зображення черв'ячного колеса);

Number of Threads - число заходів для черв'яка й число зубів для черв'ячного колеса;

Worm Length - довжина черв'яка, **Facewidth** - ширина черв'ячного колеса;

Pitch Diameter - діаметр ділильного кола черв'яка, **Diameter Factor** - коефіцієнт діаметра;

Unit Correction - коефіцієнт зміщення 0.

Необхідно переглянути додаткові параметри зубчастого зачеплення. Потім виконати розрахунок отриманої передачі.

Перейдіть у вкладку **Calculation**, вкажіть задану потужність, частоту обертання і натисніть кнопку **Calculation**.

Переконайтесь, що розрахунок свідчить про відповідність проєкту - **Calculation indicates design compliance** (не виділене червоним).

Вставити у підготовлену модель збірки, зокрема базові циліндричні поверхні для черв'яка та колеса та початкові площини. При цьому потрібно звернути особливу увагу на те, міжосьова відстань в моделі повинна точно дорівнювати розрахованій.

Генератор розраховує міжосьову відстань або розраховує передаточне відношення, що дозволяє розраховувати коефіцієнт зміщення черв'ячної передачі. Генератор підбирає основні розміри для виготовлення та перевірки, розраховує розміри й сили навантаження, визначає мінімальні вимоги до матеріалів виготовлення черв'ячної передачі та черв'яка, а також виконує перевірку міцності.

Формування файлу з результатами розрахунків

Збережіть результати розрахунків черв'ячної передачі у форматі *.htm.

Побудову додаткових елементів черв'ячної передачі можна виконувати двома способами: редагувати модель безпосередньо у файлі збірки, або відкрити у новому вікні.

Для редагування моделі безпосередньо у файлі збірки виділіть правою кнопкою миші **Worm: 1**, натисніть **Edit** (рис. 5.6).

Більш зручно редагувати елемент черв'ячної передачі, якщо відкрити у новому вікні. Одночасно створюється файл нової моделі. Всі зміни, які відбуваються в новій моделі, будуть відображені у файлі збірки.

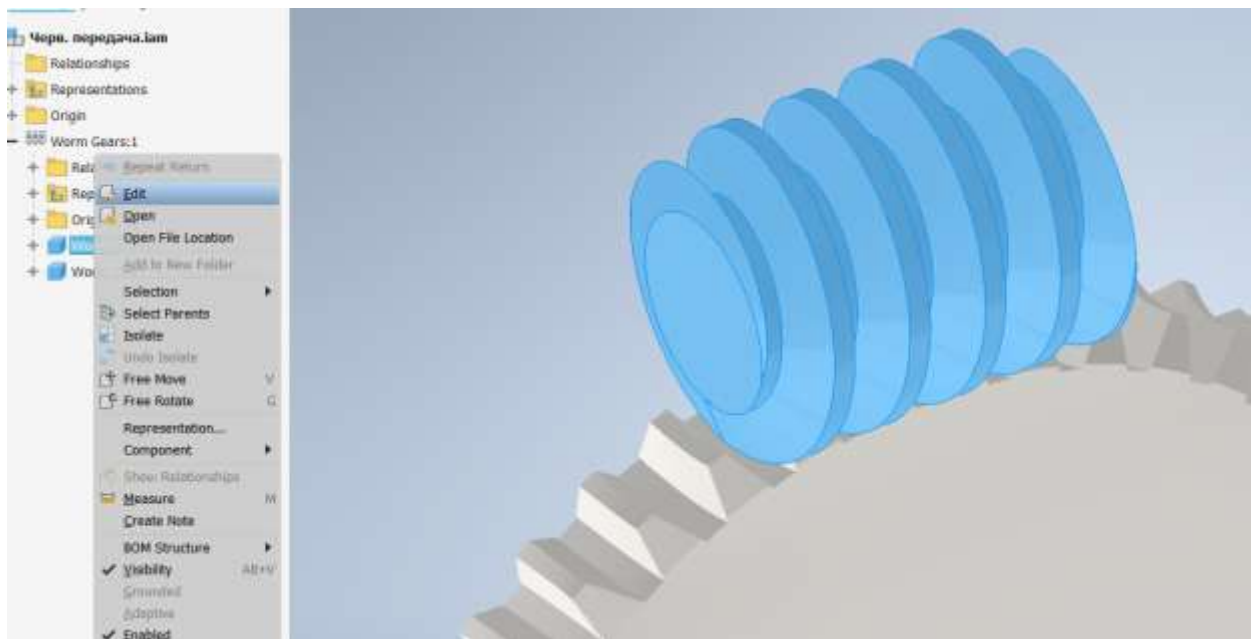


Рис. 5.6. Редагування моделі черв'яка у файлі збірки

5.4 Побудова додаткових елементів черв'яка

Для побудови додаткових елементів черв'яка користуються загальними методами моделювання. Виділити торцеву частину черв'яка й створити новий ескіз натиснувши кнопку **Start 2D Sketch**. Побудувати коло відповідного діаметра, закрити ескіз, натиснути кнопку **Extrude** - витягнути на відповідну відстань (рис. 5.7).

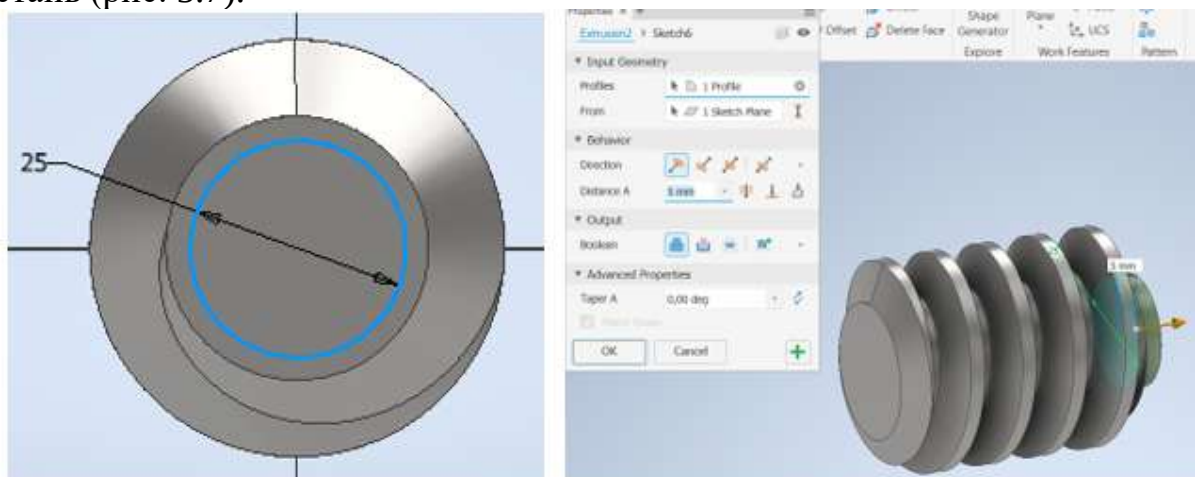


Рис. 5.7. Побудова додаткових елементів черв'яка

Така сама ділянка будується з другого боку моделі. Будуються всі ступені вала черв'яка, визначені попереднім розрахунком (рис. 5.8).

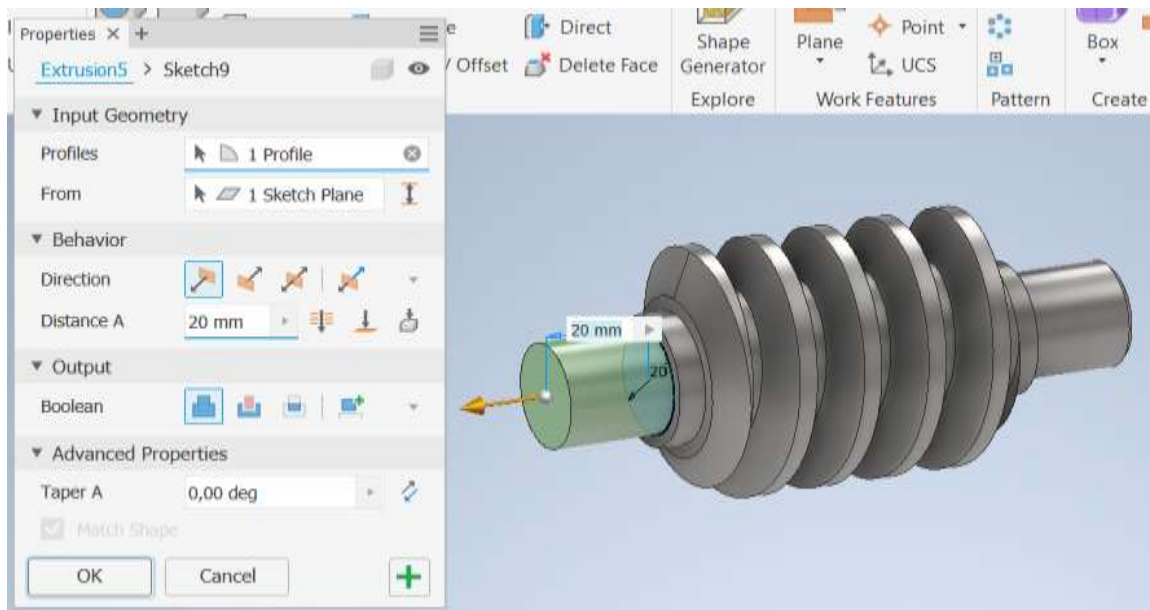


Рис. 5.8. Побудова ступіней вала черв'яка

Виділяються торцеві частини черв'яка й створюються нові ескізи. Будуються кола відповідних діаметрів й командою **Extrude** витягаються на відповідні відстані. Потім будуються перехідні ділянки - фаски, жолобники тощо (рис. 5.9).

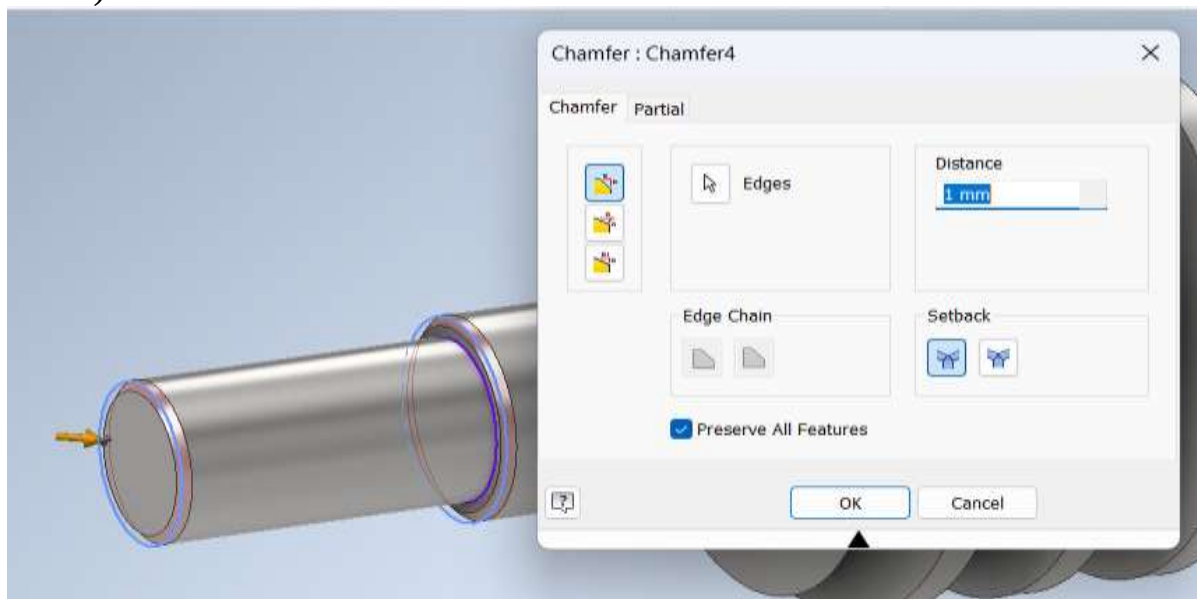


Рис. 5.9. Побудова перехідних ділянок на валу черв'яка

На вхідній ділянці вала необхідно побудувати шпонковий паз.

Проектування шпонкових пазів і вставлення шпонок відбувається через вкладку **Design**, панель **Power Transmission**, вкладку **Key**. Вибирається стандарт та відповідний тип шпонки. Визначаються грані валу, на яких необхідно розмістити шпонку. Якщо потрібно, вводиться необхідна довжина шпонки (за замовчанням завантажується певна довжина шпонки). Розміри шпонкового паза й шпонки встановлюються залежно від вибраного типу й стандарту (рис. 5.10).

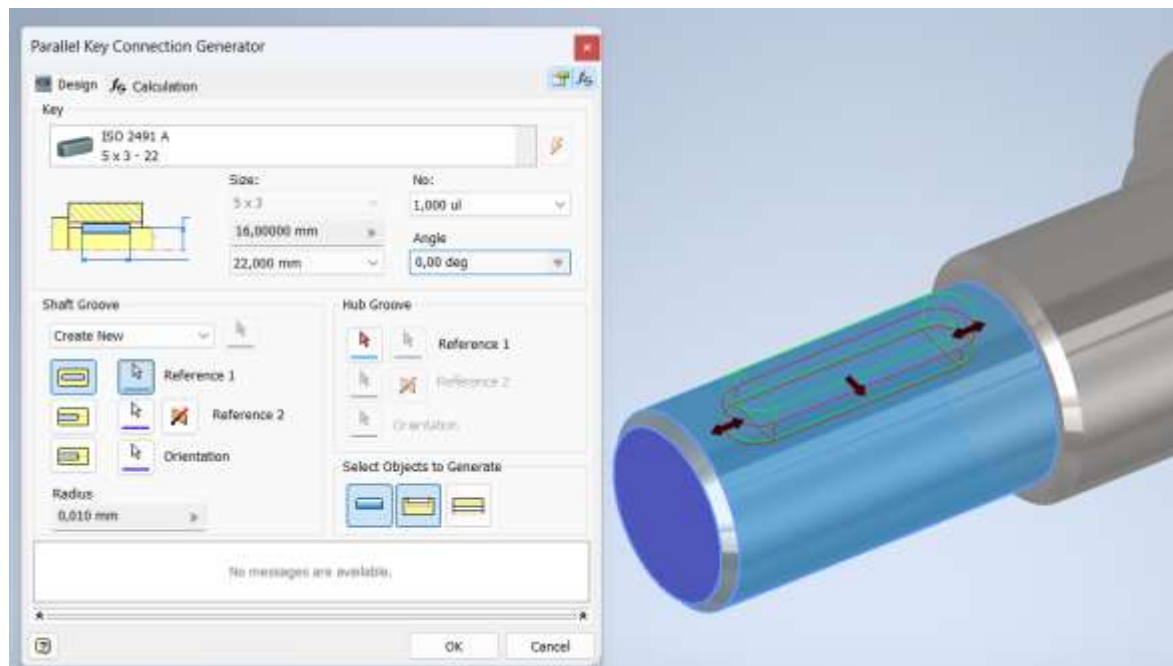


Рис. 5.10. Генерація шпонки на валу черв'яка

5.5 Побудова додаткових параметрів колеса

Черв'ячні колеса виготовляють складеними з двох частин: бронзового вінця, який з'єднується з чавунним або сталевим колісним центром по відповідній посадці й закріплюється додатково гвинтами або болтами.

Відкрийте черв'ячне колесо у новій вкладці (рис. 5.11), збережіть під ім'ям Вінець. Виділіть торцеву частину вінця і створіть новий ескіз. Побудуйте кола відповідних діаметрів і зробіть вирізи наскрізь, щоб утворився вінць (рис. 5.12).

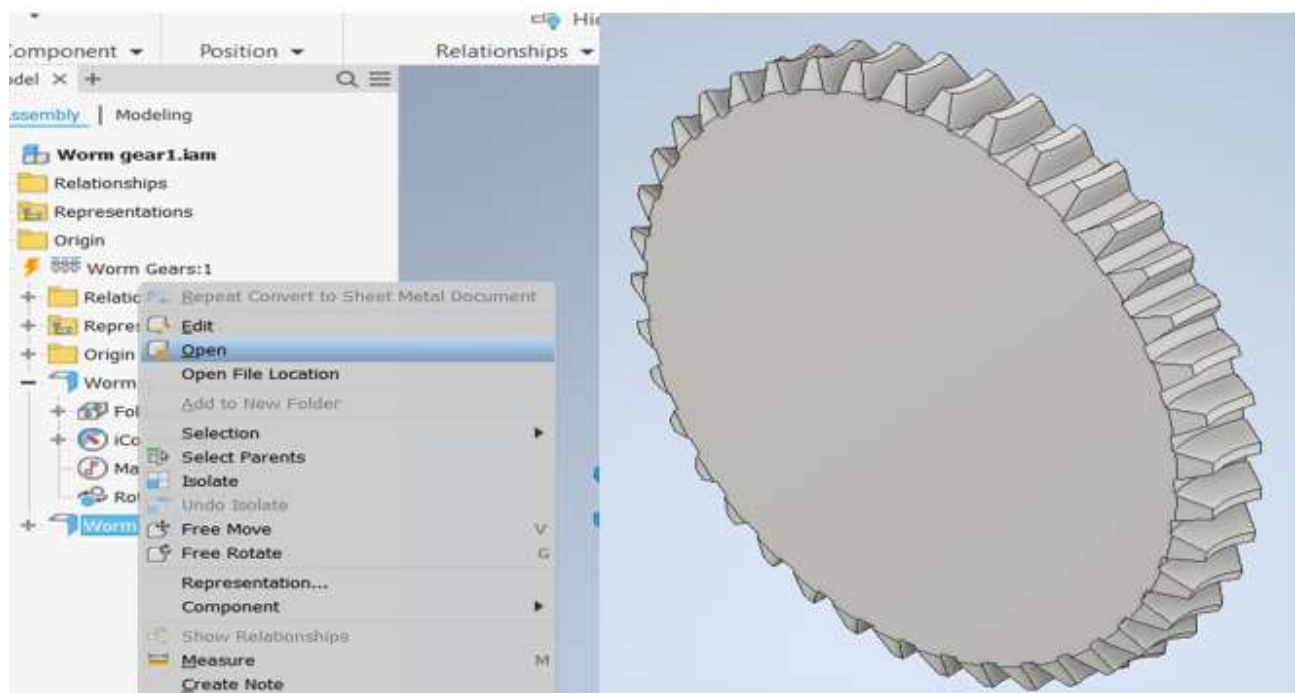


Рис. 5.11. Відкриття моделі черв'ячного колеса

Призначте кольоровий матеріал Вінця Brass, Soft Yellow (Латунь, м'який жовтий).

Окремо моделюється диск черв'ячного колеса. Створити новий документ Деталь. На площині ХУ побудувати ескіз диска за відповідними розмірами.

Створіть новий документ Деталь. Побудувати ескіз диска за відповідними розмірами (рис. 5.13): радіус диска, радіус буртика, товщина диска, радіус маточини, довжина маточини, розміри сходинок.

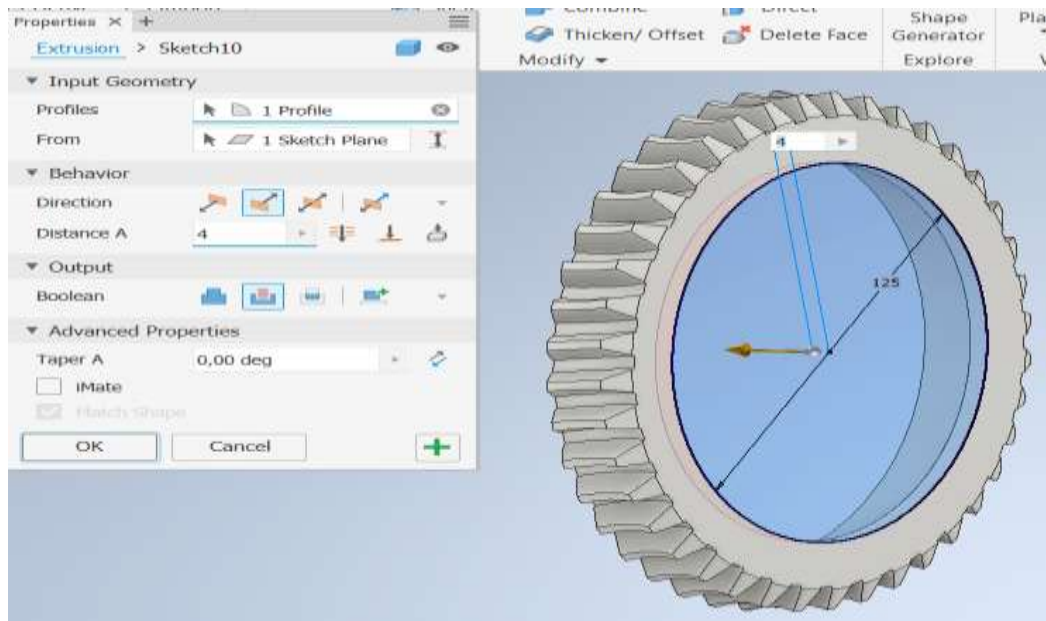


Рис. 5.12. Побудова вінця черв'ячного колеса

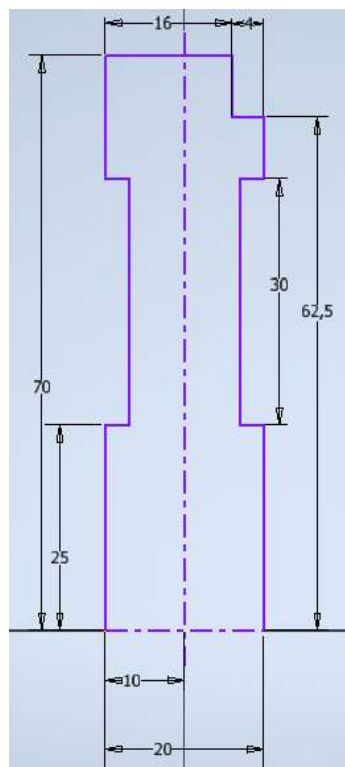


Рис. 5.13. Побудова ескізу диска

За допомогою команди **Revolve** побудуйте диск колеса. Створіть на боковій площині диска новий ескіз, побудуйте коло діаметром 30 мм. Командою **Extrude** зробіть наскрізний отвір (рис. 5.14).

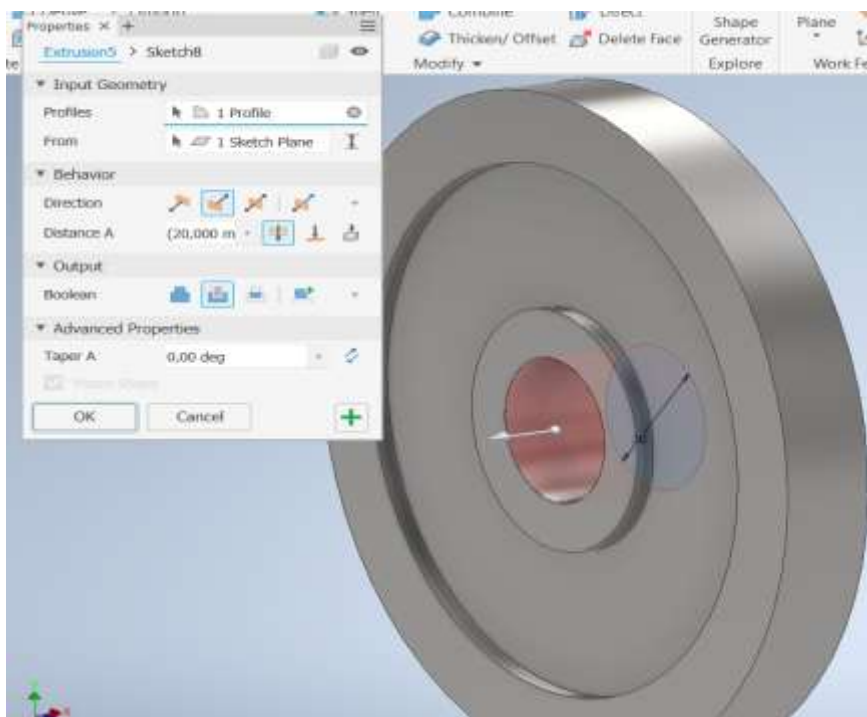


Рис. 5.14. Побудова моделі диска

Створіть на боковій площині диска новий ескіз, побудуйте прямокутник відповідних розмірів, закрийте ескіз. Інструментом **Extrude** зробіть наскрізний отвір (рис. 5.15).

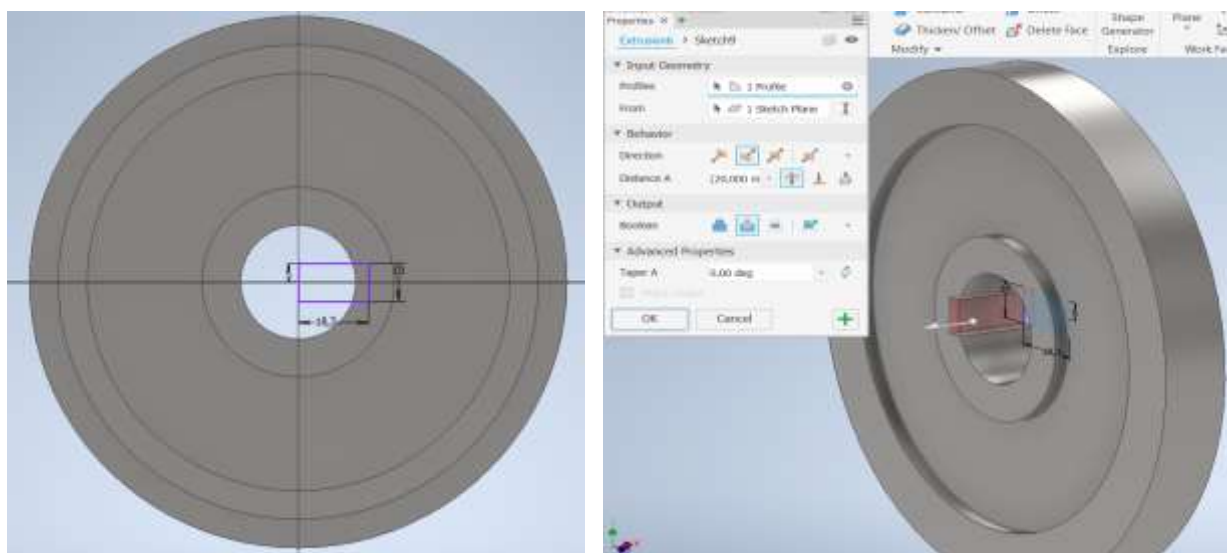


Рис. 5.15. Побудова шпонкового пазу

Створіть на боковій площині диска новий ескіз, побудуйте коло діаметром 80 мм, на ньому побудуйте коло діаметром 20 мм. За допомогою інструмента

Circular побудуйте 6 кіл (рис. 5.16), інструментом Extrude зробіть наскрізні отвори.

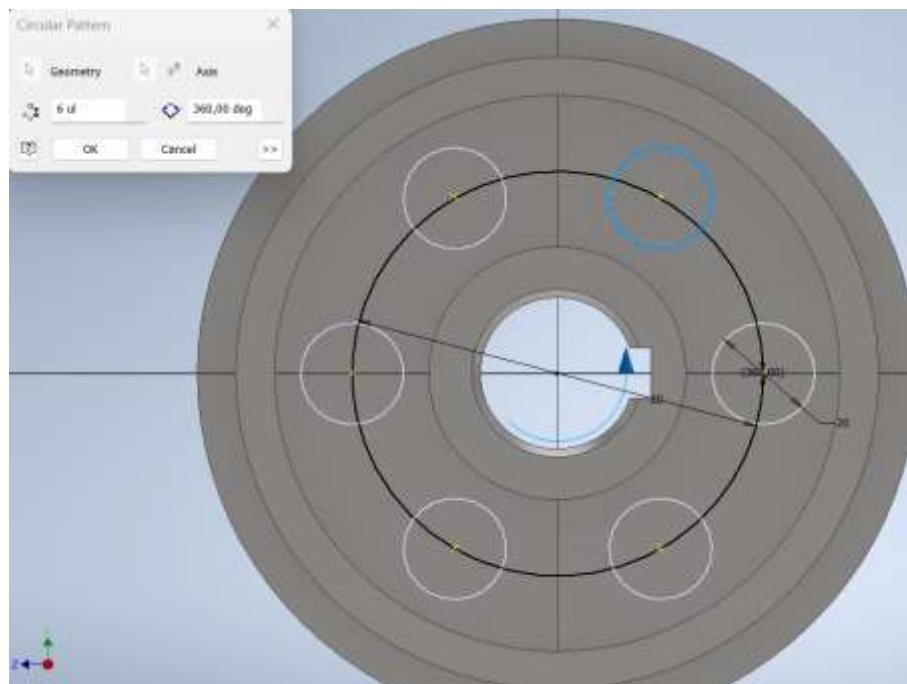


Рис. 5.16. Побудова наскрізних отворів

Побудуйте фаску на отворі під вал, округлення переходу диска і маточини. Збережіть модель і закрийте.



Рис. 5.17. Модель диска колеса

Створіть новий документ збірка, завантажте вінець і диск. Інструментом Joint сумістите моделі в одне ціле (рис. 5.18).

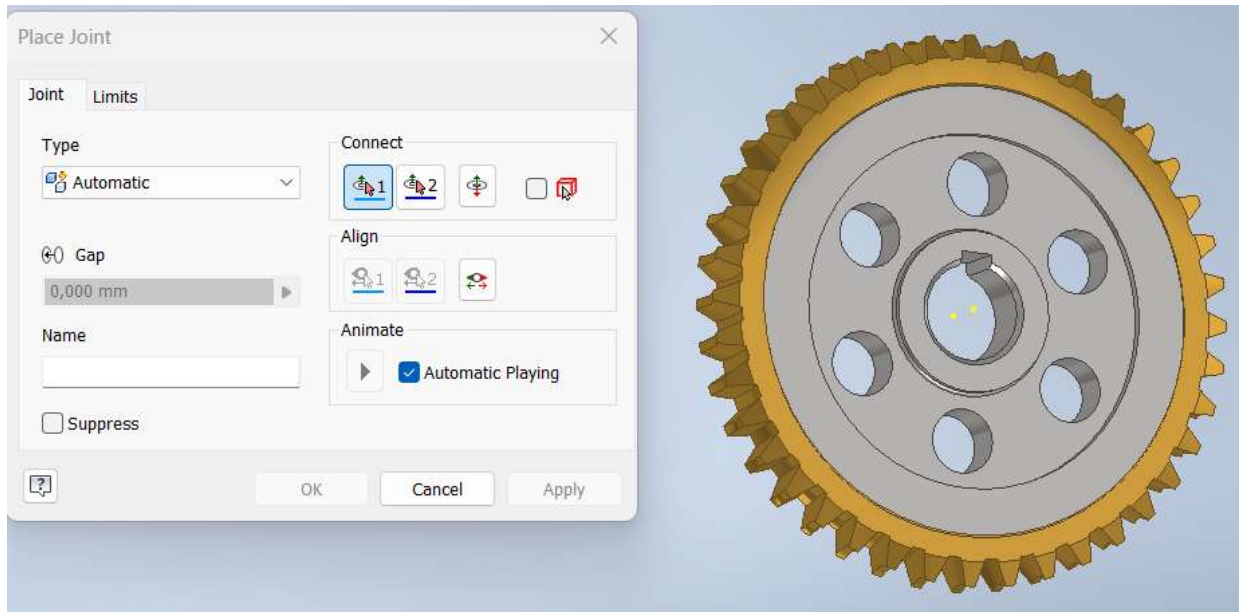


Рис. 5.18. Складання черв'ячного колеса

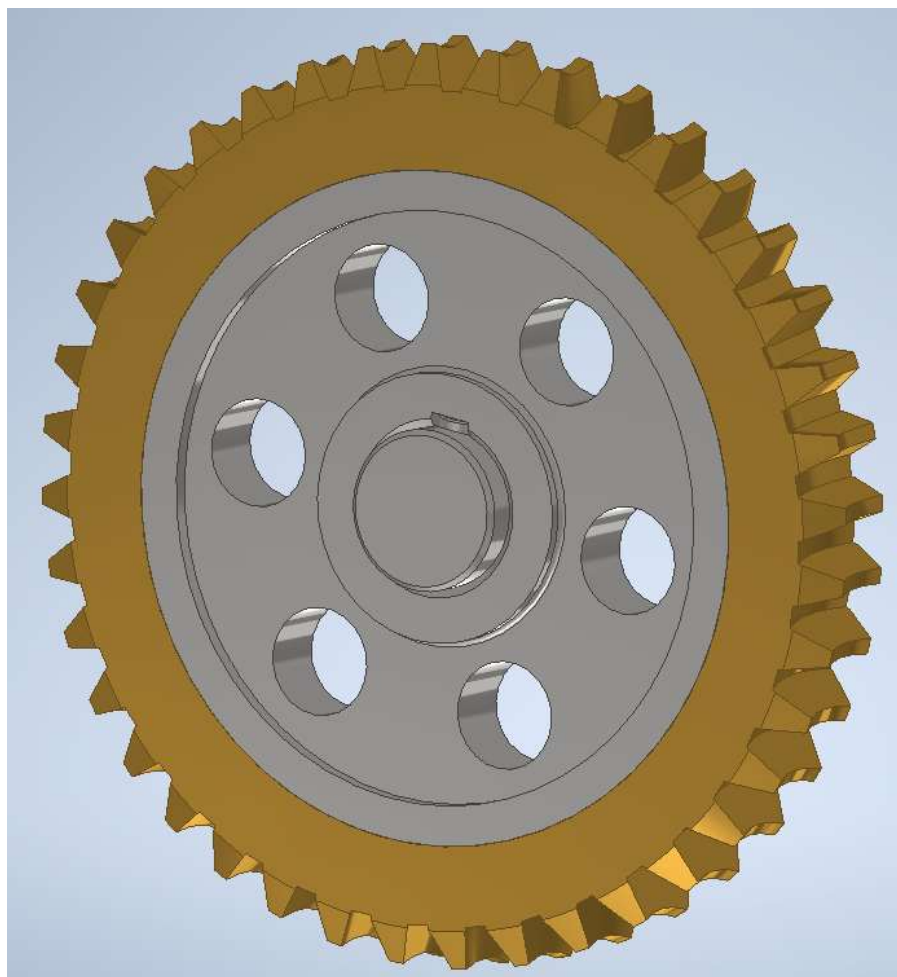


Рис. 5.19. Модель збірки черв'ячного колеса

Генерацію шпонкового з'єднання паза можна зробити аналогічно збірці вала з циліндричним колесом. Одночасно виконується й розрахунок шпонкового з'єднання. Програма сама визначає розміри шпонки й пазів на маточині в залежності від вибраного стандарту.

По отриманні збірки черв'ячного колеса можна створити збірку всієї черв'ячної передачі.



Контрольні питання

1. Для виконання яких завдань використовують бібліотеку програми Autodesk Inventor?
2. Яким чином позначають матеріал для виготовлення деталі, виконуючи її модель у програмі Autodesk Inventor?
3. Які спряження належить використати для виконання моделі зачеплення черв'ячної передачі?
4. Наведіть перелік типів зачеплень черв'ячної передачі доступних у генераторі компонентів черв'ячної передачі.
5. Назвіть особливості моделювання передачі.
6. Опишіть особливості вибору матеріалів черв'ячної пари та її розрахунку.
7. Назвіть порядок проєктування черв'ячної передачі в генераторі.
8. Побудова додаткових елементів черв'яка.
9. Побудова додаткових елементів черв'ячного колеса.
10. Відмінність проєктування черв'ячного колеса від проєктування циліндричного колеса.

6. ПРОЄКТУВАННЯ ПАСОВИХ ПЕРЕДАЧ

6.1 Проєктування пасових передач

Пасові передачі – це передачі приводів гнучкою ланкою, призначені для передавання потужності від одного вала на другий – при значних міжосьових відстанях. Навантаження передають сили тертя між шківками і пасом. Для створення між пасом та шківками необхідної сили тертя пас має бути притиснутим до шківків, тому необхідно створення попереднього натягу.

За допомогою Генератора клинопасової передачі в AUTODESK можна проєктувати і виконувати аналіз механічної передачі для промислового використання. Генератор використовується для проєктування нескінченних клинових пасів. У розрахунку не враховується зменшення міцності через з'єднання кінців пасу. За його використання необов'язково проводити аналіз.

Передача може перебувати в одній площині тільки з осями паралельних шківків. Зсув шківків не враховується. Проміжною (середньою) площиною пасу є площина XY його системи координат. Передача теоретично може складатися з необмеженого числа шківків. Шківки можуть бути жолобчастим (ведучий та ведений) або гладкими (натяжний). Пас може рухатися за годинниковою або проти годинникової стрілки щодо (в правій частині системи координат). Жолобчастий шків необхідно розмістити всередині контуру пасу. Гладкі натяжні шківки можна розміщувати як всередині, так і поза контуром пасу.

Шківки при моделюванні нумеруються. Перший шків вважається ведучим. Решта шківків є веденими або натяжними. Вхідна потужність може розподілятися між кількома веденими шківками при використанні передатного числа P_x кожного шківка. Відповідно розраховуються сили й крутний момент.

Вкладка Design

Діалогове вікно генератора клинопасової передачі **V-Belts Component Generator** (рис. 6.1) запускається командою **V-Belts**, що знаходиться на панелі інструментів Приводу вкладки **Design**. У діалоговому вікні присутні дві вкладки – **Design** та **Calculation**.

На вкладці **Design** у групі параметрів **Pulleys** у списку присутні клинові та поліклинові паси й шківки кількох типів за стандартами ISO, ANSI, DIN, JIS, CSN та ГОСТ. Можна вибирати класичні паси або вузькі. Як правило, для роботи вибираються паси за стандартом DIN, оскільки останні стандарти гармонізовані зі стандартами ISO.

Можна задати властивості плоского шківка, якщо у властивостях вибрано саме гладкий шків. За замовчанням розмір шківка є стандартним і задається з даних таблиці, що зберігається в теці Design Data. При ввімкненні функції нестандартного розміру можливо завдання своїх властивостей шківка.

У машинобудуванні переважно застосовують пасові передачі клиновими або поліклиновими пасами. Вона може передавати більшу потужність, допускає менший кут обхвату на малому шківі, а отже, і меншу міжосьову відстань. Але через значну висоту паса виникають великі напруження згину й втрати на

зовнішнє і внутрішнє тертя. Тому слід враховувати велику кількість параметрів для проєктування пасових передач.

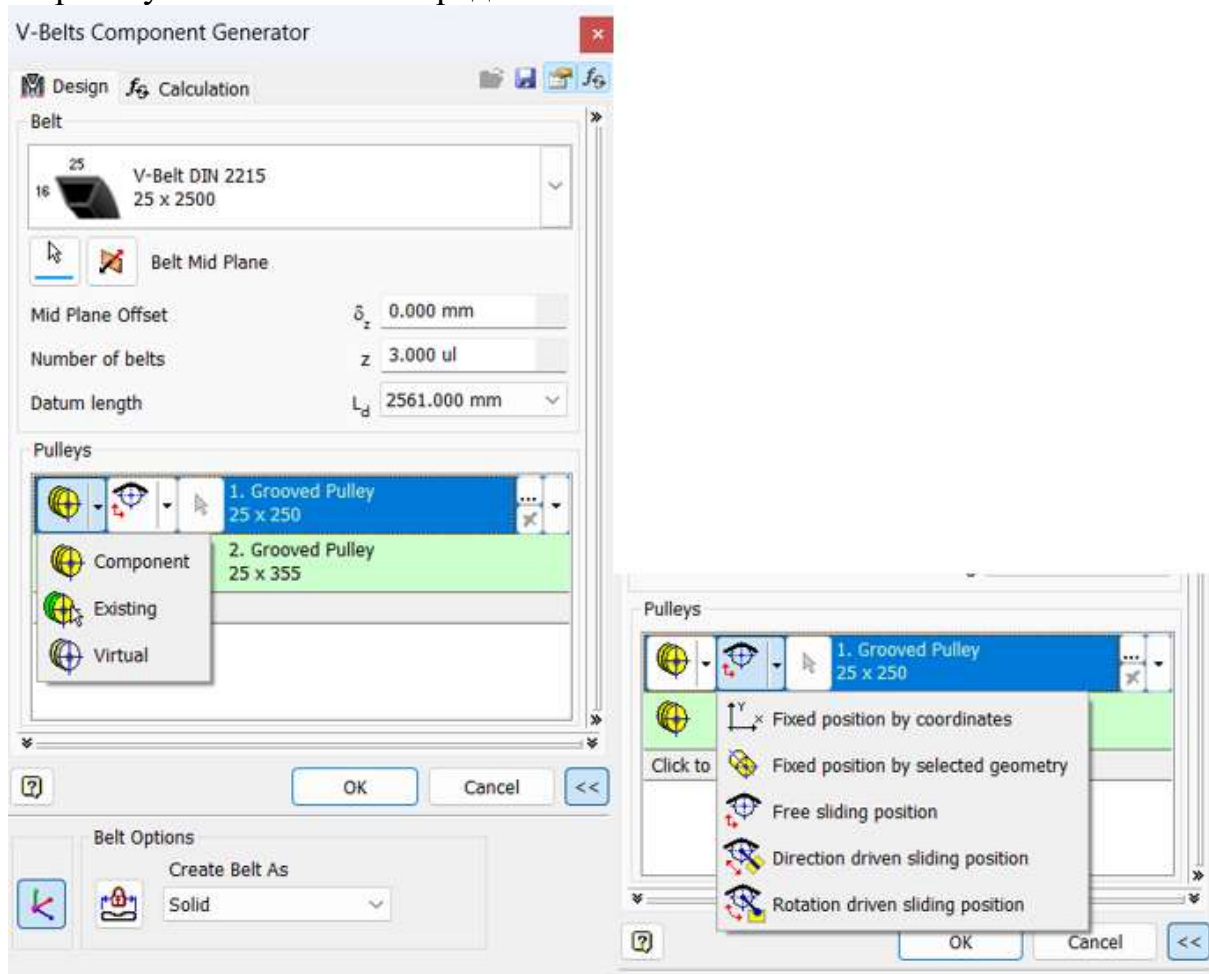


Рис. 6.1. Діалогове вікно **V-Belts Component Generator**, вкладка **Design**

За активної кнопки потрібно вибрати один із зазначених елементів для розміщення в його площині середньої площини пасу. Для клинопасової передачі приводу, наприклад, стрічкового транспортера це може бути торець другого ступеню вхідного валу конічно-циліндричного редуктора або торець другого ступеню вихідного кінця валу електродвигуна.

Для врахування висоти маточини та ширини шківа, та/або довжини установчої втулки передбачене введення величини зміщення δ_z . Ширину шківа можна врахувати згодом, після розрахунку передачі, і відредагувати величину зміщення δ_z . Для отримання інформації про величину можна натиснути кнопку **Grooved pulley**. В діалоговому вікні **Groove pulley properties** (рис. 6.2) за величинами z , f та e можна визначити ширину шківа: $W = 2f + (z - 1)e$.

З метою безпеки не рекомендується призначати число пасів $z = 1$. Рекомендується в комплекті мати $z = 3 \div 6$ пасів. Після завдання кількості пасів z у групі параметрів Belt є параметр довжини бази **Datum length** L_d . Це насправді довжина пасу. Його величину при проєктуванні передачі можна вибрати зі списку або задати положення ведучого, веденого та, за необхідності, натяжного шківів.

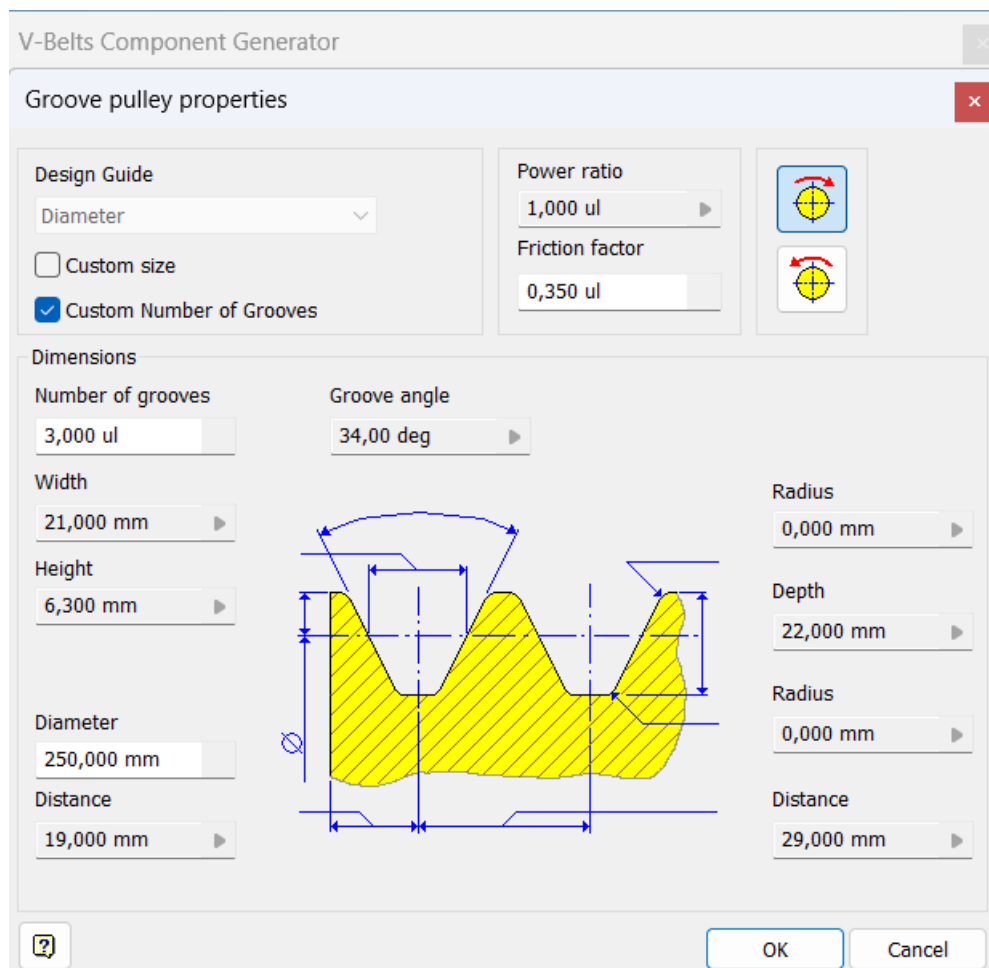


Рис. 6.2. Діалогове вікно **Groove pulley properties**

При першому виклику діалогового вікна **V-Belts Component Generator** у групі параметрів **Pulleys** присутні два керуючі записи, що відповідають моделям ведучого та веденого шківів. Третім рядком є кнопка-повідомлення. При відкритті вкладки **Pulley geometry option** можливе виконання різних варіантів моделі шківа [16]:

- **Component** - вставка моделі шківа у збірку.
- **Existing** - вибір наявного шківа у збірці. Вибір залежить від того, який шків використовується - гладкий чи з жолобом. Є певні рекомендації щодо вибору відповідної грані й положенні шківа.
- **Virtual** - проектування віртуального шківа, вставка якого в збірку не виконується й у специфікації збірки дані на нього не створюються.

Налаштування міжосьової відстані в генераторі пасів в Autodesk Inventor є важливим кроком у створенні ефективної і надійної пасової передачі. Дотриманням певних кроків можливо точно налаштувати пасову передачу, забезпечивши її оптимальну роботу і відповідність технічним вимогам. Одна з вимог - правильно налаштування міжосьової відстані. Для перевірки точності відстані між осями шківів користуються інструменти вимірювання в Inventor. Фіксація шківів на потрібних відстанях і забезпечення правильного вирівнювання досягається використанням обмежень (constraints).

Натискання відповідної вкладки **Pulley placement guide** відкриває список

напрямних для шківа, вибором одного із пунктів якого можна задати положення шківа. Можливі варіанти цих положень [16]:

- **Fixed position by coordinates** – для розміщення шківа в фіксованому положенні за координатами можна використовувати цей модуль. Вказується положення за допомогою точних значень координат X і Y , або маніпулятором переміщують шківи та пас як одне ціле у нове положення;

- **Fixed position by geometry** – розміщення шківа у фіксованому положенні за допомогою геометрії використовує механізм обмежень, який дозволяє точно позиціонувати компоненти відносно інших елементів збірки. Точні значення координат неможливі, вибирається робоча точка, вісь, грань як геометричне положення осі шківа. Найчастіше використовуються обмеження типу співпадіння або вирівнювання;

- **Free sliding position** – розміщення шківа в положенні з вільним ковзанням дозволяє моделювати реальні умови, де шків може вільно переміщуватися вздовж осі вала. Це може бути корисно, коли потрібно змоделювати ситуацію, де шків повинен вільно переміщатися, наприклад, для натягу паса. При цьому у нове положення переміщується тільки вибраний шків;

- **Direction driven sliding position** – для розміщення шківа з напрямленим ковзанням можна використовувати обмеження, які дозволяють шківу точно контролювати рух вздовж заданого напрямку. Генератор автоматично вибирає найближчу довжину паса і розраховує точне положення центру шківа. Це може бути корисно для моделювання шківів, які повинні рухатися в певному напрямку, наприклад, для натяжки паса або регулювання його положення;

- **Rotation driven sliding position** – можна використовувати комбінацію обмежень, які дозволяють шківу обертатися та одночасно рухатися вздовж осі. Генератор виконує правильний поворот на основі довжини пасу, центром повороту стає проєкція вибраної геометрії на середню площину пасу. Використання цих обмежень забезпечує необхідну свободу руху та контроль, що є корисним для аналізу динамічних систем та забезпечення коректної роботи механізмів.

За необхідності змінити тип шківа потрібно натиснути кнопку **Browse for pulley type** й вибрати необхідний, а якщо потрібно додати до моделі ведений або натяжний шків - натиснути на кнопку-повідомлення додавання шківів **Click to add pulley...** З'явиться діалогове вікно без заголовка для вибору типу шківа (рис. 6.3).

В нижньому рядку вкладки Design присутні такі параметри паса:

- Belt coordinate system on/off (Координатна система паса);

- Belt options (Варіанти паса):

- Блокування довжини паса **Lock belt length on/off**. За активного стану цієї кнопки при переміщенні шківів зміна довжини пасу неможлива.

- Створення паса **Create Belt As** –присутні значення ескізу та моделі. За першим значенням створюється нескінченний пас у вигляді ескізу, а за другим – у вигляді твердотілої моделі.

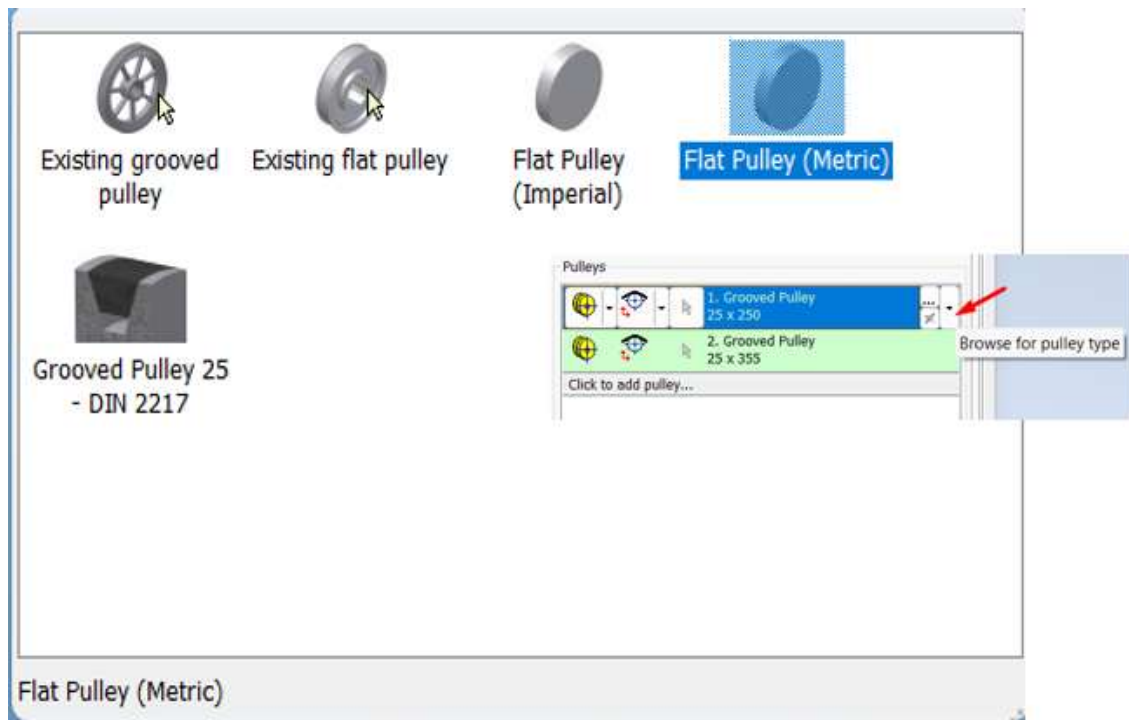


Рис. 6.3. Діалогове вікно вибору типу шків

Крім розглянутих в діалоговому вікні властивості шківів з канавкою **Groove pulley properties** можна задати значення деяких параметрів. Група параметрів **Design Guide** призначено для контролю розміру веденого шків на основі зазначеного діаметра **Diameter** або відповідного передаточного відношення **Transmission Ratio**.

- Завдання нестандартного розміру шків. За замовчуванням розмір шків є стандартним і задається за допомогою даних таблиці, що зберігається в бібліотеці. За допомогою шаблону даних можна швидко змінити формат шків, змінивши його діаметр. Якщо включена функція нестандартного розміру, всі параметри шків визначаються користувачем.

- Завдання нестандартної кількості канавок. Якщо вирішено використовувати більшу кількість канавок, ніж існує в даній пасовій передачі, то потрібно активувати цей параметр і ввести своє значення, адже за замовчуванням кількість канавок відповідає кількості пасів. Незалучені канавки можна використовувати пізніше в ступінчастих пасових передачах.

Величина параметра передаточного числа відповідає величині потужності, що передається вибраним шківом. Якщо передаточне число становить нуль, шків вважається натяжним.

Результати розрахунку геометрії відображаються у вікні результатів.

Проектування передачі з двома шків

Порядок проектування клинопасової передачі з двома шків може складатись із таких кроків:

1. На вкладці **Design** у групі параметрів **Belt** із списку вибрати стандарт та розмір поперечного перерізу пасу.
2. Вибрати площину або плоску грань для середньої площини пасу та задати попередню величину зміщення δ_z .

3. Ввести всі можливі геометричні дані про передачу:

- кількість пасів **z**;
- тип геометрії шківа (для створення моделі **Component** або **Existing**);
- вибрати спосіб завдання положення шківів у середній площині пасу.

Наприклад, це може бути "Положення зі спрямованим зміщенням" для ведучого шківа та "Зафіксоване положення щодо вибраних елементів геометрії" для веденого. Як напрямна для переміщення ведучого шківа може бути робоча вісь, що проходить через вісь вихідного кінця приводного двигуна та паралельна напрямку його переміщення при натягуванні пасу. Як вибрані елементи геометрії може слугувати циліндрична поверхня вхідного валу редуктора або його вісь. При цьому, звичайно, моделей двигуна та редуктора може ще не існувати;

- за необхідності змінити тип шківа потрібно натиснути кнопку "Знайти тип шківа" й замінити тип вибраного шківа;
- задати геометричні розміри шківів у діалоговому вікні.

Задати властивості шківів з канавкою у групі параметрів **Pulley** або за допомогою маніпуляторів у графічному вікні;

4. Вибрати тип створюваної моделі пасу із списку як **Solid**;

5. Перейти на вкладку **Calculation** та виконати розрахунок передачі. За необхідності, якщо виконувався перевірочний розрахунок, скоригувати параметри розміри передачі й повторно виконати розрахунок. Якщо розрахунок не потрібен, то перейти до наступного кроку.

6. Перейти на вкладку **Design** і скоригувати зміщення середньої площини пасу δ_z з врахуванням ширини шківів.

7. Натиснути кнопку ОК і призначити назви файлів.

Проектування пасової передачі з трьома шківками

Порядок проектування клинопасової передачі з трьома шківками виконується аналогічно передачі з двома шківками. Вибирається один ведучий і два ведених:

1. На вкладці **Design** у групі параметрів **Belt** зі списку вибрати стандарт та розмір поперечного перерізу пасу.

2. Вибрати площину або плоску грань для середньої площини пасу та задати попередню величину зміщення δ_z .

3. Натиснути на кнопку-повідомлення і додати третій шків.

4. Ввести всі можливі геометричні дані про передачу:

- кількість пасів **z**;
- тип геометрії шківа (**Component** або **Existing**);
- вибрати спосіб завдання положення шківів у середній площині пасу.

Наприклад, це може бути "Положення з спрямованим зміщенням" для ведучого шківа та "Зафіксоване положення щодо вибраних елементів геометрії" для ведених. В якості напрямної для переміщення ведучого шківа може бути робоча вісь, що проходить через вісь вихідного кінця приводного двигуна та паралельна напрямку його переміщення при натягуванні пасу. Як вибрані елементи геометрії може слугувати циліндрична поверхня вхідного валу редуктора або його вісь.

Аналогічно попередньому випадку, моделей двигуна та редуктора може ще не існувати;

- за необхідності змінити тип шківа потрібно натиснути кнопку "Знайти тип шківа" й замінити тип вибраного шківа;

- задати геометричні розміри шківів у діалоговому вікні властивостей шківів з канавкою або за допомогою маніпуляторів у графічному вікні. У діалоговому вікні властивостей шківів з канавкою для другого та третього шківів задати значення передатного числа у пропорції, що відповідає розподілу потужності між ними, наприклад, $P_{x2}=0,5$ та $P_{x3}=0,5$;

5. Вибрати тип створюваної моделі пасу із списку як **Solid**;

6. Перейти на вкладку **Calculation** та виконати розрахунок передачі. За необхідності, якщо виконувався перевіровий розрахунок, скоригувати параметри розміри передачі й повторно виконати розрахунок. Якщо розрахунок не потрібен, то перейти до наступного кроку.

7. Перейти на вкладку **Design** і скоригувати зміщення середньої площини пасу δ_z з врахуванням ширини шківів.

8. Натисніть кнопку ОК і призначити назви файлів.

6.2 Визначення геометричних параметрів пасової передачі

Введення вихідних даних та проведення розрахунку

Перший шків вважається ведучим. Решта шківів є веденими або натяжними.

Після переходу на вкладку **Calculation** (рис. 6.4) в групі параметрів **Type of calculation** можна задати:

- перевірку міцності обраного пасу, кількості пасів і траєкторії пасу. В результаті перевірки міцності може бути дана рекомендація щодо збільшення кількості пасів, якщо необхідне навантаження не може бути передане при використанні заданого компонування передачі.

- при виборі заданого числа пасів не потрібно задавати кількість пасів на вкладці **Design**. Замість цього будуть надані рекомендації щодо кількості пасів з урахуванням заданого навантаження, типу і траєкторії пасу.

Спосіб завдання навантаження такий же, як і в інших передачах.

При проектуванні пасової передачі в генераторі пасів Autodesk Inventor необхідно враховувати кілька важливих коефіцієнтів і параметрів. Ці коефіцієнти допомагають точно налаштувати передачу та забезпечити її ефективну і надійну роботу:

- потужність, яка передається, коригується експлуатаційним коефіцієнтом **Service factor** c_2 ;

- за допомогою поправочного коефіцієнта дуги контакту **Arc of contact correction factor** c_1 коригується номінальна потужність клинового пасу для шківів, у яких дуга контакту не дорівнює 180 градусам. Цей коефіцієнт відповідає коефіцієнту динамічного навантаження та режиму роботи пасів у приводах промислового обладнання;

- поправочний коефіцієнт кількості пасів **Number of belts correction factor**

c_4 коригує розподіл навантаження між декількома пасами при передачі з використанням більш одного клинового пасу. Коригується номінальна потужність клинового пасу за вбудованою таблицею приблизних значень;

V-Belts Component Generator

Design **Calculation**

Type of calculation: Strength Check

Load: Power, Speed --> Torque

Power: P 0,000 kW

Torque: T 0,000 N m

Speed: n 1000,000 rpm

Service factor: c_2 1,200 ul

Factors:

☐ Custom

Arc of contact correction factor: c_1 0,950 ul

Number of belts correction factor: c_4 0,950 ul

Number of pulleys correction factor: c_5 1,000 ul

Belt properties:

☐ Custom

Base power rating: P_{RB} 4,408 kW

Length correction factor: c_3 1,000 ul

Belt tensioning:

Tension factor: k_1 1,300 ul

Results

Z 3,000 ul

Z_{er} 0,000 ul

v 9,425 mps

f_b 7,386 Hz

F_p 0,000 N

F_c 79,944 N

F_t 34,642 N

F_{tmax} 34,642 N

η 0,980 ul

s 0,000 ul

C_{PR} 1,200 ul

V-Belt

P_{RB} 4,408 kW

D_{wmin} 180,000 mm

v_{max} 30,000 mps

f_{max} 60,000 Hz

m 0,300 kg/m

Pulley 1

P_x 1,000 ul

P 0,000 kW

T 0,000 N m

n 1000,000 rpm

D_p 180,000 mm

β 159,79 deg

F_1 103,927 N

F_2 103,927 N

F_r 204,629 N

F 204.629 N

Efficiency torque factor: η_t 0,980 ul

☒ Modify friction with belt speed: f_{mod} 0,012 s/m

Calculate OK Cancel <<

Рис. 6.4. Діалогове вікно **V-Belts Component Generator**, вкладка **Calculation**

- поправочний коефіцієнт кількості шківів **Number of pulleys correction factor** c_5 вносить коригування у номінальну потужність пасу. Використання натяжного шківа впливає на навантажувальну здатність пасу, тому необхідно враховувати обмеження додаткового навантаження на вигин, яке створюють додаткові або натяжні шківви. Розміри проміжних шківів не повинні надавати великий вплив на скорочення терміну служби пасу.

- потужність, що передається одним пасом, **Belt power rating** P_{Rb} обчислюється за формулами, які задаються в таблиці даних у файлах типу *.xml. Певний файл *.xml, створений в генераторі клинових пасів, містить всі доступні розміри пасів, а також необхідні механічні властивості. Основні формули

наведені зі стандартних рекомендацій, і можуть дещо відрізнятися залежно від дійсних даних виробника;

- поправочний коефіцієнт довжини паса **Belt length correction factor** c_3 враховує зміну номінальної потужності паса, довжина якого відрізняється від стандартної довжини;

- за допомогою коефіцієнта натягу **Tension factor** k_1 можна задати установчий натяг пасу з урахуванням рекомендацій виробників. Якщо натяг пасу виконується без урахування цих рекомендацій, можливі помилки при визначенні номінальної потужності пасу. Недостатній натяг паса призводить до неправильної механічної передачі, зниження ККД та виникнення перегріву та пошкодження паса через прослизання.

Після натиснення кнопки додаткових параметрів стають доступними ще два параметри:

- втрати енергії, які призводять до зниження вихідного крутного моменту, враховуються показником ККД крутного момент **Efficiency torque factor** η_t . Втрати енергії, викликані проковзуванням паса, не враховуються і визначаються генератором окремо згідно з залежністю проковзування від коефіцієнта тяги $\varphi = F_p / (F_1 + F_2)$. Поєднання зазначених вище двох факторів визначають кінцевий ККД пасового приводу;

- показник **Modify friction with belt speed** f_{mod} характеризує величину зміни коефіцієнта тертя залежно від швидкості паса.

Після введення необхідних даних потрібно натиснути кнопку розрахунку для отримання результатів. Крім того, необхідним є отримання звіту генератора клинопасової передачі. Звіт потрібен для копіювання і перенесення даних (наприклад) в генератор валів.

Результати розрахунку

У вікні результатів на вкладці Calculation генератора пасових передач до кожного приведенного результату при підведенні вказівника мишки надаються підказки. У звіті до кожного із результатів надаються назви. Але треба звернути увагу на проблему назв вхідних і вихідних параметрів.

Назви вхідних і вихідних параметрів у звітах та результатах не збігаються з назвами параметрів у методиках розрахунку, що вивчають студенти в курсі "Деталі машин". Також є проблема неправильного перекладу текстів англomовної версії Inventor на українську мову, а російськомовна версія також не гарантує точної відповідності перекладу технічних термінів.

Клинопасова передача завдяки підвищеному зчепленню паса зі шківami у порівнянні з плоскoпасовою, обумовленому ефектом клина, може передавати більшу потужність. Тому вона й більше застосована. В цілому проектування і розрахунок зубчасто-пасових передач в Генераторі пасів такий же як і клинопасових, але з деяким особливостями.

6.3 Проектування шківів для пасової передачі

Отримані контури шківів доробляються іншими інструментами, розташованими на панелі інструментів.

Побудова додаткових елементів шківів.

- діаметр отвору шківа під вал;
- товщина диска;
- діаметр маточини;
- довжина маточини;
- діаметр отворів;
- діаметр розташування отворів.

Подальші побудови кільцевих пазів і внутрішнього контуру маточини шківів принципово нічим не відрізняються від побудови моделі циліндричного зубчастого колеса. Принцип створення основних внутрішніх ступіней практично нічим не відрізняється від побудови зовнішніх.

З моделі також можна отримати робочий кресленик. На кресленику проставляємо розміри, допуски форми й взаємного розташування, вимоги до шорсткості поверхонь. Проставляємо технічні вимоги. Заповнюємо основний надпис.

6.4 Приклад проєктування клинопасової передачі

Створення файлу проєкту і запуск генератора Майстра проєктування

На стрічці натиснути вкладку „Design“ > „V-Belts“. Генератор компонентів пасової передачі створює моделі та виконує проєктувальні розрахунки та розрахунок навантажувальної здатності пасової передачі відповідно до стандартів, присутніх у бібліотеці (рис. 6,5).

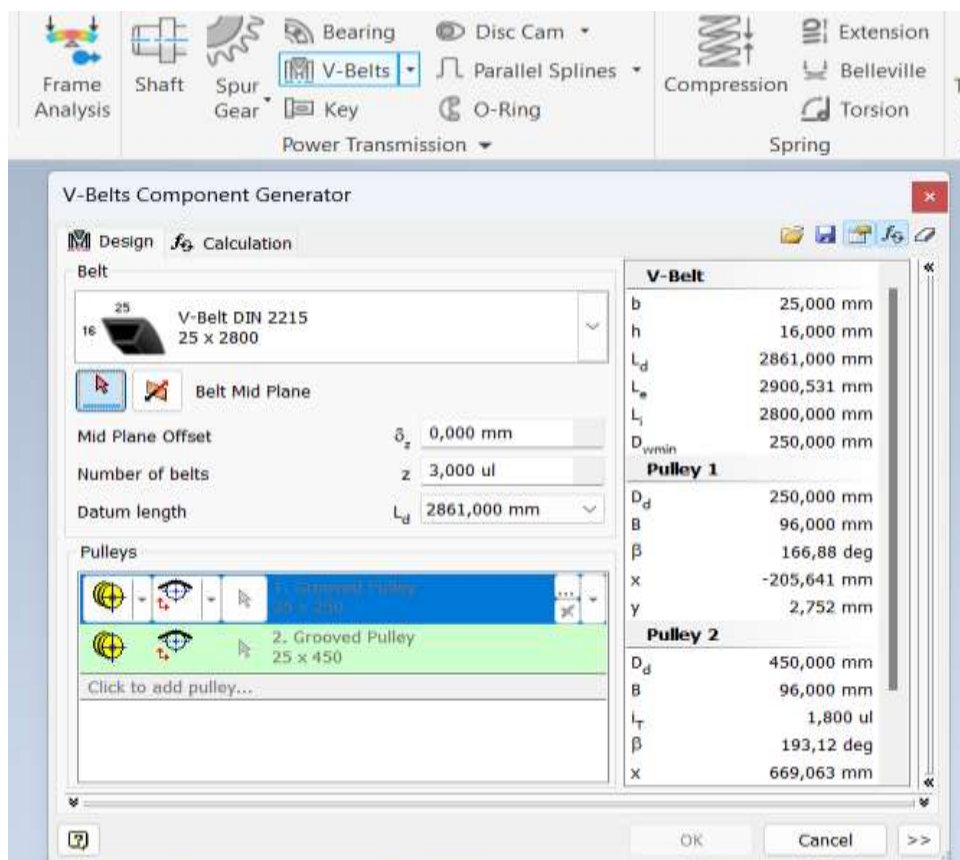


Рис. 6.5. Діалогове вікно V-Belts Component Generator

Відкриваємо діалогове вікно **V-Belts Component Generator**, вкладку **Design**. Вибираємо клиновий пас 25 за стандартом DIN (рис. 6.6).

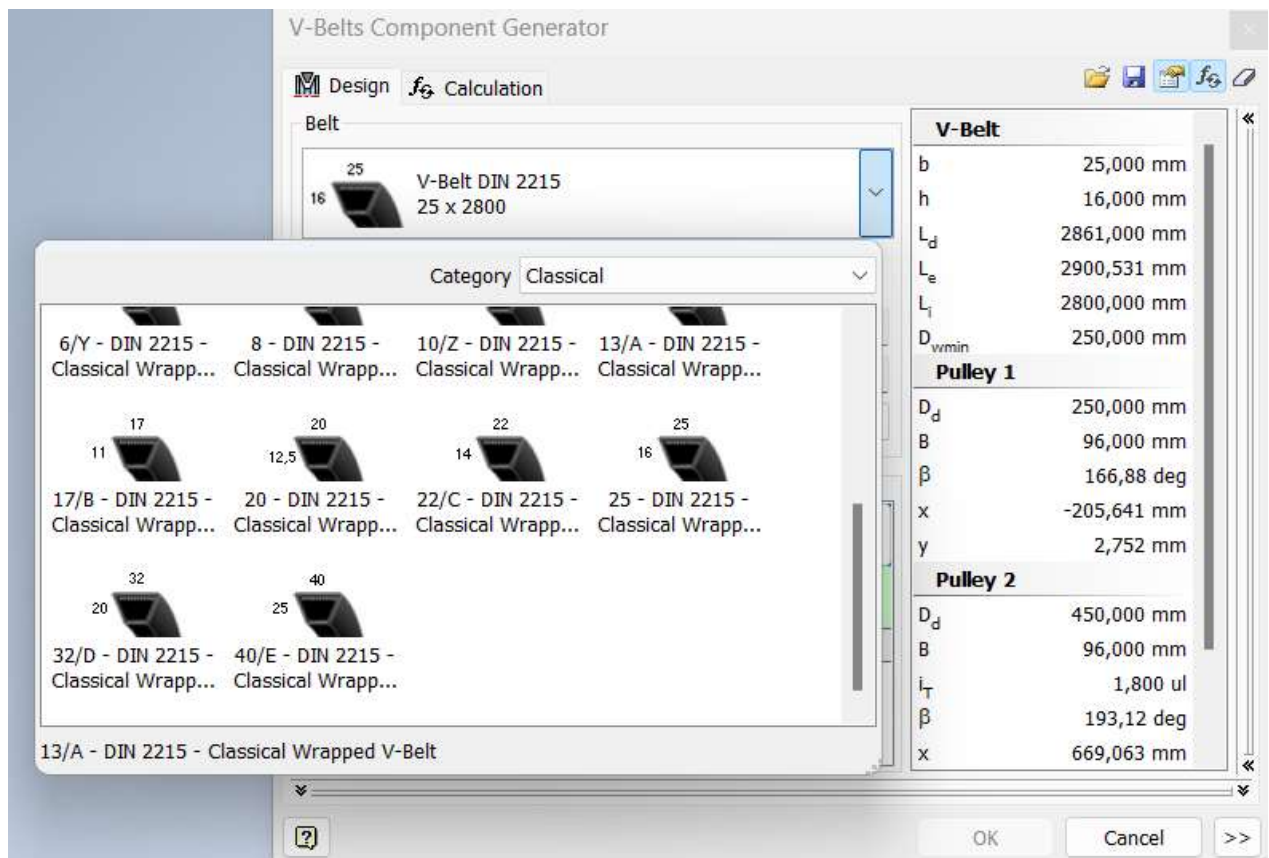


Рис. 6.6. Вибір клинового паса

6.5 Розміщення шківів пасової передачі

Для розміщення шківів пасової передачі виконується різними способами.

Можна виконати вставку шківа як компонента. Цей параметр використовується для створення нового документа деталі шківа. Програма використовує стандартні файли шаблону для шківів та пасів. Або вибрати існуючий шків у збірці. Цей параметр використовується, якщо шків, який повинен належати до передачі паса, вже існує у збірці.

При виборі шківа **Existing** вставка шківа в складанні не виконується. Цей параметр схожий на **Component**, але в складанні не створюється компонент. Його використовують, якщо невідомо, який шків буде задіяний у збірці. При необхідності ці налаштування в будь-який час можна змінити й відтворити всі елементи передачі.

Для розміщення шківів вибирається будь-яка площина, наприклад XY (рис. 6.7).

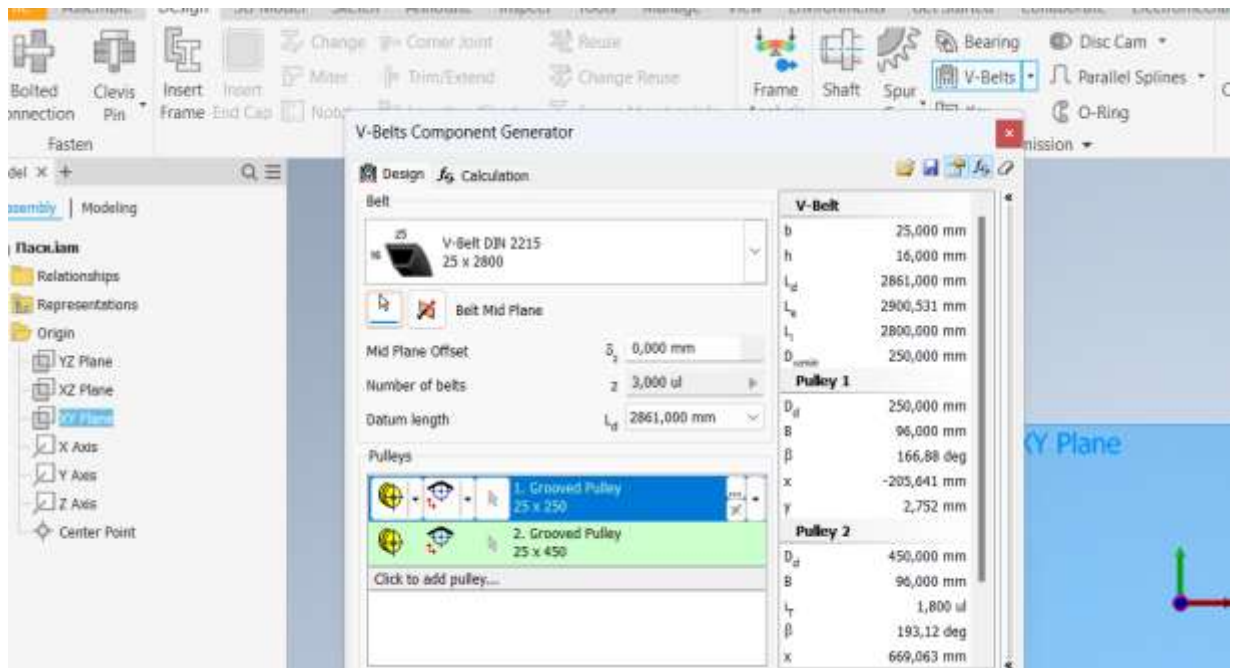


Рис. 6.7. Вибір площини для розміщення шківів

Задаємо параметри пасової передачі: Число пасів, довжину паса й т.д.

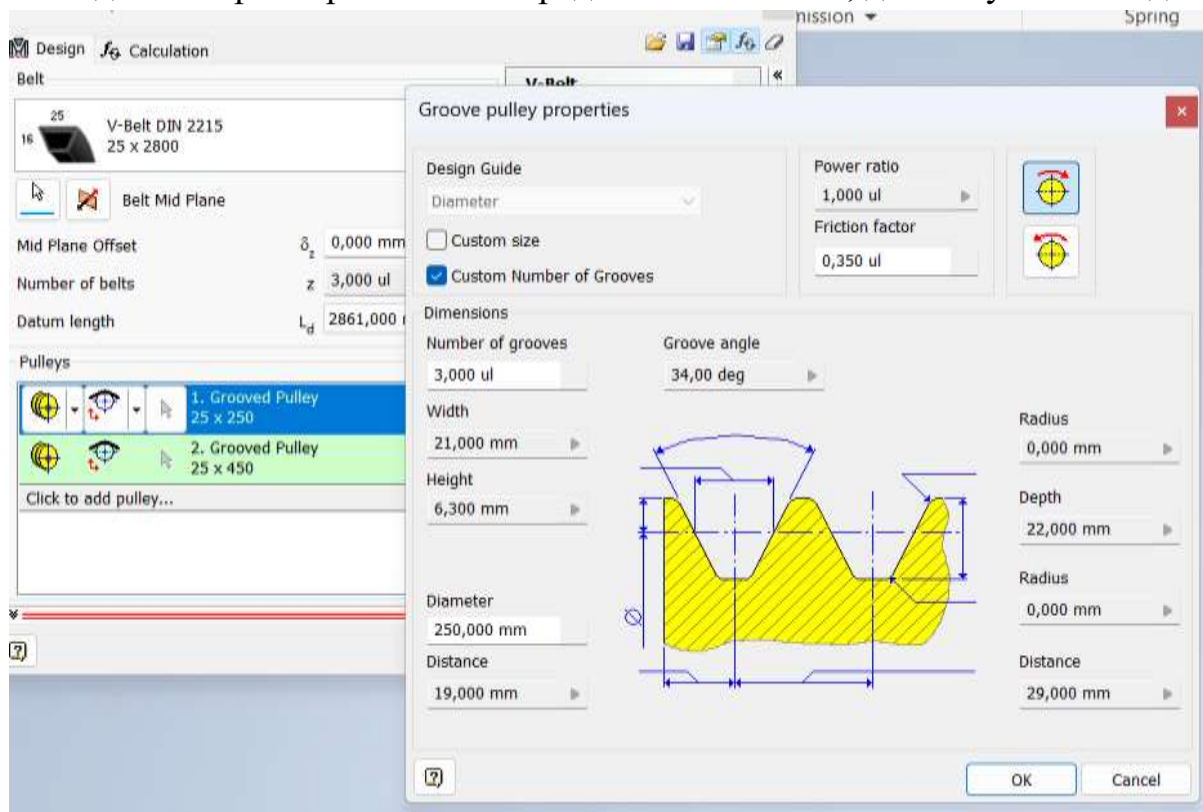


Рис. 6.8. Параметри пасової передачі

В групах параметрів **Pulleys** вибрати із списків параметри **Component** (рис. 6.9).

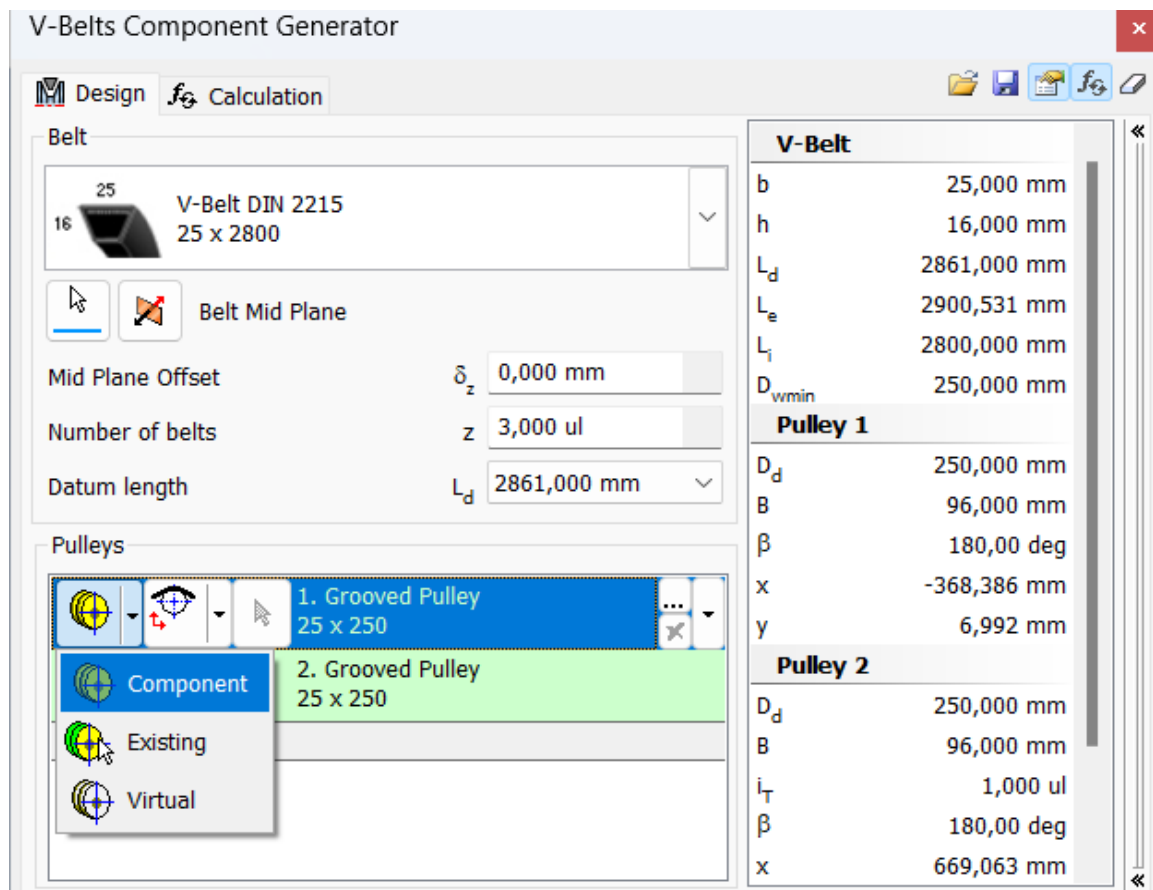


Рис. 6.9. Вибір параметру **Component**

Задаємо параметри веденого шківa (рис. 6.10).

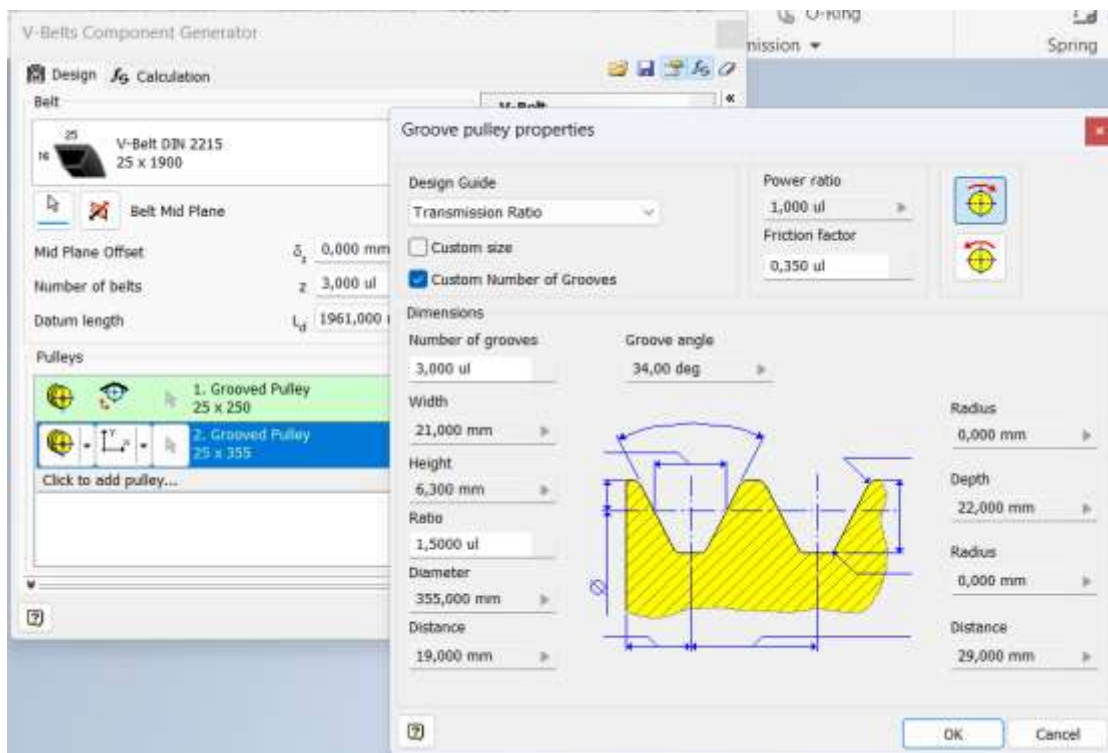


Рис. 6.10. Параметри веденого шківa

Переходимо у вкладки **Calculation** і виконуємо розрахунок.

V-Belts Component Generator

Design Calculation

Type of calculation
Strength Check

Load
Power, Speed --> Torque

Power P 5,900 kW

Torque T 39,126 N m

Speed n 1440,000 rpm

Service factor c_2 1,400 ul

Factors
☒ Custom

Arc of contact correction factor c_1 0,983 ul

Number of belts correction factor c_4 0,950 ul

Number of pulleys correction factor c_5 1,000 ul

Belt properties
☐ Custom

Base power rating P_{RB} 11,004 kW

Length correction factor c_3 1,000 ul

Belt tensioning
Tension factor k_1 1,300 ul

Results

Z 3,000 ul

Z_{er} 0,804 ul

v 18,850 mps

f_b 14,720 Hz

F_d 313,005 N

F_c 458,344 N

F_t 283,977 N

F_{tmax} 336,145 N

η 0,978 ul

s 0,002 ul

c_{PR} 5,223 ul

V-Belt

P_{RB} 11,004 kW

D_{wmin} 250,000 mm

v_{max} 30,000 mps

f_{max} 60,000 Hz

m 0,430 kg/m

Pulley 1

P_x 1,000 ul

P 5,900 kW

T 39,126 N m

n 1440,000 rpm

D_p 250,000 mm

β 172,51 deg

F_1 1008,435 N

F_2 695,430 N

F_r 1700,348 N

F_t 1700,225 N

Calculate OK Cancel

Efficiency torque factor η_t 0,980 ul

☒ Modify friction with belt speed f_{mod} 0,012 s/m

Рис. 6.11. Розрахунок пасової передачі

Генератор розраховує міжосьову відстань або розраховує передаточне відношення, підбирає основні розміри для виготовлення та перевірки, розраховує навантаження, а також виконує перевірку міцності.

Збереження проєкту.

Переконайтесь, що розрахунок свідчить про відповідність проєкту - Calculation indicates design compliance. Показники, які не відповідають вимогам міцності, будуть виділені червоним кольором. Тоді слід змінити вихідні дані й знов увімкнути розрахунок. Після коригування вхідних даних для розрахунку й отримання відповідних показників натиснути ОК і отримати згенеровану пасову передачу, що відповідає вимогам міцності (рис. 6.12).

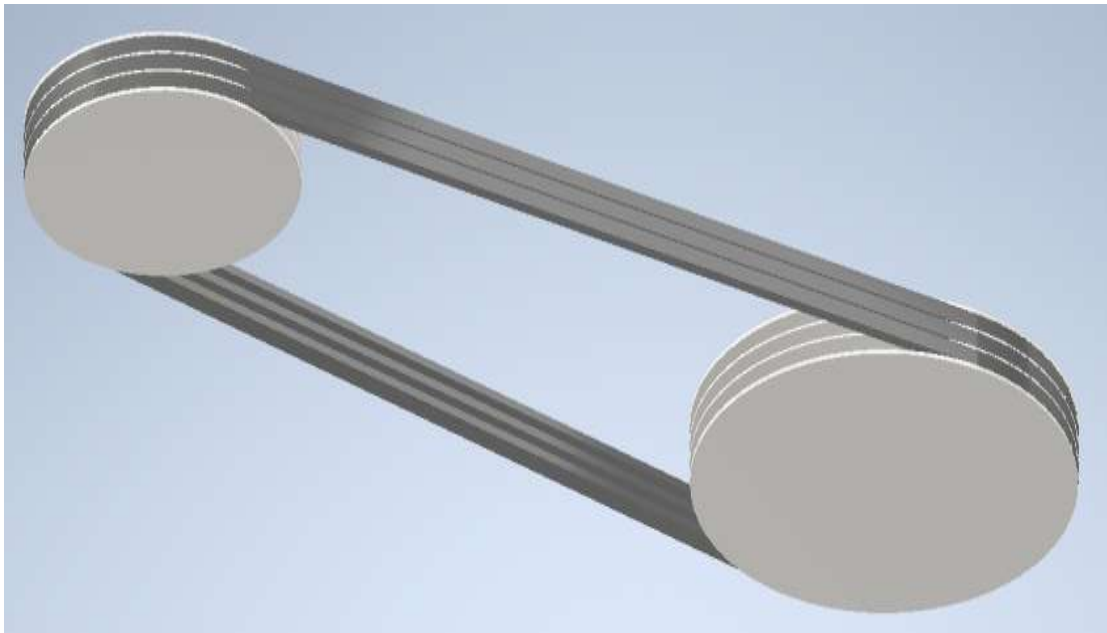


Рис. 6.12. Згенерована пасова передача

Формування файлу з результатами розрахунків. При необхідності збереження результатів розрахунку пасової передачі натиснути відповідну кнопку **Results** й зберегти результати розрахунків у форматі *.htm (рис. 6.13).

По завершенні генерації пасової передачі її елементи слід допрацювати, побудувати додаткові елементи шківів.

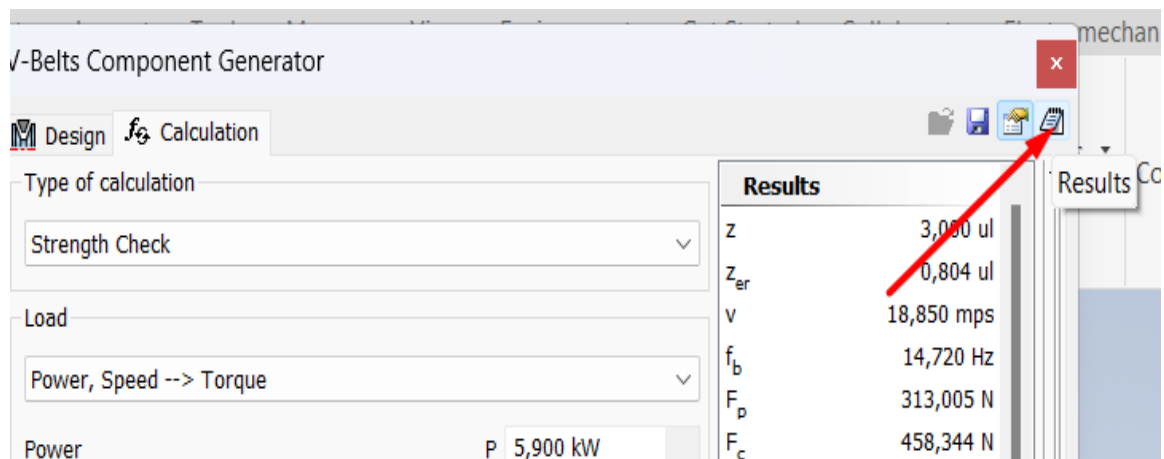


Рис. 6.13. Збереження результатів розрахунків

Побудова додаткових елементів шківів.

Виділіть правою кнопкою миші шків ведучий Grooved Pulley 1:1, натисніть для редагування Edit (рис. 6.14).

Виділіть торцеву частину шківів і створіть новий ескіз натиснувши кнопку створення ескізу Start 2D Sketch. Побудуйте два кола відповідних діаметрів, закрийте ескіз (Exit).

Натиснувши кнопку Extrude, вирізати частину ескізу між побудованими колами на відповідну відстань. Побудувати такі самі кола з другого боку моделі, вирізати на ту саму відстань (рис. 6.15).

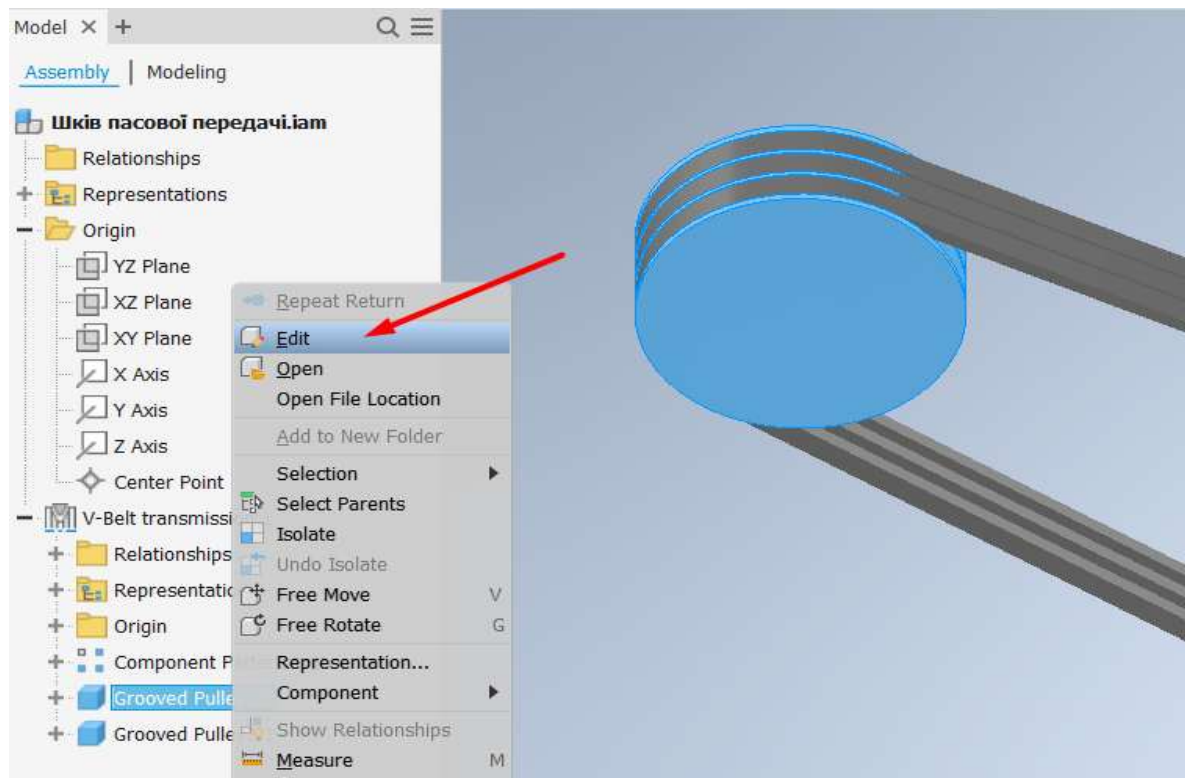


Рис. 6.14. Редагування ведучого шківa

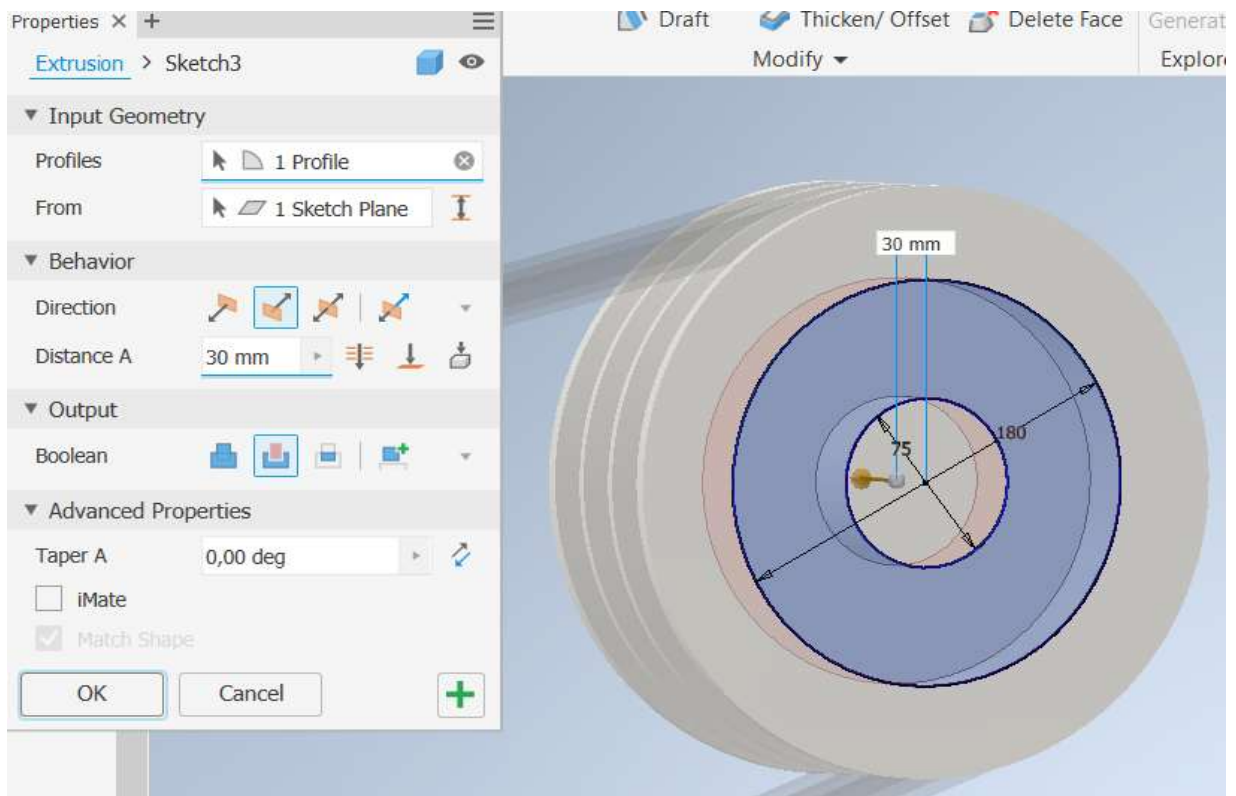


Рис. 6.15. Побудова додаткових елементів шківa

Для створення отвору під вал виділіть торцеву частину шківів і створіть новий ескіз. Побудуйте коло відповідного діаметра, закрийте ескіз; для вирізу наскрізного отвору натисніть кнопку Extrude (рис. 6.16).

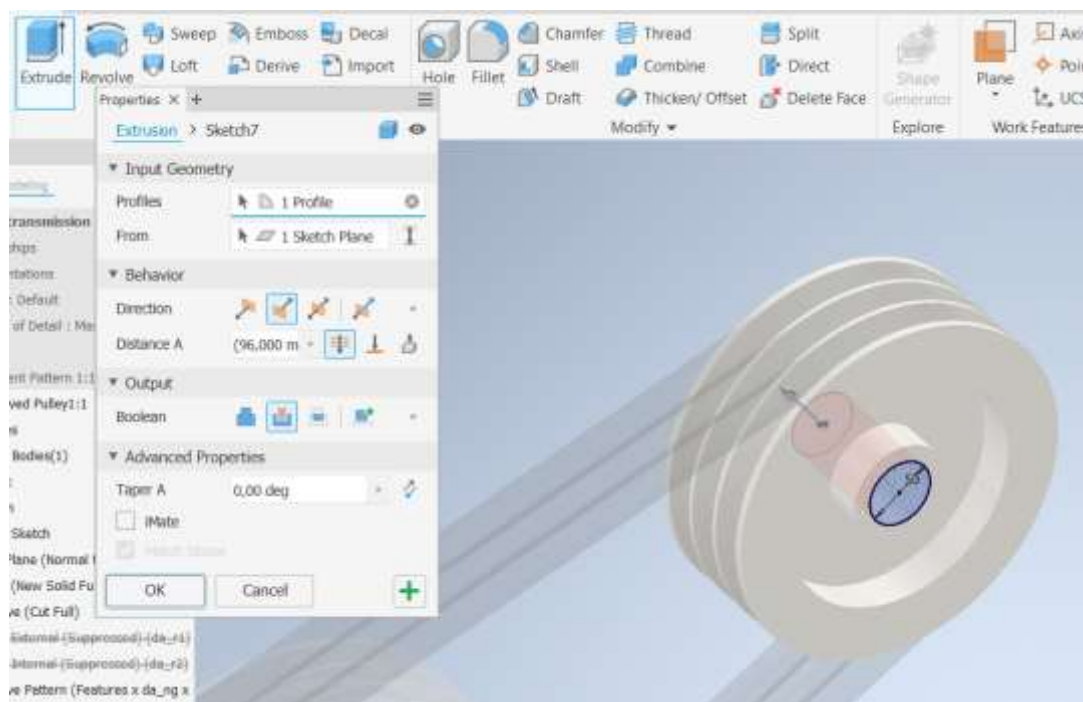


Рис. 6.16. Побудова отвору під вал

Для моделювання паза під шпонку необхідно побудувати прямокутник певних розмірів на новому ескізі, закрити ескіз, знов натиснути кнопку Extrude для вирізу через все (рис. 6.17).

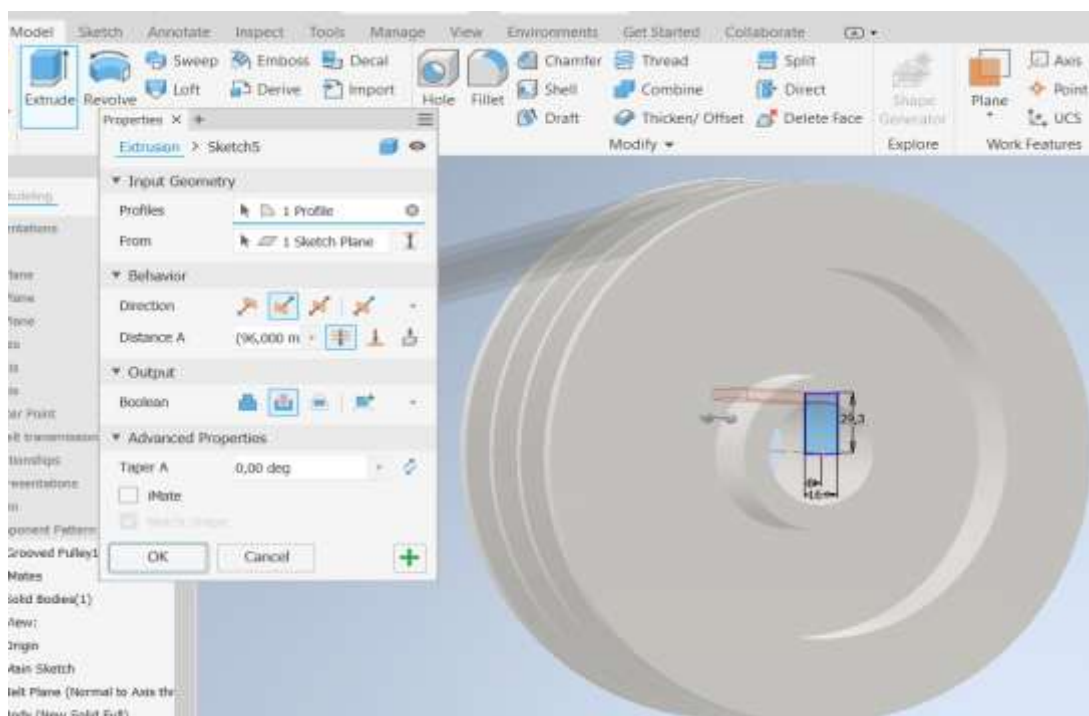


Рис. 6.17. Моделювання паза під шпонку

Далі будуються фаски на отворі під вал, торцевих частинах шківів, перехідні ділянки диска й маточини. Для кращого відображення можна перейти у режим перегляду моделі Shaded with Edges (рис. 6.18).

Додаткові параметри веденого шківів виконуються аналогічно побудови ведучого шківів.

Виділіть правою кнопкою миші ведений шків, натисніть Edit (редагувати).

Виділіть торцеву частину шківів і створіть новий ескіз натиснувши кнопку Start 2D Sketch. Побудуйте два кола відповідних діаметрів, закрийте ескіз (Exit), натисніть кнопку Extrude - вирізати частину ескізу між побудованими колами на визначену відстань. Побудувати такі самі кола з другого боку моделі, вирізати на таку саму відстань. Аналогічно створюється й паз під шпонку, будуються фаски на отворі під вал, округлення переходу диска і маточини.

Для зручності побудови можна перейти у вкладку модуля ведений шківів. На бічній площині шківів створюється новий ескіз, будується коло визначеного діаметра, за допомогою інструмента Circular будуються 6 кіл (рис. 6.19), інструментом Extrude робляться наскрізні отвори.

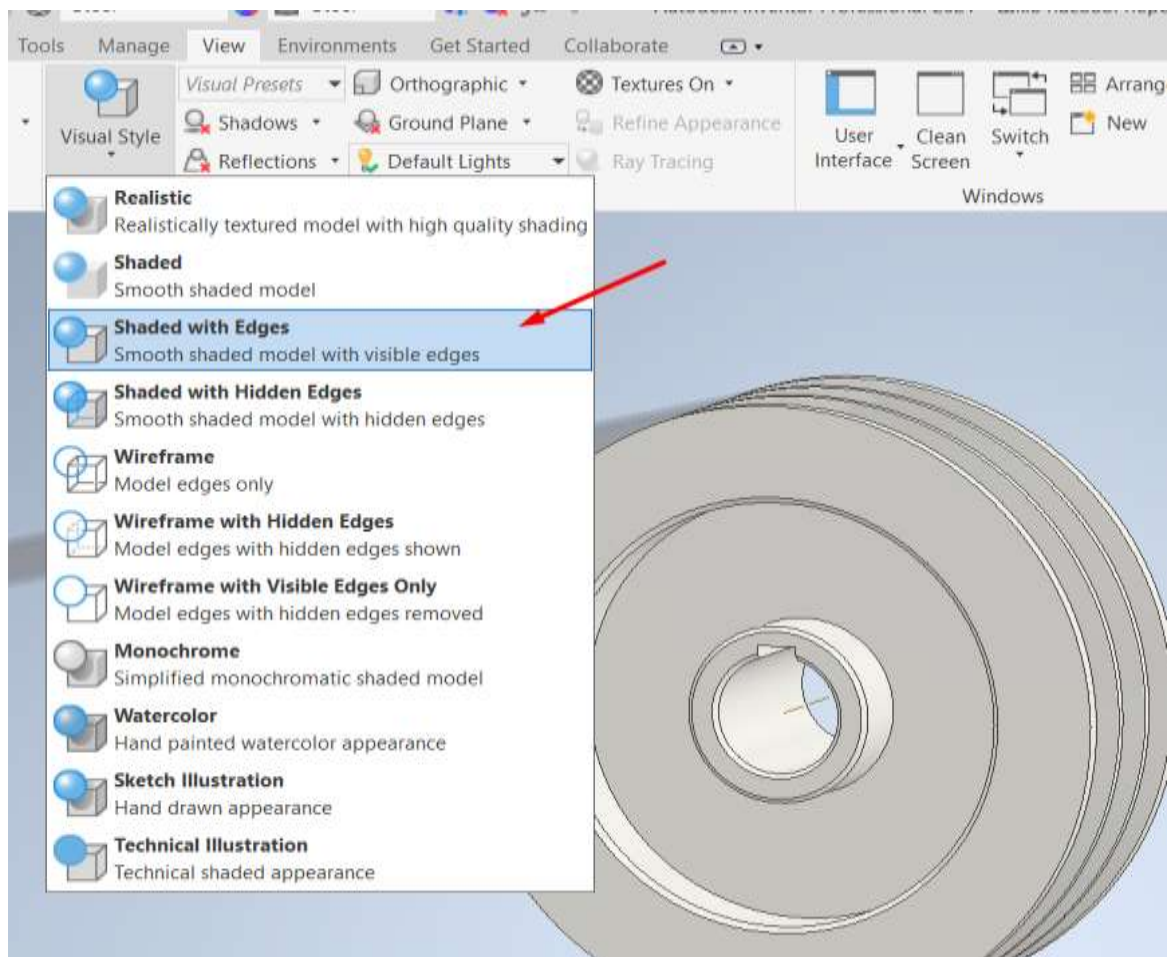


Рис. 6.18. Режим перегляду моделі Shaded with Edges

При користуванні загальними способами моделювання потрібно знати розміри шпонкового паза вала й маточини шківів. Треба мати довідкові дані певного стандарту, за яким виконується шпонкове з'єднання.

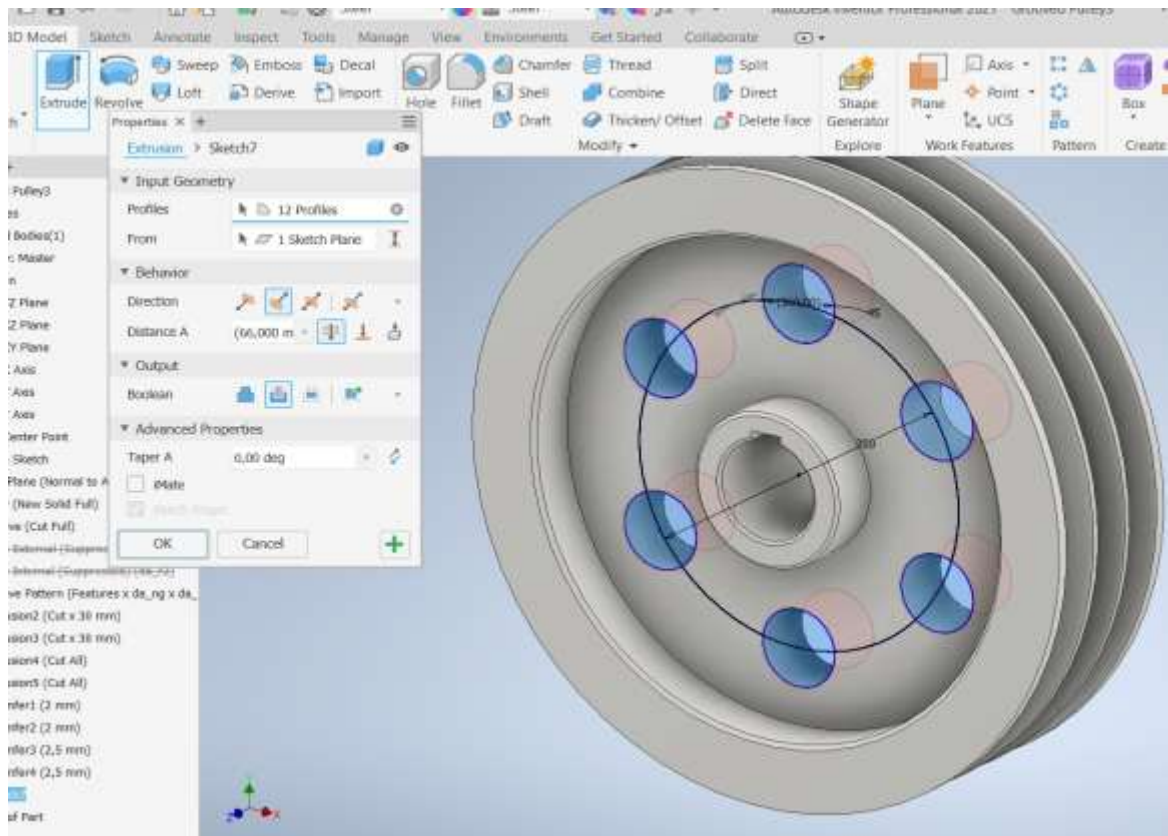


Рис. 6.19. Модель веденого шківа

Для отримання графічного зображення передачі слід перейти у вкладку збірки (рис. 6.20).

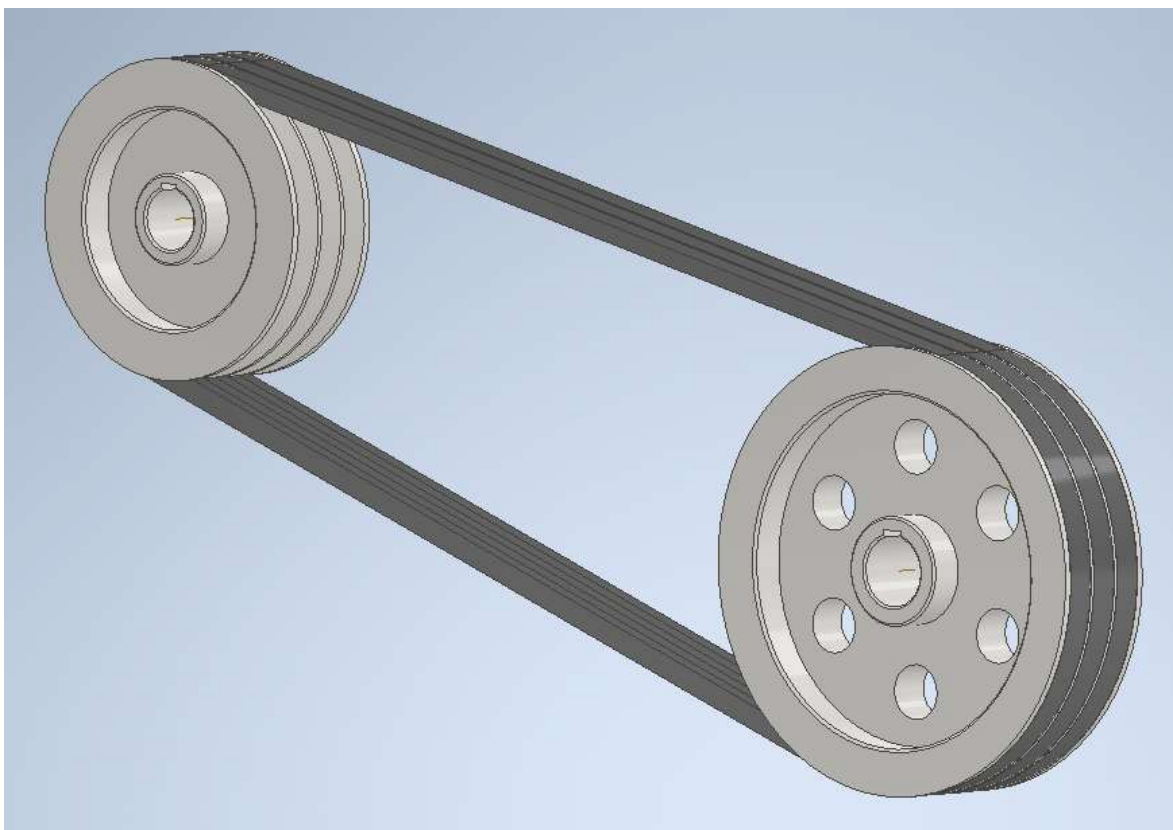


Рис. 6.20. Згенерована клинопасова передача

При доопрацюванні елементів шківів зручно користуватися генерацією шпонкового з'єднання. Одночасно виконується й розрахунок шпонкового з'єднання. Програма сама визначає розміри шпонки й пазів на валу та маточині в залежності від вибраного стандарту.

Після введення діаметра валу вибирається відповідна шпонка, а також найменша довжина, при якій вона може витримати необхідне навантаження. За довжиною шпонки призначається довжина маточини шківа.

Вибирається шпонка для вставлення. Визначаються межі валу, на яких необхідно розмістити паз. Відповідно до діаметра валу задаються параметри шпонки. Визначається розміщення канавки маточини. В області **Select Objects to Generate** обираються об'єкти для вставки. Усі параметри вибрано за замовчуванням. Для зміни довжини і розміщення шпонки можна використовувати стрілки (рис. 6.21).

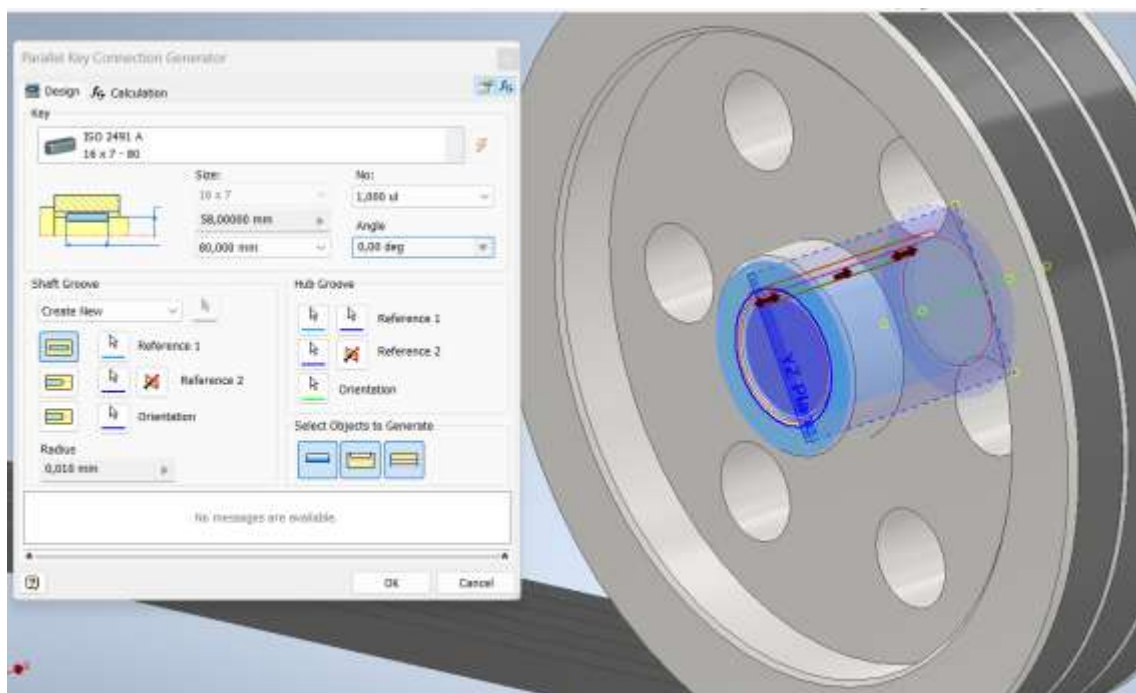


Рис. 6.21. Генерація шпонкового з'єднання

6.6 Проектування зубчастих пасів

Synchronous Belts Component Generator призначений лише для нескінченних зубчастих пасів. Передача може бути в одній площині тільки з осями паралельних шківів. Усунення шківів не враховується. Проміжною площиною ремня є площина XY системи координат.

Проектування виконується аналогічно проектуванню клинових пасів. На стрічці вибирається з вкладки **Design** панелі **Power Transmission "Synchronous Belts"**. Далі в генераторі слід перейти на вкладку **Design**.

Вибирається проміжна площину траєкторії паса. Щоб вибрати пас натискають стрілку поруч із полем редагування **Belt**. Для генерації передачі додаються два шків, перший з яких завжди є ведучим. З переліку стандартів, присутніх в бібліотеці, вибирається тип зубчастого паса (рис. 6.22).

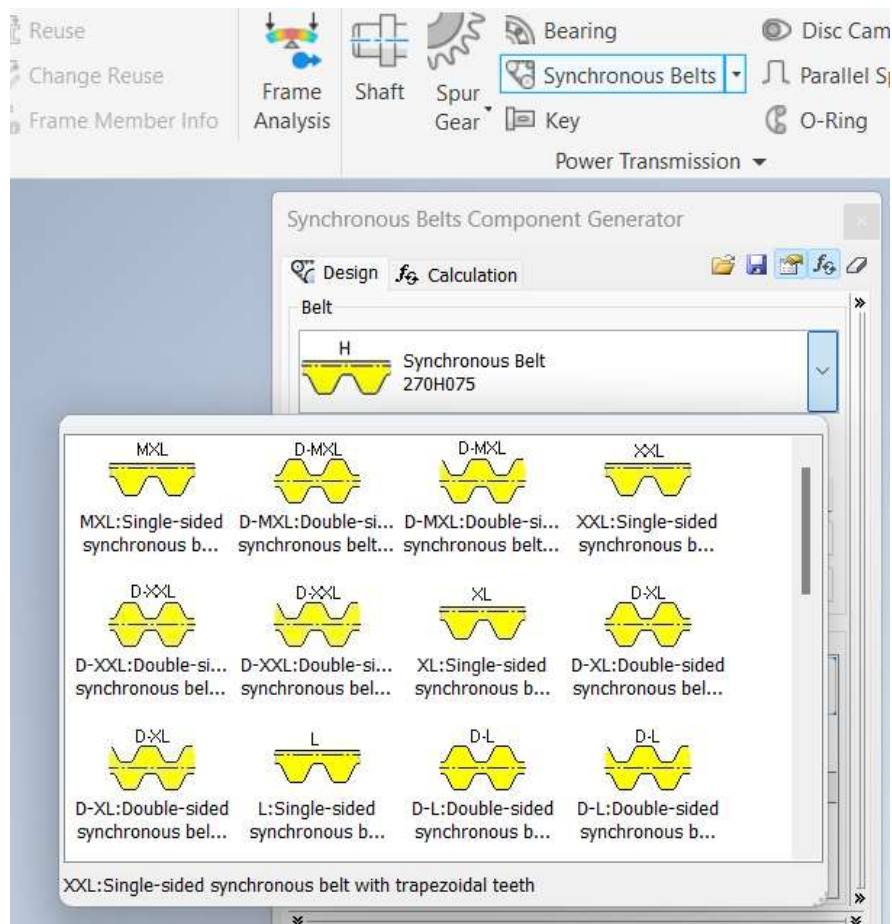


Рис. 6.22. Вибір типу зубчастого паси

При переході до наступної вкладки вибираються параметри всіх шківів (рис. 6.23).

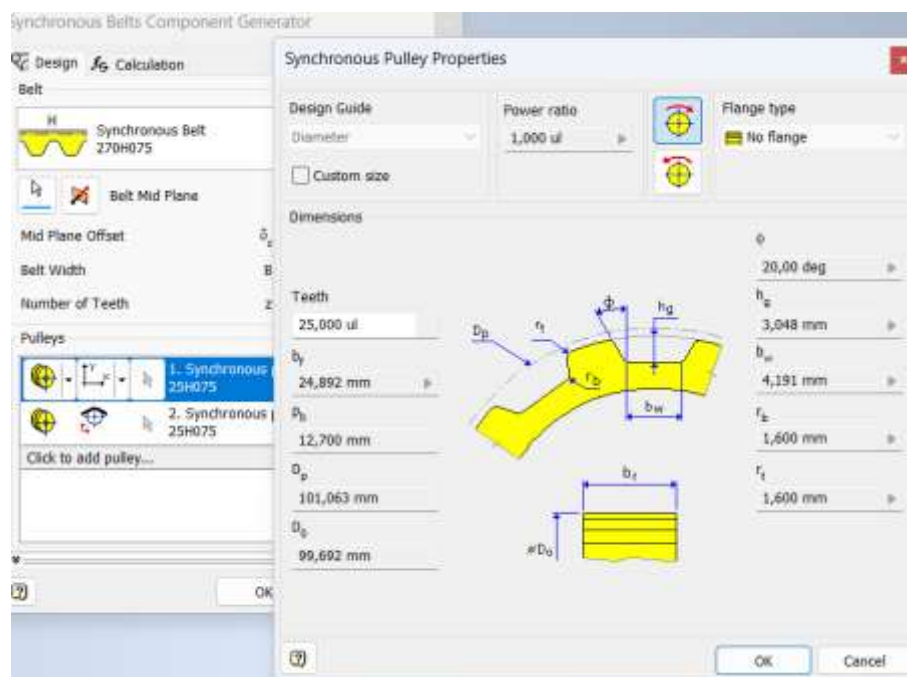


Рис. 6.23. Параметри ведучого шківів

Положення кожного шківa вказується шляхом перетягування ручки в центрі шківa. Діаметр шківa можна вказати у діалоговому вікні властивостей шківa або шляхом перетягування ручки. Параметри веденого шківa вводяться аналогічно параметрам ведучого шківa.

Тип шківa вибирається з відповідних вкладок (рис. 6.24).

На вкладці **Calculation** можна виконати розрахунок та перевірку міцності. Після введення необхідних параметрів і розрахунку передачі натисніть кнопку ОК для створення пасової передачі.

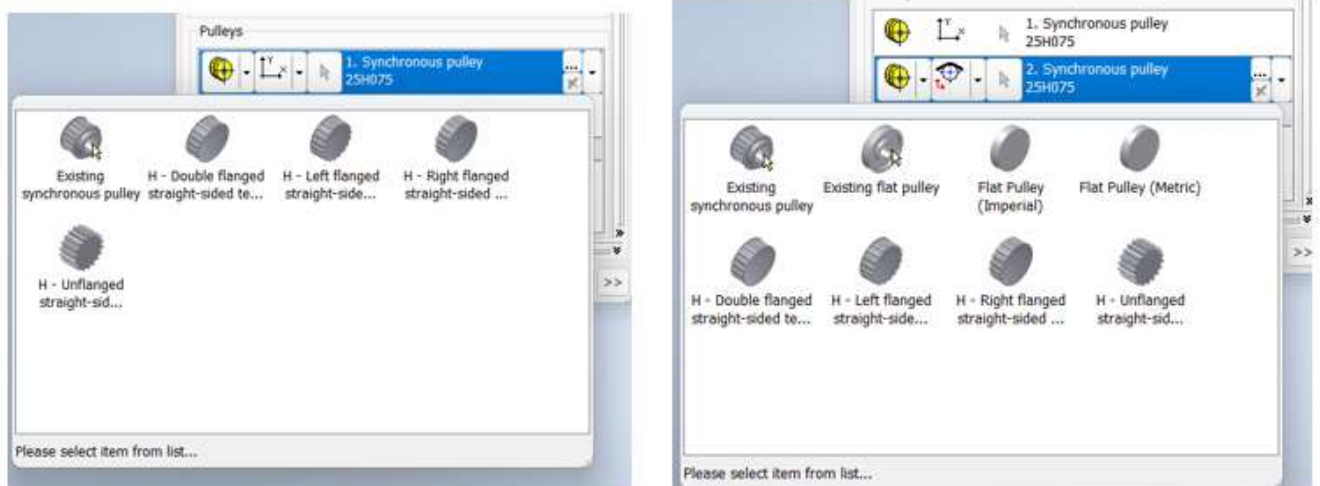


Рис. 6.24. Вибір типу шківa

Шків, який використовується для пасової передачі, повинен відповідати вибраному пасу інакше передача не буде згенерована. Якщо змінений пас і деякі з існуючих шківів не відповідають критерію, ці шківи відзначаються червоним кольором і користувачеві потрібно змінити тип шківa. Після заміни слід повторно провести розрахунок для отримання коректного результату. Натиснувши кнопку ОК, отримуємо модель пасової передачі (рис. 6.25).

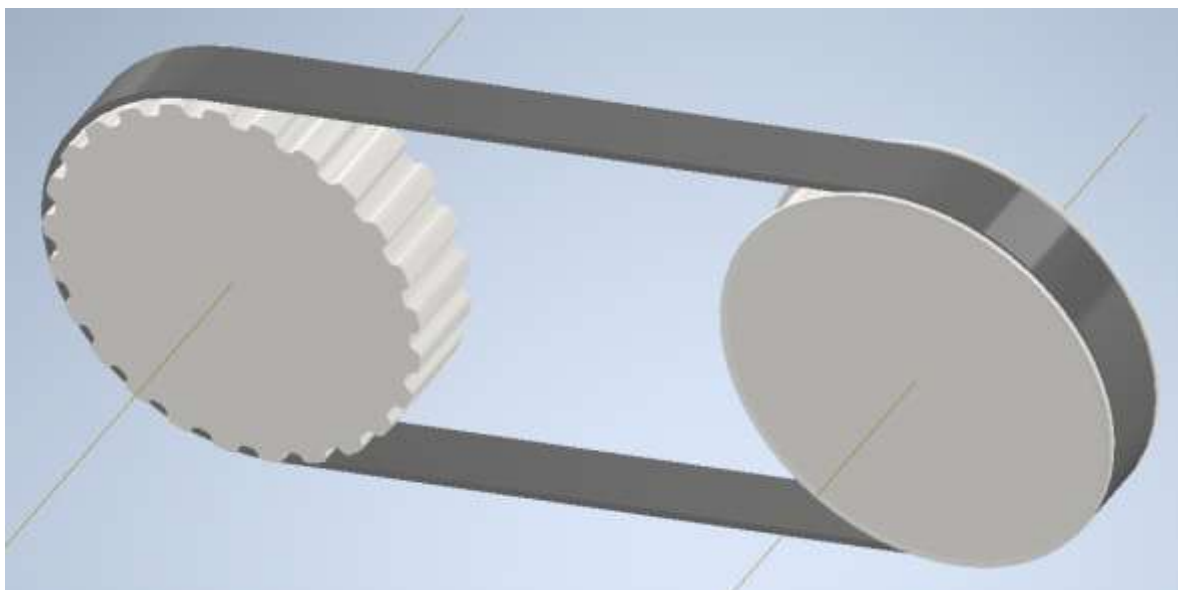


Рис. 6.25. Генерація пасової передачі з зубчастим пасом

Синхронних шківів повинно бути мінімум два. Перший шків є ведучим і має бути синхронним зубчастим шківом. Він не може бути гладким шківом, оскільки передає навантаження. Гладкі шківви є натяжними, і вони не можуть передавати навантаження [16].

Як і для клинопасових передач при генерації передачі з зубчастим пасом є можливість звернутися до додаткових параметрів для проєктування зубчастих пасів. Ця область також знаходиться у правій нижній частині вкладки Design.

Після генерації пасової передачі виконується доопрацюванні елементів шківів, для чого зручно користуватися генерацією шпонкового з'єднання при побудові отворів під вали шківів.

Інші додаткові елементи шківів - фаски, отвори, перехідні ділянки тощо виконуються загальними методами моделювання.

Контрольні питання



1. Назвіть призначення та можливості генераторів пасових передач.
2. Наведіть порядок моделювання клинопасових та полі клинових передач в генераторі клинопасових передач.
3. Приведіть перелік основних процедур при моделюванні клинопасових передач з заданою міжосьовою відстанню.
4. Приведіть порядок дій при моделюванні клинопасових передач з кількома веденими шківвами.
5. Назвіть послідовність розрахунку клинопасової передачі.
6. Принцип побудови додаткових параметрів шківів.
7. Як визначити, що вибраний пас і шківви не відповідають певним критеріям?

7. ПРОЄКТУВАННЯ ЛАНЦЮГОВИХ ПЕРЕДАЧ

Ланцюгові передачі – це передачі зачепленням з гнучким зв'язком, яка складається із ведучої та веденої зірочок, розміщених на відповідних валах, і ланцюга, що знаходиться у зачепленні із зірочками.

Найбільш поширені типи приводних ланцюгів роликові та втулкові, тому саме вони й представлені для проєктування в Генераторі в Autodesk Inventor (рис. 7.1).

Генератор ланцюгів призначений для створення роликових та втулкових ланцюгових приводів. Він дозволяє швидко і точно створювати моделі ланцюгових передач, налаштовувати параметри, проводити розрахунки і перевіряти працездатність системи.

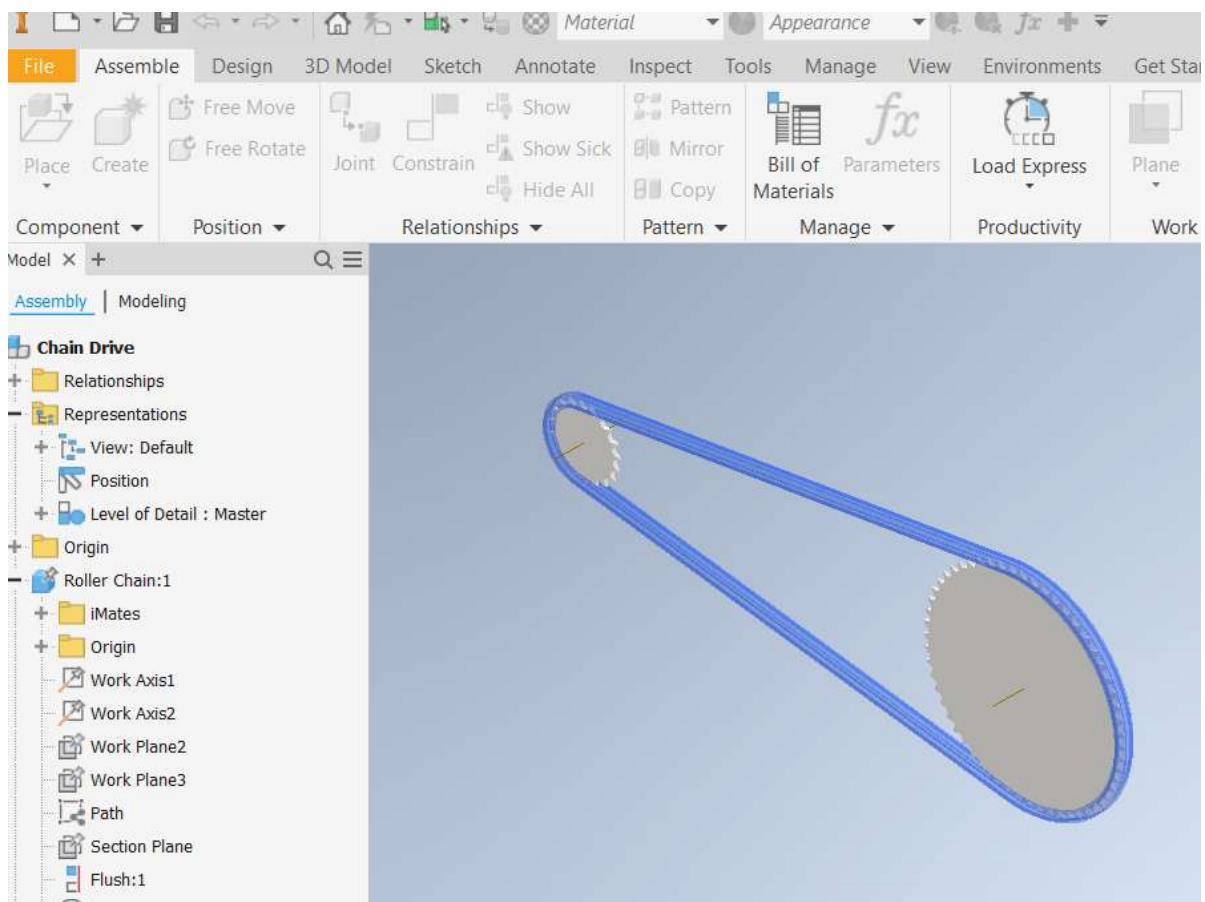


Рис. 7.1. Ланцюгова передача

Ланцюги можуть складатися з однієї або кількох гілок. Також підтримуються двокрокові роликові ланцюги. Основна відмінність роликових і втулкових ланцюгів полягає в тому, що втулковий ланцюг не має роликів.

Якщо ланцюг має парне число кроків, то для з'єднання кінців ланцюга може використовуватися сполучна ланка. Зазвичай потужність ланцюга не знижується. Якщо ланцюг має непарне число кроків, то на одному кінці ланцюга може використовуватися перехідна ланка. Отже, сполучна ланка може використовуватися для з'єднання кінців ланцюга. При використанні перехідної

ланки зазвичай знижується потужність ланцюга. Величина зниження потужності задається з урахуванням типу і конструкції перехідної ланки. Якщо потрібно зменшити коефіцієнт побудови ланцюга, слід враховувати зниження потужності ланцюга.

У результаті того, що ланки ланцюга розташовуються навколо зірочки по сторонам багатокутника, дійсна швидкість ланцюга непостійна, і змінюється протягом входу ланки в зачеплення з зірочкою. Зустріч шарніра з зубом супроводжується ударом.

Ланцюги в ланцюгових приводах піддаються дії циклічного розтягу, тому схильні до втоми при розтягуванні. Для різних компонувань приводу діаграма навантаження може бути різною.

Знос сполучних ланок ланцюга призводить до збільшення довжини роликів ланцюгів. Критерії зносу з'єднувальних ланок ланцюга для великих зірочок або приводів з фіксованою міжосьовою відстанню можуть бути іншими. Якщо планується замінити ланцюг з високим ступенем зносу, рекомендується також замінити й зірочки.

В результаті зносу зірочок змінюється форма їх зубів й вони починають викривлятися. Ведені зірочки зазвичай зношуються в нижній частині зуба. Коли западина зуба значно поглиблюється, при русі роликів ланцюга можуть зачіпатися за тіло зубів натяжної зірочки [2]. Знос зірочок може стати причиною ударного навантаження в ланцюзі. Послідовні удари викликають шум при роботі передачі і є однією з причин руйнування шарнірів ланцюга і зубів зірочок. У деяких випадках удари призводять до руйнування роликів ланцюга. Тому розрахунок ланцюгової передачі обов'язково містить динамічну складову.

Важливим аспектом експлуатації ланцюгових передач є їх змащування, яке забезпечує зменшення зносу, зниження тертя і шуму, а також подовження терміну служби компонентів. Існує кілька основних способів змащування ланцюгових передач, кожен з яких має свої переваги та недоліки залежно від умов експлуатації та конструкції передачі.

Щоб домогтися максимального терміну служби ланцюга, необхідно забезпечити його ефективне змащування. Основні види змащування:

- ручне;
- крапельне;
- розпиленням;
- зануренням в масляну ванну;
- автоматичне;
- примусове.

Правильний вибір способу змащування ланцюгових передач забезпечує їх надійну і тривалу роботу.

7.1 Порядок проєктування ланцюгової передачі

Вкладка модель

Після запуску генератора ланцюгових передач з'являється діалогове вікно **Roller Chains Generator** з активною вкладкою **Design**. В (рис. 7.2).

В цілому порядок створення моделі ланцюгової передачі такий же як і порядок створення моделі зубчасто-пасової передачі.

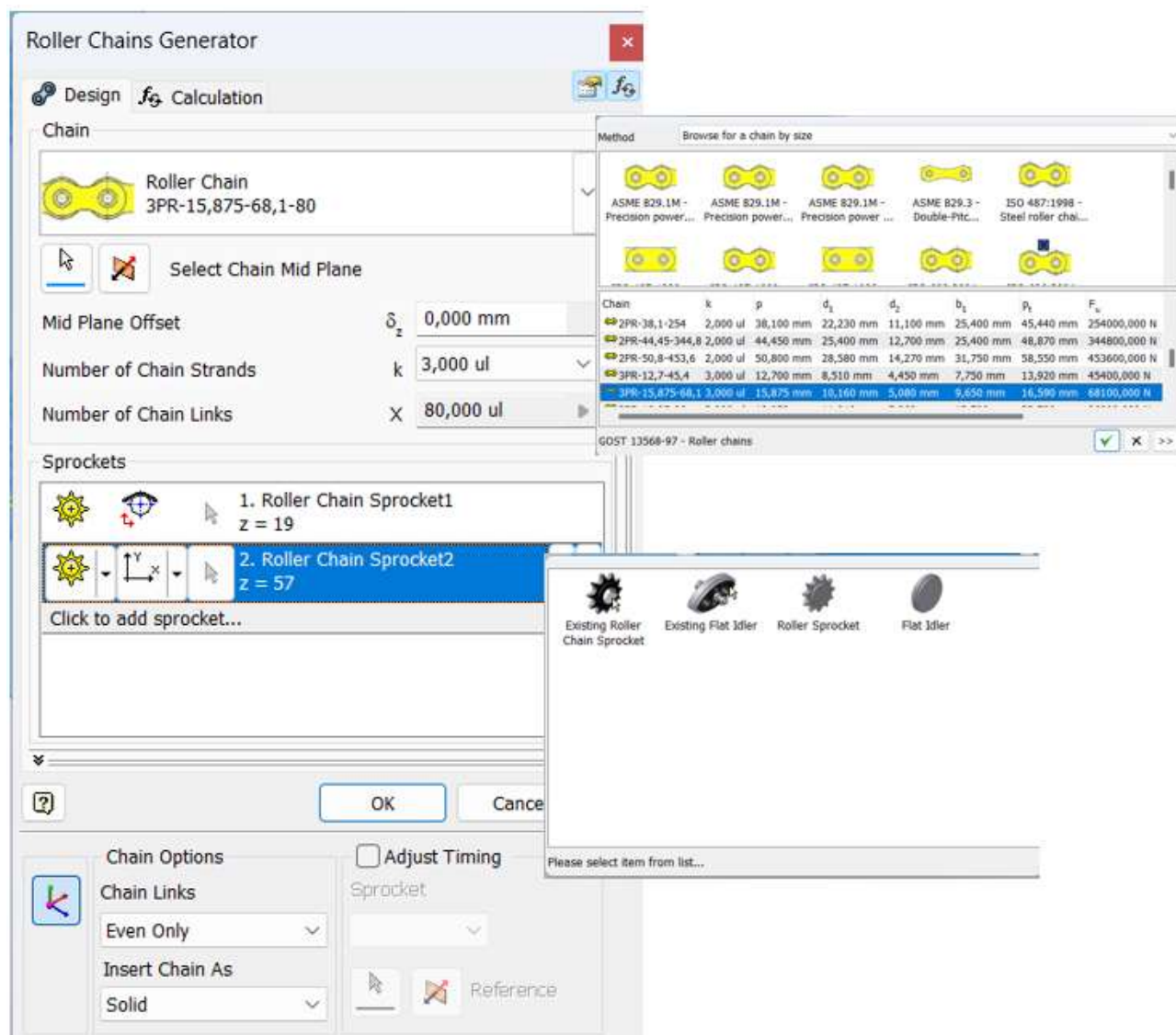


Рис. 7.2. Генератор ланцюгових передач, вкладка **Design**

Використовується генератор роликів ланцюгів для розробки та аналізу різних ланцюгових приводів. Генератор створює зірочки та ланцюг в спрощеному вигляді та аналізує систему.

В верхньому списку групи параметрів **Roller Chains** доступна бібліотека ланцюгів з вибором стандарту і типу ланцюга. Основний параметр ланцюга - крок і розміри ланцюга визначаються на основі кроку. Список стандартів ланцюгів залежить від даних файлів XML, які зберігаються в відповідній теці Roller Chains. Після натискання кнопки з'являється діалогове вікно вибору ланцюга (рис. 7.3) з декількома вікнами.

У першому вікні зверху праворуч можна вибрати тип та стандарт ланцюга, який присутній в бібліотеці (ASME, ISO, DIN, JIS, CSN). В нижньому вікні відображається повний список доступних розмірів ланцюгів або варіантів для вибраного типу та стандарту. У нижньому вікні відображається таблиця

параметрів ланцюгів обраного типу та стандарту. Вибираються параметри та порядок їх відображення залежно від методу вибору ланцюга. Починається вибір з списку кількості рядів **k** та кроку **p**.

Доступні декілька методів вибору параметрів ланцюгової передачі.

Найбільш поширений метод вибору ланцюга за розміром - Browse for a chain by size, в якому включаються всі розміри ланцюгів даного стандарту. Зі списку вибираються основні розміри ланцюга, такі як крок ланцюга або ширина. Залежно від вибору ланцюга змінюються й параметри зірочок.

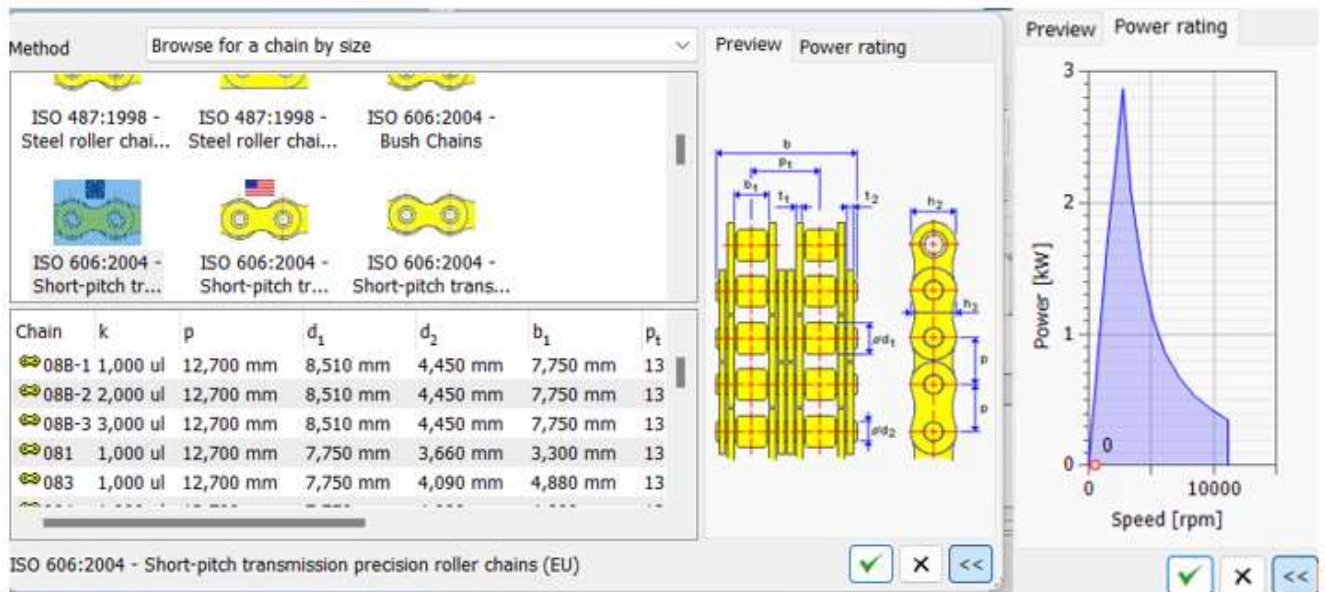


Рис. 7.3. Діалогове вікно вибору ланцюга

Якщо діаметри зірочок не мають великого значення, можливий варіант ланцюгової передачі з фіксованою кількістю зубів зірочки. Генератор виконує пошук за розміром і розраховує властивості міцності. Вибирається тип ланцюга, який підходить для роботи передачі. Виконується статичний і динамічний розрахунки, визначається тиск на опорну поверхню ланцюга, загальна вага ланцюга, розрахункова і номінальна потужності ланцюга.

Для генерації передач з найбільш точними діаметрами зірочок можливі варіанти ланцюгових передач, для яких використовується розмір ланцюга і зберігаються найближчі діаметри зірочок. Відповідно змінюється кількість зубів зірочки. Генератор виконує пошук за розміром і розраховує властивості міцності. Також вибирається тип ланцюга, який підходить для роботи передачі. Розраховуються аналогічні параметри, як і для передачі фіксованою кількістю зубів зірочки, таі номінальна потужність ланцюга для найменшої кількості зубів передачі. Розташування параметрів у таблиці – таке ж як і в попередньому випадку.

Для перегляду попереднього зображення ланцюга з відповідними розмірами слід натиснути кнопку додаткових параметрів в нижній частині діалогового вікна й стане доступним попередній перегляд ланцюга **Preview** та графік номінальної потужності **Power rating**.

З графіка номінальної потужності ланцюга можна визначити чи відповідає розрахункова потужність критеріям проєктування. Якщо не відповідає, слід виконати коригування параметрів і повторити розрахунок.

Після вибору ланцюга, що відповідає вихідним критеріям, стає активною команда прийняття поточного вибору **Accept current selection**.

Ведуча зірочка може бути тільки зубчастою, інші можуть бути зубчастими й гладкими, які мають назву ролики.

При натисканні на кнопку **Roller Sprocket Properties** з'являється діалогове вікно властивостей зірочок роликів ланцюга (рис. 7.4). У цьому діалоговому вікні є параметри, позначення яких відрізняються від стандартів звичним нам ГОСТ і відповідають іншим стандартам.

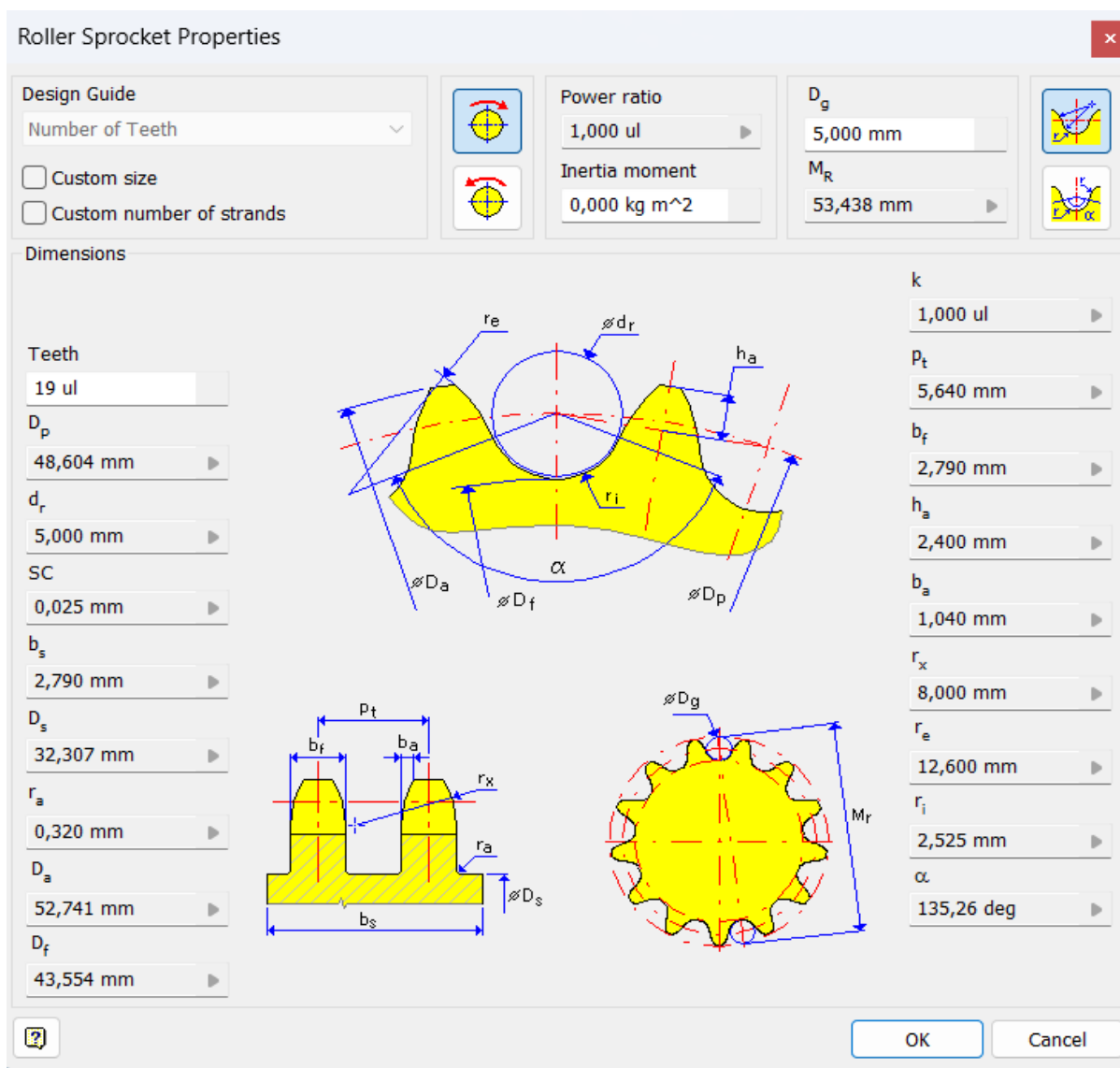


Рис. 7.4. Діалогове вікно Roller Sprocket Properties

Одним із важливих аспектів при моделюванні ланцюгової передачі є вибір форми зубів зірочок. Розміри зірочки визначаються за питомим розміром ланцюга та відповідно до національних стандартів. Розрахунок доволі складний, тому розглядаються два типи форми зубів: теоретична й спрощена.

Спрощена форма зуба ISO визначається формою максимального і мінімального інтервалу між зубами. За замовчуванням генератор роликів ланцюгів використовує рекомендоване мінімальне значення відстані між зубами.

За розміром ланцюга визначаються відповідні розміри зубів зірочки, оскільки потрібно забезпечити їх точний контакт із ланцюгом. Один з основних розмірних параметрів - це діаметр ділильного кола, від якого залежить більшість розмірів зірочки. Параметр виміру за штифтами або прямий вимір M_r визначає розмір та тип ланцюга. Він включає діаметр роликів, крок ланцюга, ширину ланцюга та інші геометричні параметри. Можливе вимірювання діаметра впадин безпосередньо або за діаметром ролика: $M_r = D_p + 2 \cdot D_g - d_r$ - для парної кількості зубів і $M_r = D_p \cdot \cos \cos \left(\frac{\pi}{z} \right) + 2 \cdot D_g - d_r$ - для непарної кількості зубів.

Теоретична форма зуба **Theoretical tooth form** проєктується таким чином, що ролики ланцюга зміщуються до вершин зубів зірочки при зносі й подовженні ланцюга. Існує багато способів побудови зуба зірочки і його фактична форма не завжди збігається з теоретичною.

Спрощена форма зуба **Simplified ISO tooth form** визначається за розміром кроку між зубами. Фактична форма зуба повинна мати дві бічні сторони, обмежені максимальним і мінімальним радіусами, які плавно з'єднані кривою опорної поверхні ролика. В генераторі ланцюгових передач використовується мінімальне рекомендоване значення кроку між зубами. Спрощена форма зуба знижує обчислювальні вимоги, що робить моделювання швидшим і ефективнішим.

7.2 Встановлення параметрів ланцюгової передачі

Після вибору ланцюга, що відповідає вихідним критеріям, стає активною команда прийняття поточного вибору. Натисніть команду, щоб вибрати ланцюг та вставити його на вкладці свого проєкту. Вказати метод вибору ланцюга. Список розмірів та варіантів ланцюгів у нижній частині панелі має певний зміст, якщо вибрано інший метод пошуку. Можна відсортувати список у нижній частині панелі як потрібно.

Вміст списку у нижній частині панелі включає всі розміри ланцюгів вибраного стандарту. Список містить основні властивості розміру ланцюга, такі як крок ланцюга або ширина. Залежно від вибору кола параметри зірочки змінюються. Кількість зубів зірочки є фіксованою. Натисніть ряд, щоб вибрати розмір ланцюга.

Якщо потрібно знайти рішення з фіксованою кількістю зубів зірочки, Генератор виконує пошук за розміром та розраховує властивості міцності. Він попередньо вибирає тип ланцюга, який підходить. Статичний та динамічний запас міцності розраховуються, як і тиск на опорну поверхню ланцюга, загальна вага ланцюга, розрахункова потужність та номінальна потужність ланцюга.

Якщо потрібно знайти рішення з найбільш точними діаметрами зірочки, вибирають в нижній частині панелі можливі варіанти ланцюгових приводів, для яких використовується розмір ланцюга та зберігаються найближчі діаметри

зірочок. Відповідно змінюється кількість зубів зірочки. Генератор виконує пошук за розміром та розраховує властивості міцності. Він попередньо вибирає тип ланцюга, який підходить. Виконується статичний та динамічний розрахунок запасу міцності, визначається тиск на опорну поверхню, загальна вага ланцюга, розрахункова та номінальна потужність ланцюга.

Далі є вибір параметрів ланцюга. Вводиться необхідна кількість ланок ланцюга. Генератор визначає найближчу кількість ланок, округляє його до непарного або парного значення і переміщає ковзну зірочку в потрібне положення. Для візуального визначення необхідного простору для ланцюга у збірці використовується параметр створення ланцюга як елемента зсуву.

Основних розрахункових параметрів ланцюгової передачі доволі багато:

- Ланцюг
 - Крок (p);
 - Максимальний діаметр ролика d_1
 - Максимальний діаметр штифта d_2
 - Поперечний крок p_t
 - Мінімальна ширина між внутрішніми пластинами b_1
 - Максимальна глибина внутрішньої пластини h_2
 - Максимальна глибина зовнішньої або проміжної пластини h_3
 - Максимальна ширина між шийками осі опорного підшипника b
 - Максимальна ширина внутрішньої пластини t_1
 - Максимальна ширина зовнішньої або проміжної пластини t_2
- Зірочка
 - Кількість зубів z
 - Кількість зубів при контакті z_c
 - Крок p
 - Середній діаметр D_p
 - Передаточне відношення i
 - Дуга контакту β
 - Координата $X(x)$
 - Координата $Y(y)$
 - Міжосьова відстань C
 - Довжина ділянки L_f

Задаються механічні властивості обраного ланцюга, оскільки той самий розмір і тип ланцюга можуть відрізнятися залежно від виробника. Розрахувати таку кількість показників займає багато часу. При виборі ланцюга певного стандарту основна кількість параметрів визначається автоматично.

7.3 Результати розрахунку

У вікні результатів на вкладці **Calculation** відображені результати розрахунку геометричних параметрів ланцюгової передачі (рис. 7.5).

The screenshot shows the 'Roller Chains Generator' software interface. It is divided into several sections:

- Design / Calculation:** Includes 'Working conditions' (Power, Speed, Torque, Efficiency, Required service life, Maximum chain elongation) and 'Chain Properties' (Tensile strength, Specific mass, Chain power rating, Chain construction factor).
- Power Correction Factors:** A list of factors (Shock, Service, Sprocket size, Strands, Lubrication, Center distance, Ratio, Service life) with checkboxes and input fields for values (e.g., 1,000 ul).
- Limit Chain Bearing Area Pressure:** Includes checkboxes for 'Permissible pressure' and 'Specific friction factor'.
- Results:** A table showing calculated values for Power (P_D), Force (F_p), Center distance (F_C), Maximum tension (F_{Tmax}), Static stress (S_S), Dynamic stress (S_D), Expected service life (t_h , t_{HL} , t_{Tr}), Chain parameters (P , X , k , A , v , p_g), and Sprocket 1 parameters (Z , Z_p , D_p , n).
- Recommended safety factors:** Static (S_{Smin}) and Dynamic (S_{Dmin}) factors.

Buttons at the bottom include 'Calculate', 'OK', 'Cancel', and '<<'. A checkbox at the bottom right indicates 'Lubrication factor impacts just power rating limited by galling between pins and bushings'.

Рис. 7.5. Результати розрахунку геометричних параметрів ланцюгової передачі

Аналогічно до зубчато-пасової передачі перша зірочка вважається ведучою і може тільки зубчатою. Решта зірочок є веденими або натяжними й можуть бути як зубчастими, так і гладкими (роликами).

Графічне відображення ланцюгового приводу є згенерованим ланцюговим приводом. Використання генератора пасових передач спрощує проектування, так як за допомогою ручок можна налаштувати властивості ланцюгового приводу.

На панелі результатів відображаються наступні вихідні параметри:

- Розрахункова потужність P_D
- Ефективне вилучення F_p
- Відцентрова сила F_C
- Максимальний натяг на ділянці ланцюга F_{Tmax} .

Рекомендовані коефіцієнти безпеки, такі як статичний **Static** S_S й динамічний **Dynamic** S_D запас міцності доступні у вкладці додаткових параметрів.

При проектуванні ланцюгової передачі як і при проектуванні пасових передач можливе виконання різних варіантів моделі зірочки: **Component** - вставка моделі зірочки у збірку як компонента, **Existing** - вставка існуючої зірочки в збірку, **Virtual** - віртуальна зірочка в збірку не вставляється.

Результат моделювання ланцюгової передачі представлено на рисунку 7.6.

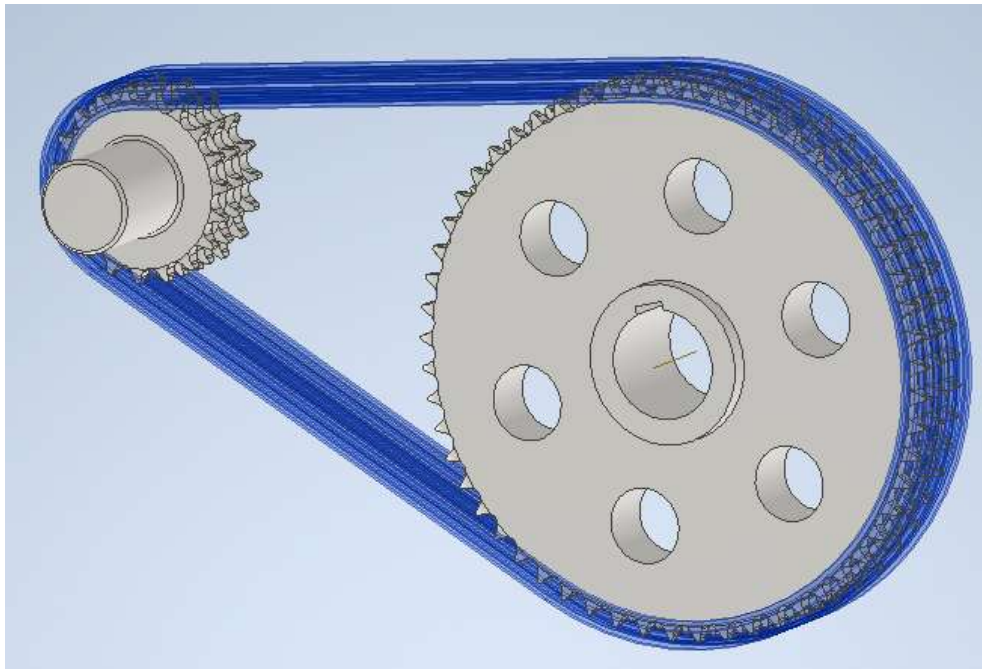


Рис. 7.6. Результат моделювання ланцюгової передачі

7.4 Проектування зірочки ланцюгової передачі

Після розрахунку й генерації ланцюгової передачі слід допрацювати зірочки передачі. Додаткові елементи зірочок виконуються основними інструментами 3D моделювання як і елементи зубчастих коліс.



Рис. 7.7. Зірочка ланцюгової передачі

Проектування дворядної та багаторядної зірочки виконується аналогічно однорядній. Додаткові елементи зірочок моделюються загальними методами 3D моделювання.

При доопрацюванні елементів зірочок зручно користуватися генерацією шпонкового з'єднання. Одночасно виконується й розрахунок шпонкового з'єднання. Програма сама визначає розміри шпонки й пазів на валу та маточині в залежності від вибраного стандарту.

Після введення діаметра валу вибирається відповідна шпонка, а також найменша довжина, при якій вона може витримати необхідне навантаження. За довжиною шпонки призначається довжина маточини зірочки.

Вибирається шпонка для вставлення. Визначаються межі валу, на яких необхідно розмістити паз. Відповідно до діаметра валу задаються параметри шпонки. Визначається розміщення канавки маточини. В області **Select Objects to Generate** обираються об'єкти для вставки. Усі параметри вибрано за замовчуванням. Для зміни довжини і розміщення шпонки можна використовувати стрілки (рис. 7.8).

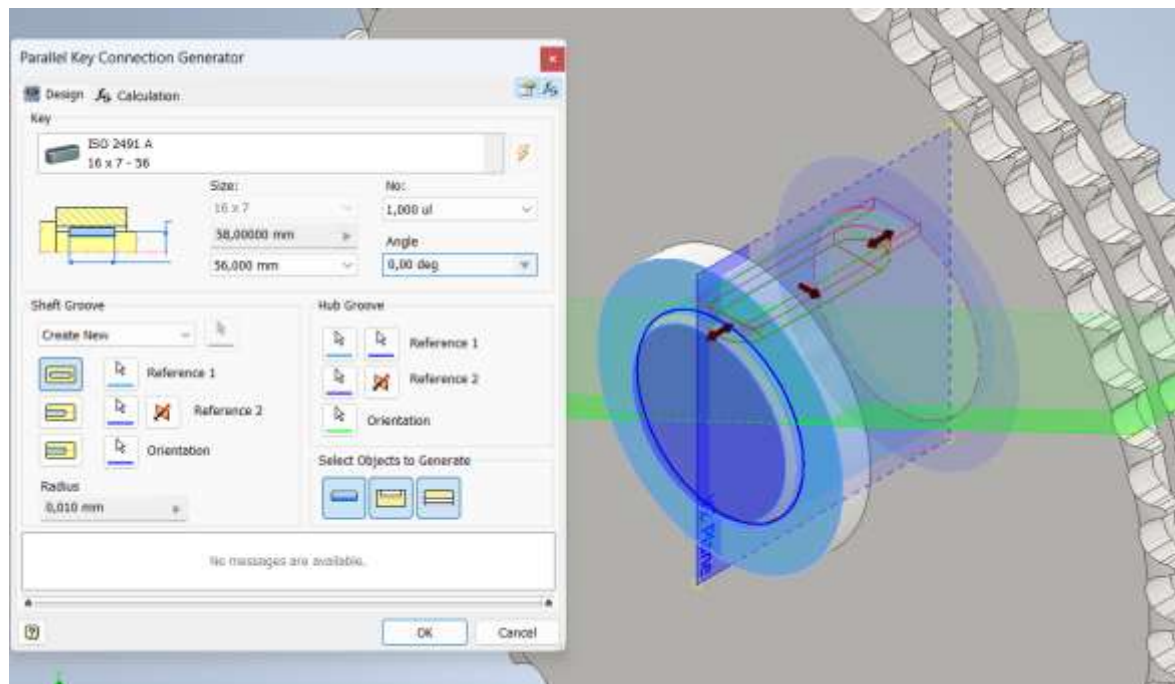


Рис. 7.8. Діалогове вікно "Генератор шпонкового з'єднання"

Результати розрахунку шпонкового з'єднання також відображаються у звіті генератора. Після генерації шпонкового з'єднання й побудови додаткових елементів зірочки натисненням кнопки ОК отримаємо в вікні моделі шпонкове з'єднання (рис. 7.9).

Генерація ланцюгової передачі в Autodesk Inventor є потужним інструментом, що дозволяє автоматизувати і полегшити процес проектування. Генератор ланцюгових передач обмежений набором стандартних компонентів (наприклад, ANSI, ISO, DIN). Якщо проєкт вимагає нестандартних компонентів або спеціальних профілів, це може створити проблеми.



Рис. 7.9. Модель шпонкового з'єднання, створеного у збірці зірочки з валом

Спрощені моделі ланцюгів і зірочок можуть не враховувати всі деталі та особливості реальних компонентів, що може призвести до неточностей в розрахунках і моделюванні. Налаштування дрібних параметрів, таких як кут зчеплення або специфічні допуски, може бути заплутаним і трудомістким.

Фактична форма зуба зірочки, яка згенерована в Inventor може не зовсім збігатися з теоретичною. Але вибір спрощеної форми зуба ISO в генераторі ланцюгових передач Autodesk Inventor дозволяє зменшити складність моделі і прискорити процес проєктування, зберігаючи при цьому основні характеристики, необхідні для надійної роботи ланцюгової передачі. Використання спрощеної форми зуба є особливо корисним на початкових етапах проєктування та для розрахунків, де висока точність геометрії не є критично важливою.



Контрольні питання

1. Назвіть призначення та можливості генераторів ланцюгових передач.
2. Наведіть порядок моделювання ланцюгових передач в генераторі майстра проєктування.
3. Які варіанти виконання моделі зірочки можливі в генераторі ланцюгових передач?
4. Яким чином моделюються додаткові елементи зірочок?
5. Назвіть послідовність розрахунку ланцюгової передачі.

8. ПРОЄКТУВАННЯ З'ЄДНАНЬ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ТА ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЙ ЗАСОБАМИ ПАРАМЕТРИЧНОГО ПРОЄКТУВАННЯ

8.1 Способи проєктування

Проєктування технічного об'єкта - створення, перетворення й уява в прийнятій формі образу цього ще не існуючого об'єкта. Методологія автоматизованого проєктування базується на системному підході і передбачає використання певних принципів і методів.

Виділяють такі аспекти проєктування: функціональне (розробка принципів дії, структурних, функціональних, принципових схем), конструкторське (визначення форм і просторового розташування компонентів виробів), алгоритмічне (розробка алгоритмів і програмного забезпечення) і технологічне (розробка технологічних процесів) проєктування систем.

Функціональне проєктування передбачає створення ефективно працюючого об'єкта.

Конструкторське проєктування призначене для розробки конструювання і робочих креслеників деталей, оформленні конструкторської документації.

Технологічне проєктування реалізує результати конструкторського проєктування у вигляді фізичного виробу, тобто вирішує завдання технологічної підготовки виробництва.

Принципи функціонального проєктування допомагають конструкторам проєктувати механізми шляхом операцій з атрибутами механічних компонентів деталі або вузла із застосуванням CAD/CAE систем. Тобто програмне забезпечення генерує геометрію конструкції, а користувач визначає функцію.

Параметричні зв'язки між деталями виникають безпосередньо в процесі побудови, тому при редагуванні одних компонентів, інші автоматично перебудовуються. Окрім того, що виникають асоціативні зв'язки, відбувається і автоматичне визначення більшості параметрів компонентів, що позбавляє від необхідності самостійно розраховувати та запам'ятовувати ці параметри.

Для реалізації функціонального підходу до проєктування (Functional Design) в Autodesk Inventor доступні інструменти генераторів Майстра проєктування й Аналізу напружень.

Однією з важливих тем при проєктуванні є розрахунок з'єднань. Болтові з'єднання є невід'ємною частиною механічного проєктування. Вони забезпечують розбірні з'єднання компонентів, що дає змогу легко монтувати та демонтувати деталі, робити ремонт і обслуговування, а також коригувати конструкцію. Існують міжнародні стандарти на болтові з'єднання, такі як ISO, DIN, ANSI, які забезпечують уніфікованість і взаємозамінність болтів, гайок і шайб. Це полегшує проєктування і виробництво, забезпечуючи відповідність вимогам якості та безпеки. Autodesk Inventor має потужний інструментарій для проєктування більшості з'єднань деталей, в тому числі й болтових.

Звичайно діалогові вікна генераторів мають дві закладки: **Design** та **Calculation**. На вкладці **Design** задаються положення генерованої моделі, її тип

та склад, стандарт, розміри. Тут знаходиться вікно повідомлень та додаткові параметри моделі, серед яких можуть бути шаблони. На закладці **Calculation** задаються тип розрахунку, навантаження, матеріали з їх механічними характеристиками, та додаткові параметри у вигляді коефіцієнтів. Деякі діалогові вікна мають три закладки, як, наприклад, Генератор компонентів болтового з'єднання **Bolted Connection Component Generator** має вікно для розрахунку на втому **Fatigue Calculation**.

Вихідні значення, які не відповідають допустимим, відображаються червоним і їх слід змінити. Якщо результати застаріли, їх список недоступний - список стає сірим. Якщо опис у вікні повідомлень відображається синім кольором, воно має інформативний характер. Якщо опис відображається червоним кольором, в ньому містяться повідомлення про неправильні результати розрахунку. Не можна продовжити роботу, не виправивши таку помилку в проєкті або розрахунках.

8.2 Проєктування болтових з'єднань

При збиранні машин, верстатів, приладів окремі деталі в більшості випадків з'єднуються один з одним різьбовими кріпильними виробами: болтами, шпильками й гвинтами. У Autodesk Inventor створення болтових з'єднань є важливою частиною проєктування механічних систем.

Звичайно діалогові вікна генераторів мають дві закладки: **Design** та **Calculation**. На закладці **Design** задаються положення генерованої моделі, її тип та склад, стандарт, розміри. Тут знаходиться вікно повідомлень та додаткові параметри моделі, серед яких можуть бути шаблони. На закладці **Calculation** задаються тип розрахунку, навантаження, матеріали з їх механічними характеристиками, та додаткові параметри у вигляді коефіцієнтів. Деякі діалогові вікна мають три закладки, як, наприклад, **Bolted Connection Component Generator** (Генератор компонентів болтового з'єднання) має вікно **Fatigue Calculation** Розрахунок на втому.

Вкладка **Bolted Connection Component Generator** використовується для проєктування і перевірки болтових і гвинтових з'єднань з попереднім напруженням, на яке впливають осьова або дотична сила (рис. 8.1).

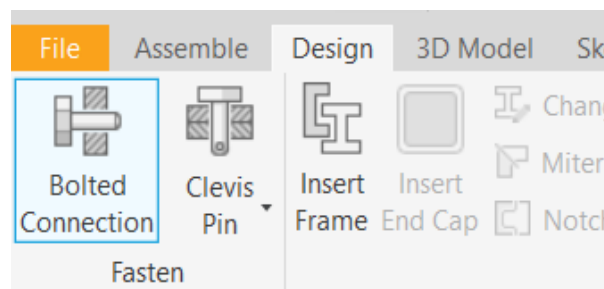


Рис. 8.1. Вибір вкладки **Bolted Connection** на панелі інструментів **Design**

Можливе проєктування різних варіантів болтових з'єднань:

- вибір і вставка болтового з'єднання з необмеженою кількістю кріпильних елементів в збірці, вибір кріплень з бібліотеки компонентів;
 - вставка болтового з'єднання із застосуванням компонентів користувача;
 - створення в проєкті виключно отворів, якщо це необхідно;
 - вставка болтових з'єднань в отвори, що входять в масив;
 - вставка болтових з'єднань в декілька ескізних отворів або центрів.
- Декілька ескізних отворів, розташованих на центральних точках, повинні бути частиною одного й того ж ескізу;
- вставка болтових з'єднань в отвори отримані за допомогою команд Extrude та Revolve;
 - збереження болтових з'єднань в бібліотеці шаблонів.

Генератор болтових з'єднань можна використати для виконання наступних розрахунків:

- проєктних розрахунків діаметра болта на основі введених параметрів, таких як навантаження, властивості матеріалу і інші коефіцієнти;
- проєктних розрахунків кількості болтів на основі зазначеного навантаження, геометричних розмірів і інших коефіцієнтів;
- визначення матеріалу болтів, який відповідає зазначеним критеріям;
- перевірових розрахунків міцності болта;
- розрахунків втомної міцності на основі обраних типу навантаження (наприклад, флуктуаційного або циклічного) та методу (наприклад, методу фіктивного усередненого напруження або квадратичного (еліптичного) методу).

При відкритті генератора болтових з'єднань відображаються значення, встановлені при попередньому запуску. Для відкриття генератора болтових з'єднань з параметрами за замовчуванням при запуску натисніть та утримуйте клавішу CTRL.

При створенні болтових з'єднань діють певні обмеження:

- отвори створюються тільки в деталях, а не в збірці. Таким чином, генератор болтових з'єднань не обробляє отвори, створені в середовищі збірки;
- виконується обробка тільки тих отворів, які створені в середовищі деталі;
- створення отворів в поверхнях, сформованих інструментами збірки, неможливе;
- за допомогою генератора з'єднань неможливо вставити два примірники однієї деталі болтового з'єднання;
- редагування пригніченого компонента болтового з'єднання неможливе.

Генерація отворів для болтових з'єднань може бути неточною або вимагати додаткових налаштувань для врахування специфічних вимог проєкту. Створення складних болтових з'єднань, що включають спеціальні шайби, прокладки, чи інші додаткові елементи, може вимагати ручного втручання або додаткових маніпуляцій.

У відкритому діалоговому вікні перелік кріплень і отворів (рис. 8.3) представлений перелік кріплення вибраного розміру вибраної категорії певного стандарту з іншими доступними параметрами. Наприклад, це може бути крок різі, розмір під ключ тощо. При виклику діалогового вікна із натиснутою

клатвішею Alt відкріється діалогове вікно **Modify Length** (Змінення довжини). Цей параметр доступний тільки для болтів (гвинтів). Довжину болта також можна змінити маніпулятором.

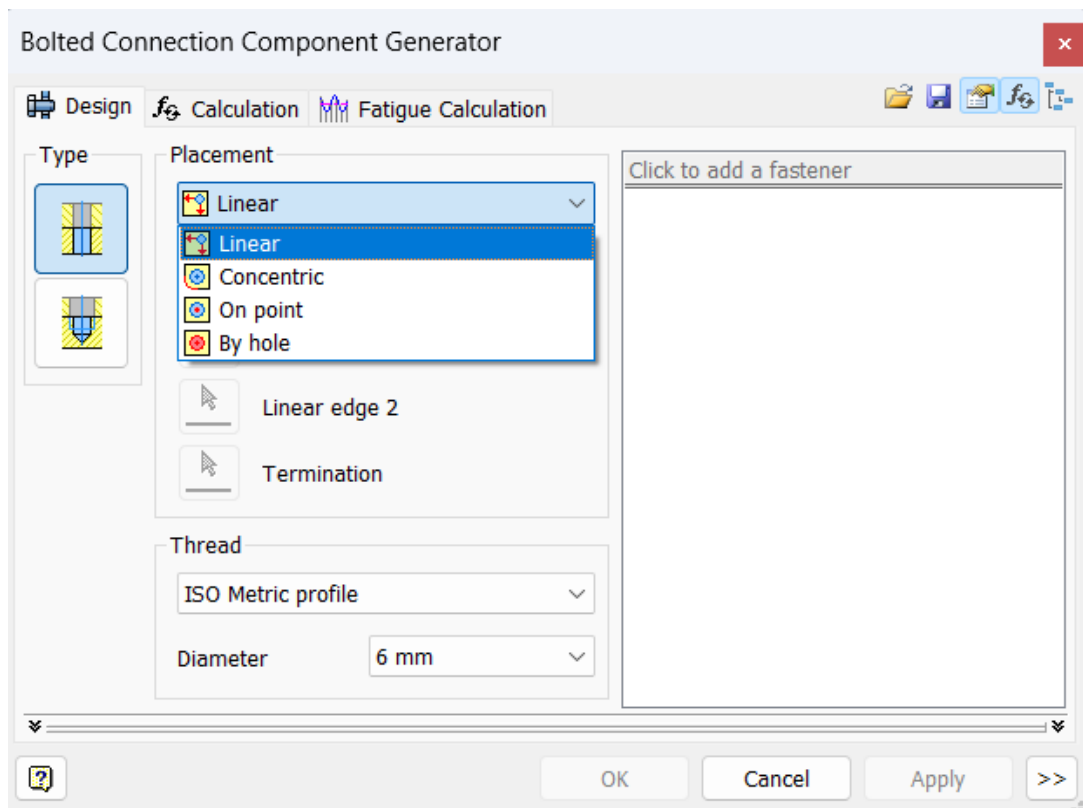
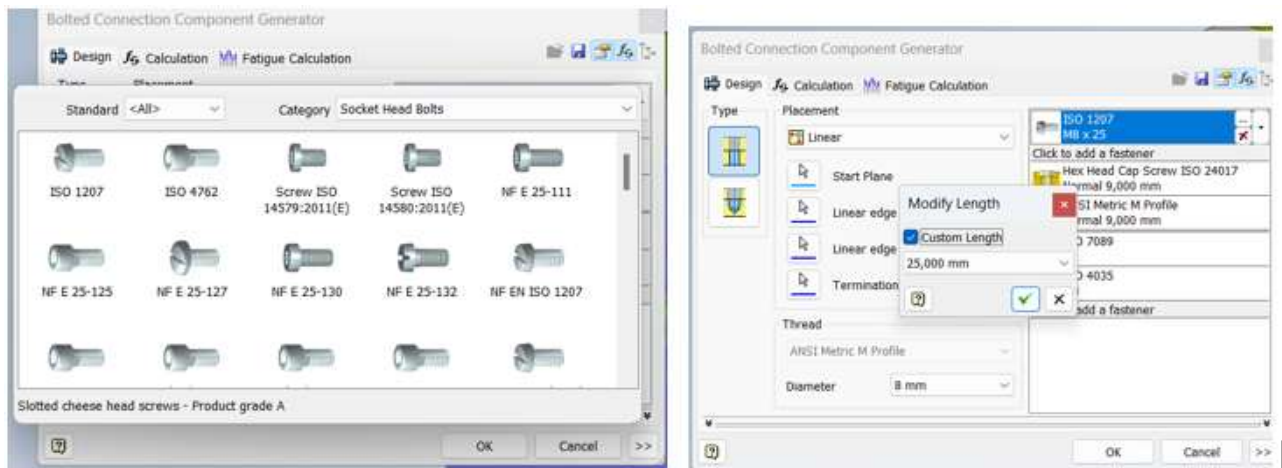


Рис. 8.2. Діалогове вікно генератора **Bolted Connection Component Generator**



а)

б)

Рис. 8.3. Діалогове вікно переліку кріплень і отворів: а) звичайний виклик; б) виклик з натиснутою клатвішею Alt

Для вибору різьби в області **Thread** зі списку вибирається відповідний стандарт та тип, а потім зі списку **Diameter** вибирається діаметр різьби.

Формується болтове з'єднання дотриманням інструкцій у правій частині вкладки **Design**. Клацніть на рядку **Add**, щоб під'єднатися до Бібліотеки компонентів, в якій можна вибрати необхідний компонент. Після цього генератор автоматично пропонує наступний тип компонента для болтового з'єднання. Наприклад, пропонується додати шайбу після вибору болта. У діалоговому вікні з відображеними доступними компонентами можна змінити категорію і вибрати гайку. Можна також виконати фільтрацію відображуваних компонентів, вибравши стандарт.

За необхідності натисніть кнопку додаткових параметрів **More options** в правій нижній частині вкладки **Design**, щоб відкрити область, де можна зберегти вибраний набір компонентів в бібліотеку шаблонів. Натисніть **Add** і вкажіть ім'я шаблону.

Натисніть кнопку **OK** для вставки в збірку болтового з'єднання. Якщо вибрати **Apply** (Застосувати), генератор болтових з'єднань залишиться відкритим.

Для того, щоб змінити кріплення певного болтового з'єднання, виберіть кріплення і натисніть три крапки для внесення змін у вкладку, що відкривається.

8.4 Розрахунок болтових з'єднань

Дані болтового з'єднання можна обчислити на основі даних, заданих на вкладці **Design**. Для завдання параметрів розрахунку і запуску розрахунку потрібно перейти на вкладку **Calculation** (рис. 8.4).

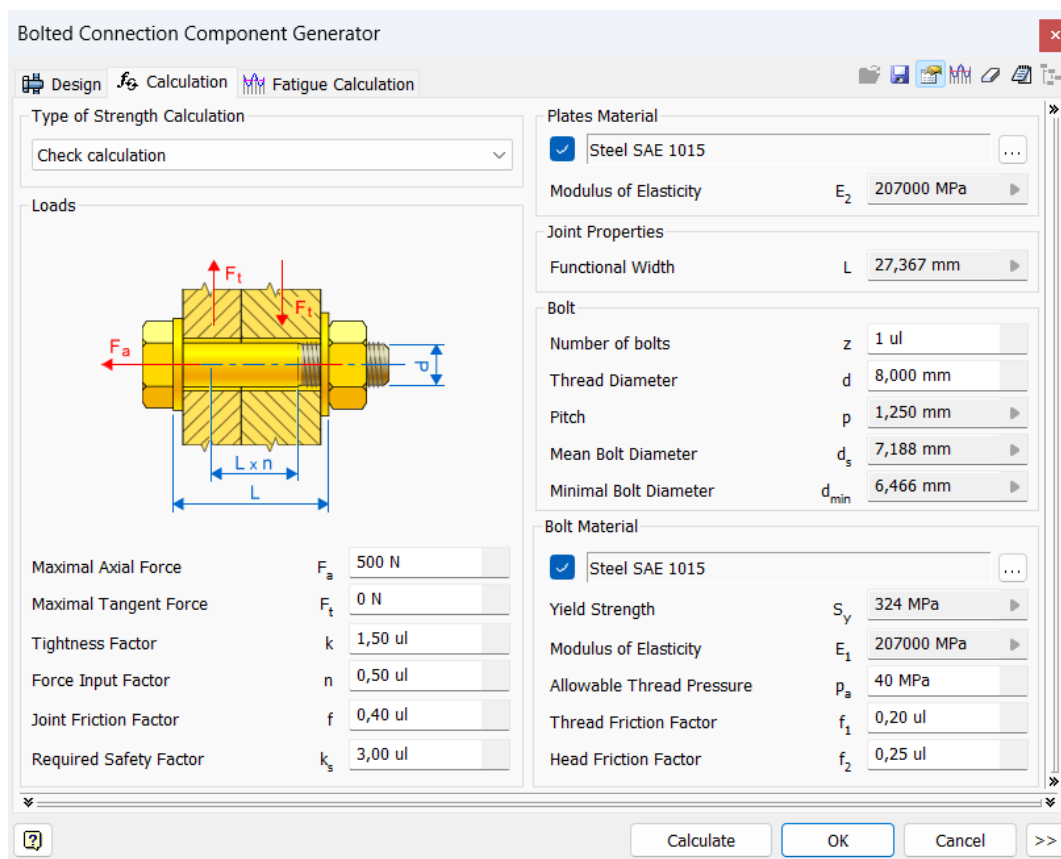


Рис. 8.4. Вкладка **Calculation** генератора болтового з'єднання

У списку **Type of Strength Calculation** є можливість вибрати один з таких типів розрахунку міцності:

- Підбором діаметра болта **Bolt diameter design** виконується розрахунок діаметра болта за заданим навантаженням, геометричними розмірами з'єднання, властивостям матеріалу, коефіцієнтом запасу міцності та іншими факторами.

- Підбір декількох болтів **Number of bolts design** - розрахунок необхідної кількості болтів за заданим навантаженням, геометричними розмірами з'єднання, включаючи задані розміри болта, властивостями матеріалу, коефіцієнтом запасу міцності й іншими факторами.

- Підбір матеріалу болта **Bolt material design** вибирається у випадку, коли геометричні розміри й кількість болтів змінювати не бажано і навантажувальну здатність можна змінити тільки шляхом підбору матеріалу.

- Перевірковим розрахунком **Check calculation** виконується перевірка міцності болта при закручуванні й під час експлуатації, а також допустимий тиск в різьбових елементах. Цей параметр є параметром за замовчуванням.

Елементи вкладки розрахунку **Calculation** потребують додаткових пояснень через специфіку використаної методики розрахунку, неточності перекладу термінів тощо.

Задатиються такі механічні характеристики з'єднуваних деталей в групі як матеріал пластин **Plates Material** та матеріал болта у групі параметрів **Bolt Material**. Для з'єднуваних деталей потрібно задати модуль пружності або вибрати користувальницький матеріал, поставивши прапорець навпроти вікна вибору **Custom Material**. Після цього з'явиться діалогове вікно вибору матеріалу (рис. 8.5).

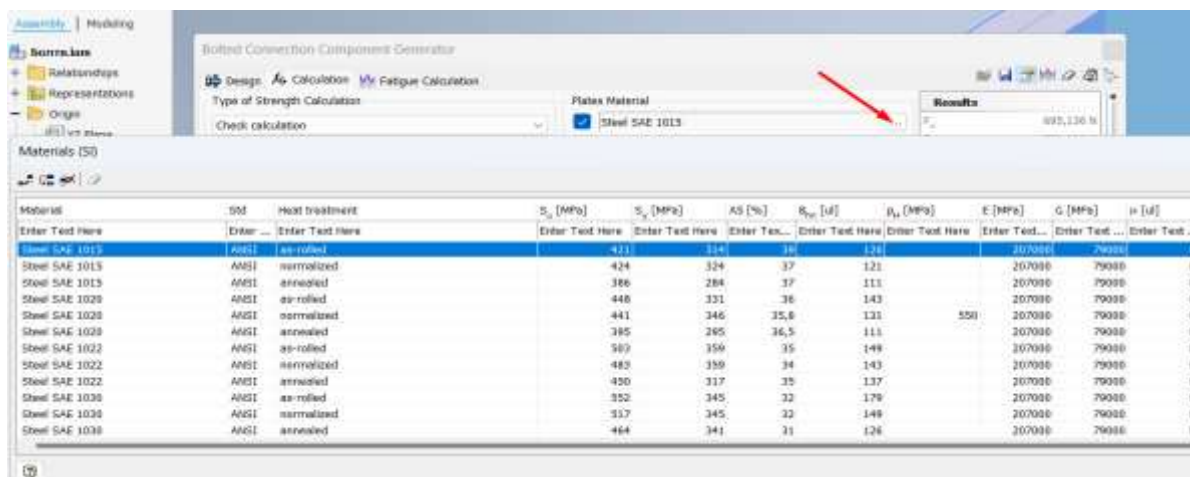


Рис. 8.5. Діалогове вікно вибору матеріалу

В цьому діалоговому вікні можна вибрати наявний матеріал або ж створити новий матеріал – абсолютно новий, або ж на основі наявного. В останньому випадку необхідно виділити потрібний рядок і натиснути кнопку . З'явиться новий рядок з усіма записами, скопійованими з оригіналу. У комірках з потрібними параметрами, що відображаються у заголовку таблиці потрібно два раз швидко клацнути й виправити наявний запис на потрібний. При цьому

потрібно мати на увазі, що у цих таблицях відображені мінімальні значення, застосовні до групи матеріалів. Тому рекомендується при остаточних розрахунках використовувати параметри матеріалу відповідно до документа матеріалу або характеристиками виготовлювача з врахуванням типу заготівлі та термообробки.

Для введення параметра додаткового тиску в різьбі можна скористатись даними "Блокнота інженера", що знаходяться в розділі "З'єднання ⇒ Рухомі з'єднання ⇒ Генератор болтових з'єднань ⇒ Допустимий тиск на різь".

У списку **Type of Strength Calculation** вибрати основний тип розрахунку **Check calculation** (Перевірковий розрахунок). Виконується перевірка міцності болта при закручуванні й під час експлуатації, а також допустимий тиск в різьбових елементах. Цей параметр є параметром за замовчуванням. При відсутності показників, виділених червоним кольором, умови міцності болтового з'єднання виконані й розрахунок завершено (рис. 8.6).

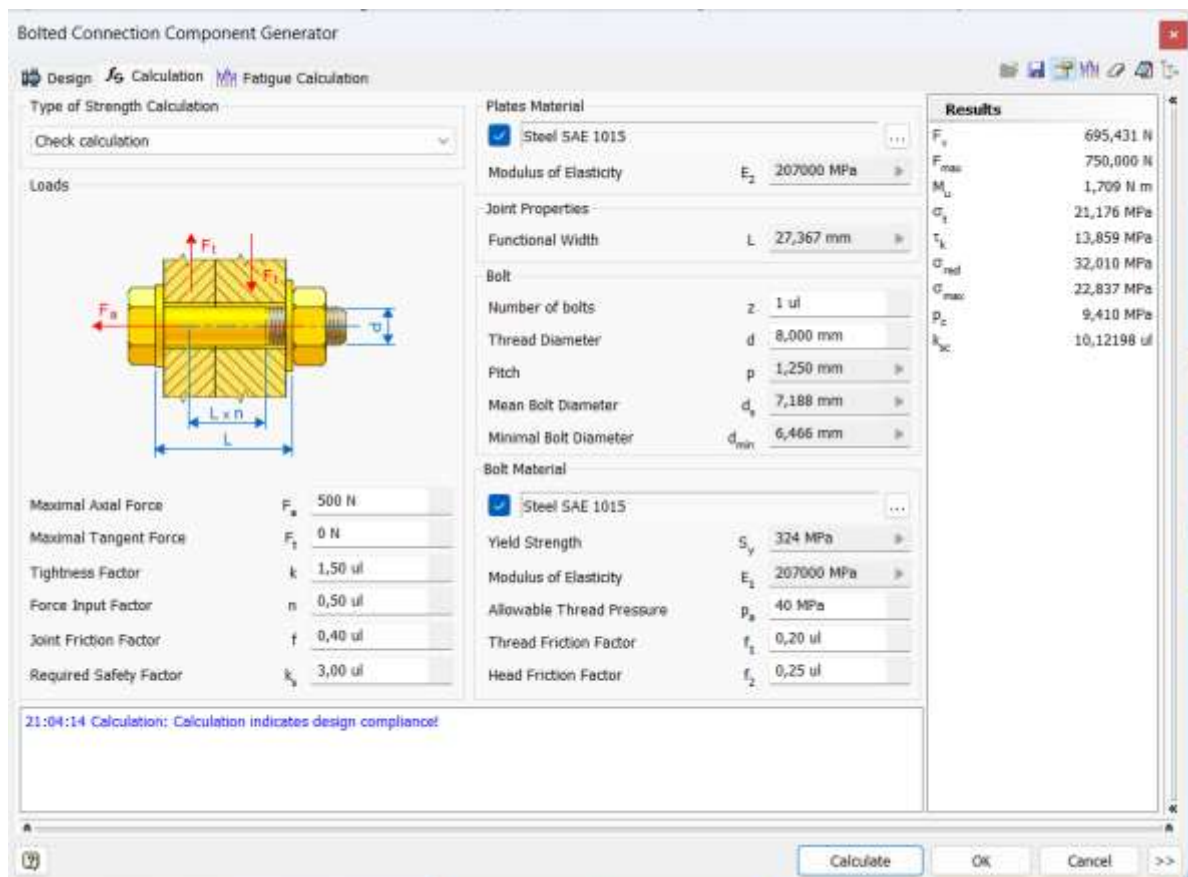


Рис. 8.6. Розрахунок болтового з'єднання

Вставка болтових з'єднань

Генератор болтових з'єднань працює в збірці. Тому спочатку необхідно створити моделі для збірки або відкрити наявну. Виберіть на панелі **Fasten** команду **Bolted Connection**. Для того, щоб вставити з'єднання, збірка повинна містити принаймні один компонент.

На вкладці **Design** діалогового вікна **Bolted Connection Component Generator** виконайте наступні дії.

- В області **Type** виберіть тип болтового з'єднання.
- Зі списку **Placement** (Розташування) виберіть тип розміщення центру отвору **Linear**. Цей список містить такі ж параметри, як і у команди **Hole** (Отвір): **Linear** (Лінійні), **Concentric** (Концентричність), **On point** (В точці).

Тільки замість параметра **By sketch** (По ескізу) там наявний параметр **By hole** (По отвору). При виборі параметра **By hole** отвір повинен бути виконаний тільки командою **Hole** і максимальний діаметр болтового з'єднання обмежений діаметром вибраного отвору. Крім того, для з'єднань з гвинтами з потайною головкою, положення осі яких визначається параметром **By hole** форма отвору повинна відповідати типу гвинта: генератор такі отвори не доопрацьовує.

– Виберіть параметри положення болтового з'єднання. Відповідно до обраного типу розміщення центру отвору вказати початкову площину, ребра, точку або отвір і обмежувальну площину. Конкретний набір параметрів розміщення залежать від обраного типу розміщення. Якщо положення болтового з'єднання не буде вказано, то вибір кріпильних елементів у правій області вкладки **Design** буде неможливий. При вставці глухого болтового з'єднання для вказівки точки початку глухого отвори в області **Placement** замість запиту "Обмеження" відобразиться запит **Linear edge** (Лінійний край). В цьому випадку потрібно вказати плоску грань, на якій буде вхід глухого отвору. Як обмежувальні площини можна використовувати тільки плоскі грані деталей.

Виберіть місце розташування отвору. Відповідно до обраного положення необхідно вказати початкову площину, ребра, точку або отвір, а також площину, що обмежує. Параметри, що відображаються, залежать від вибраного типу розташування. Вибір елементів кріплення фільтрується генератором болтових з'єднань з урахуванням технічних умов розміщення.

Можна також змінити довжину болта у графічному вікні за допомогою 3D-ручки на необхідну довжину (рис. 8.7).

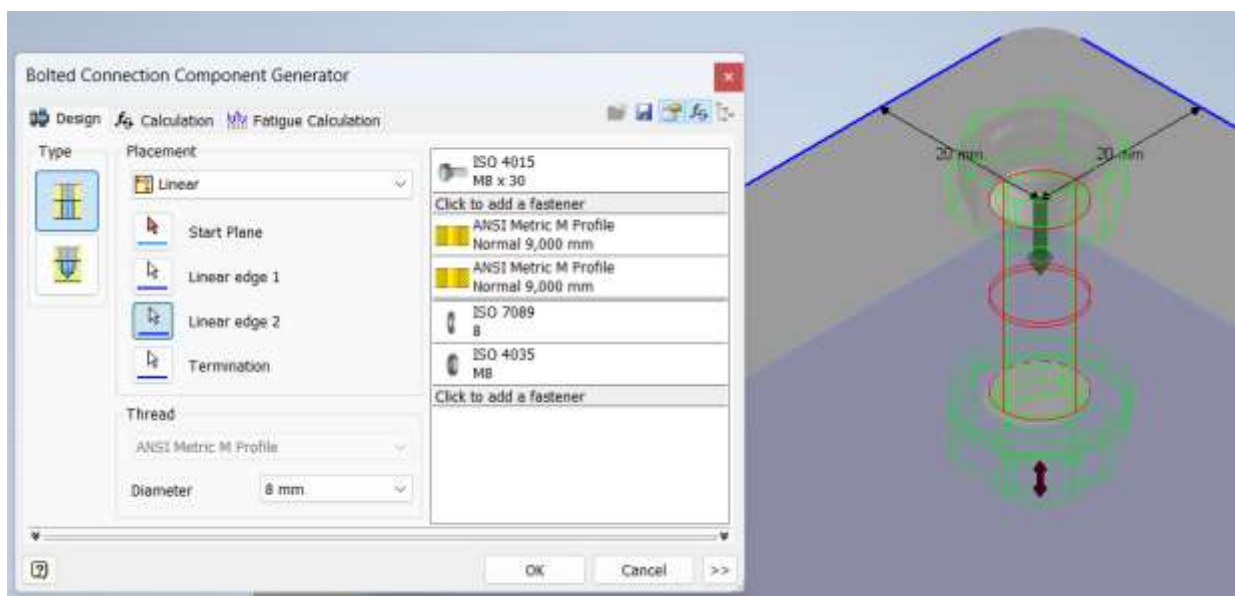


Рис. 8.7. Вибір місця розташування болта

Можна додати або видалити будь-який компонент болтового з'єднання. При видаленні болта видаляються також всі кріплення.

Якщо масив отворів створюється за допомогою команди **Hole** у Autodesk Inventor, то болтове з'єднання вставляється в такі отвори за допомогою генератора болтових з'єднань. Генератор розпізнає наявність у проєкті масиву та активує функцію вставки болтових з'єднань в отвори масиву (рис. 8.8).

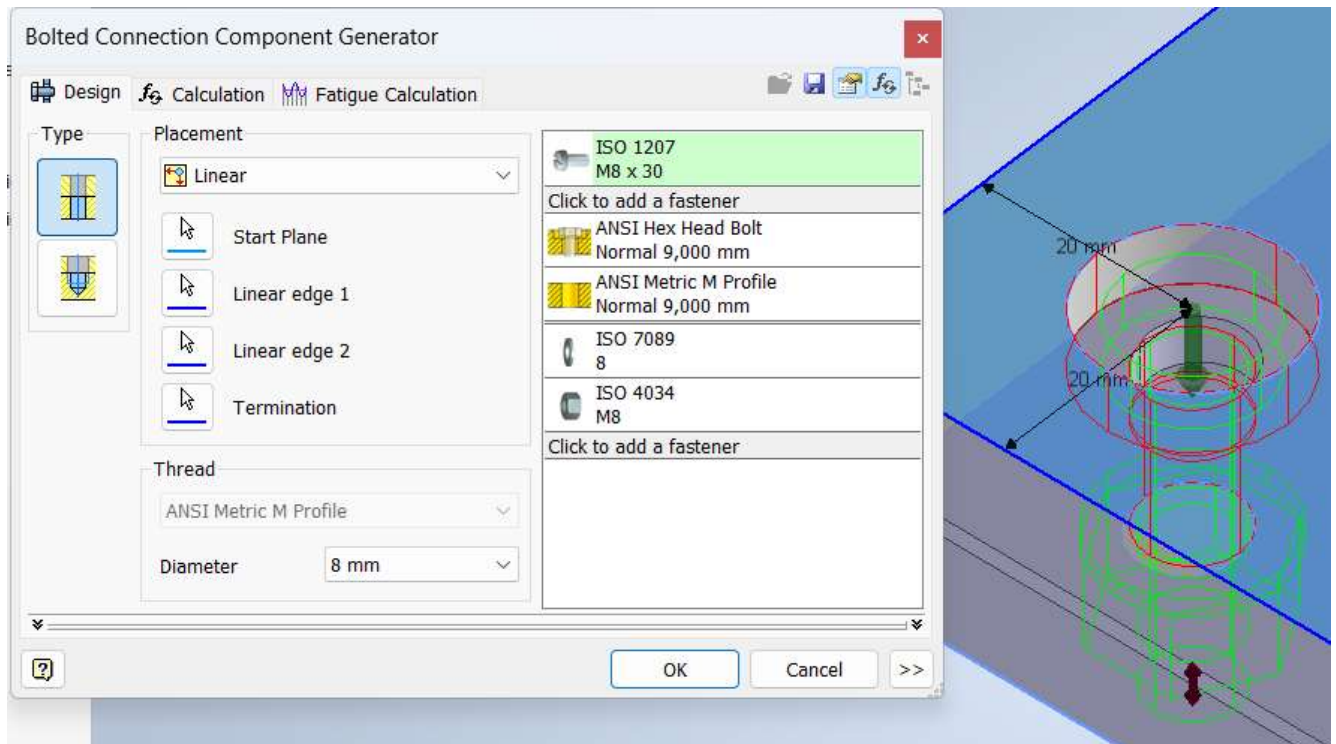


Рис. 8.8. Вставлення болта в готовий отвір

Сформууйте болтове з'єднання. Дотримуйтесь інструкцій у правій частині вкладки **Design**. Клацніть на рядку **Add**, щоб під'єднатися до Бібліотеки компонентів, в якій можна вибрати необхідний додатковий компонент (рис. 8.9).

Натисніть кнопку **OK** для вставки в збірку болтового з'єднання. Якщо вибрати **Apply**, генератор болтових з'єднань залишиться відкритим. Для того, щоб змінити кріплення певного болтового з'єднання, виберіть кріплення із вкладки, що розкривається.

У вікні графічного перегляду відображається вибрана геометрія та компоненти з'єднання болту. Попереднє зображення є схематичним уявленням кріплення. У вікні попереднього перегляду можна також відобразити або приховати геометрію цекованих/зенкованих отворів і відобразити різницю між болтами з внутрішніми шестигранниками, болтами з шестигранними головками (рис. 8.10).

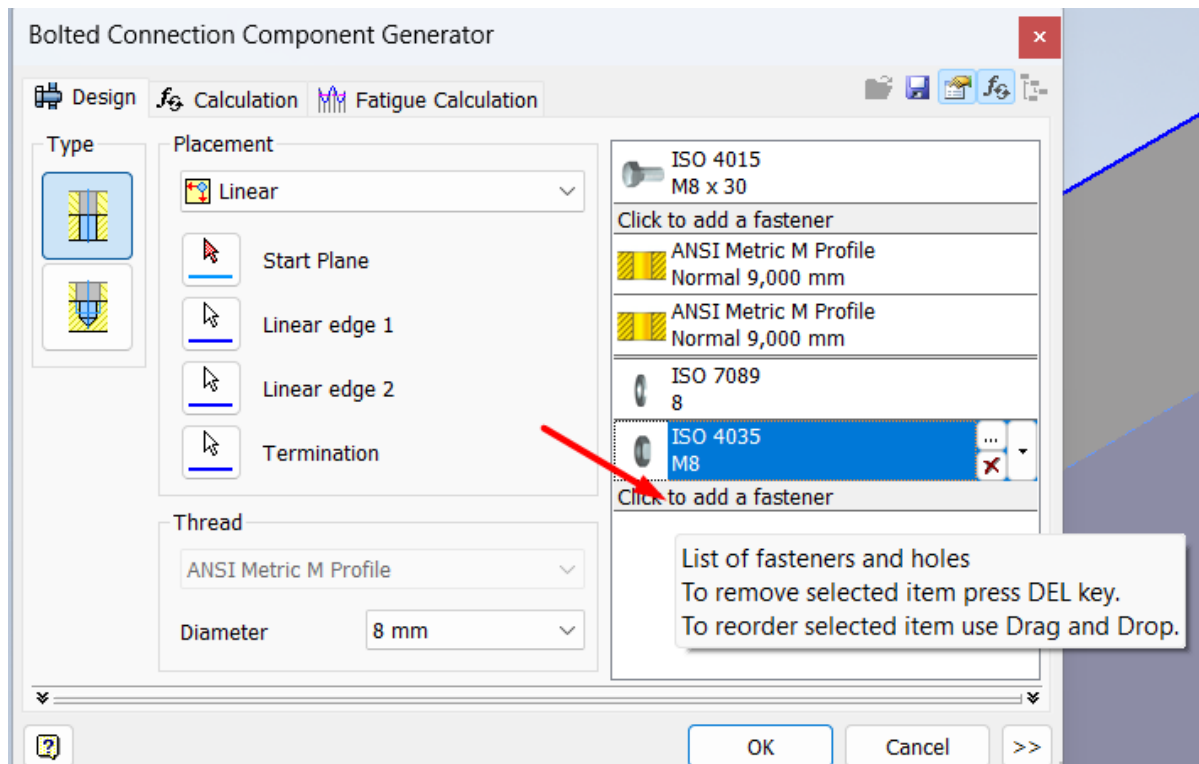


Рис. 8.9. Вибір додаткових компонентів болтового з'єднання

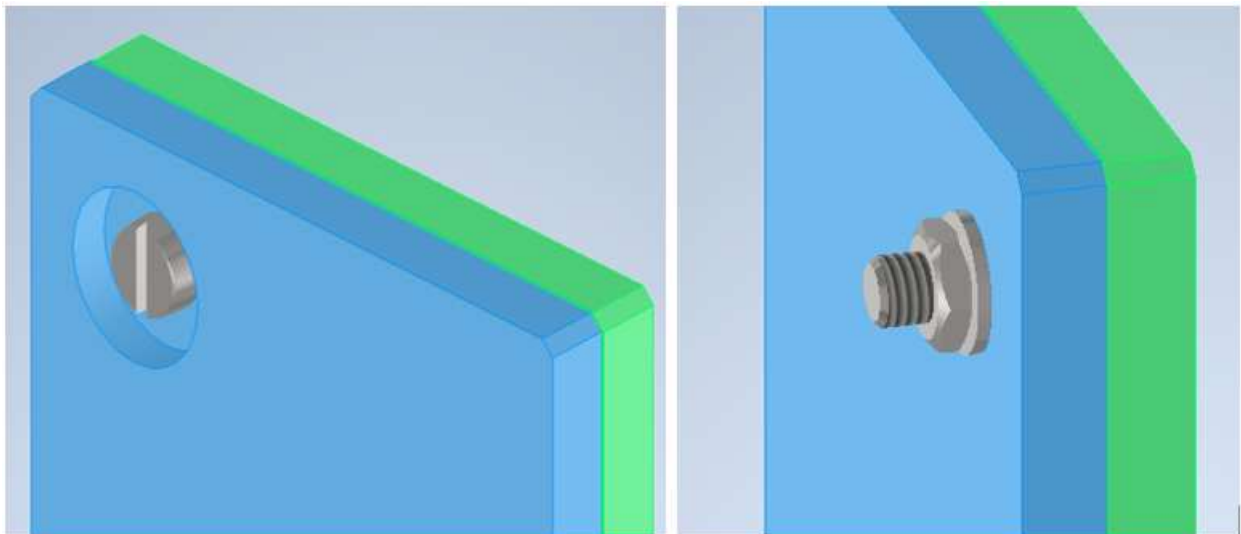


Рис. 8.10. Отримане болтове з'єднання

8.5 Проектування штифтових з'єднань

Clevis Pin Component Generator - генератор з'єднання штифтом з отвором під шплінт. Даний генератор з'єднує дві й більше деталей штифтом з отвором під штифт з головкою чи без. Викликається кнопкою **Clevis Pin**.

Розраховуються, проектуються та перевіряються з'єднання штифтів з отвором під шплінт у частині міцності штифта, мінімального діаметра та матеріалу деталі.

Штифти з отвором під шплінт використовуються для роз'ємних з'єднань, що обертаються, механічних деталей. Як правило, ці сполуки перетворюють

лише поперечні сили, які діють перпендикулярно до осі штифта з отвором під шплінт.

Найчастіше використовуються такі методи підбору [16]:

- Необхідно забезпечити захист сполучних штифтів з отворами під шплінт від осевого переміщення за допомогою шплінтів, гнучких запобіжних кілець, гайок, регулювальних кілець і т.д.

- Стандартизовані штифти виготовляються у версіях з головкою або без неї. Штифти без головок мають отвори під шплінт.

Спочатку потрібно вибрати параметри розміщення. Відповідно до вибраних параметрів розміщення генератор встановлює кількість отворів або пропонує вибрати додаткові отвори або додати віртуальні отвори.

Зазначених типів штифтів у бібліотеці ГОСТ немає. Тому можна скористатись стандартами DIN або ISO.

Група параметрів **Placement** на вкладці **Design** генератора з'єднання штифтом з отвором під шплінт має той же набір параметрів, що і Генератор компонентів болтового з'єднання. Після задання параметрів на вкладці **Design** і натискання кнопки **OK** або **Apply** вставляє штифт вибраного стандарту потрібного розміру, визначеного за відстанню між початковою і кінцевою площинами.

В з'єднуваних деталях (у файлах деталей) створюють відповідні отвори, навіть якщо з'єднувані деталі вставлені в поточну збірку не безпосередньо, а як під збірку.

Генератор з'єднання штифтом виконує також розрахунок оптимальних розмірів штифта з отвором під шплінт для зазначених значень навантаження, розмірів та властивостей стику. Виконується перевірка міцності для зазначених значень навантаження, розмірів та властивостей стику на вкладці **Calculation**.

Штифти використовуються для міцних з'єднань між двома механічними деталями, щоб точно закріпити їх положення і виключити поперечні змінні сили. Як правило, стандартні штифти виготовляються різних розмірів та моделей. Попередні напруження в з'єднанні між деталями досягаються за допомогою виправлення на штифт при розміщенні в отворі або використання конічних штифтів.

Розміщення штифта з отвором під шплінт

Генератор проєктує отвори, додає отвори чи видаляє, необхідно тільки вибрати тип розміщення. Відповідно до вибраних параметрів розміщення генератор встановлює кількість отворів або пропонує вибрати додаткові отвори або додати віртуальні отвори (рис. 8.11).

Якщо сума значень ширини розвилки та стрижня не дорівнює робочій довжині штифта, колір відображення нерівних значень ширини змінюється на червоний. Це також вказує на незадовільний результат перевірки міцності штифта. Відповідний стрижень вибирається з урахуванням цього розміру. Користувач може вручну ввести діаметр або виміряти діаметр Autodesk Inventor за допомогою параметрів, що відображаються після натискання кнопки зі стрілкою поруч із полем редагування.

Дані штифтового з'єднання можна обчислити на основі даних, заданих на вкладці **Design**. Для завдання параметрів розрахунку і запуску розрахунку потрібно перейти на вкладку **Calculation**. Можна змінити розмір штифта з отвором під шплінт або змінити параметри для розрахунку, якщо вхідні значення, що призвели до збою розрахунку, відображаються червоним.

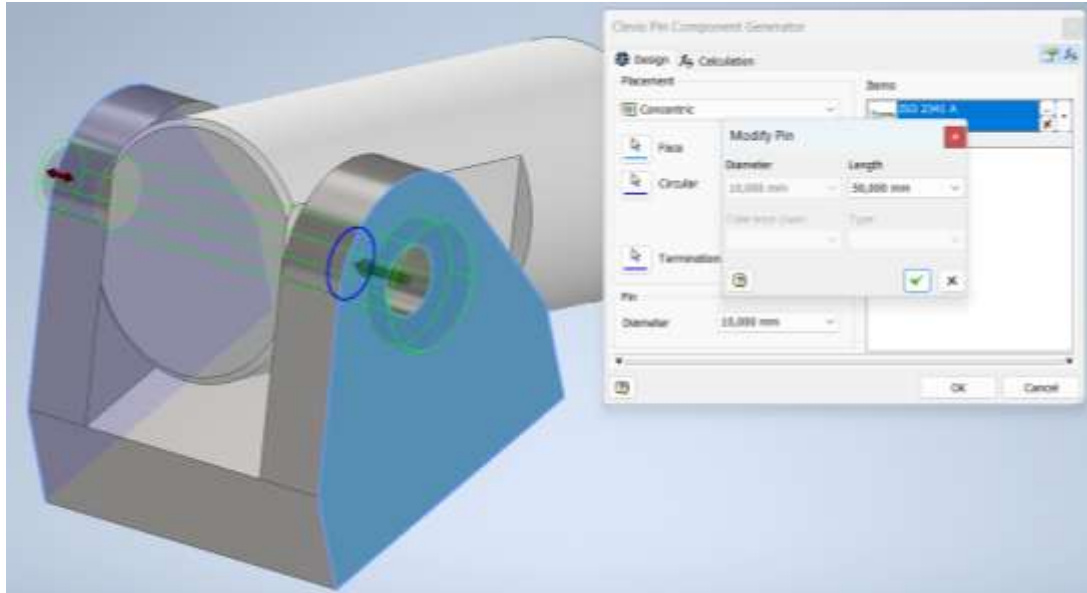


Рис. 8.11. Діалогове вікно **Clevis Pin Component Generator**, вкладка **Design**

При відсутності показників, виділених червоним кольором, слід натиснути кнопку ОК для отримання графічне зображення штифтового з'єднання (рис. 8.12).

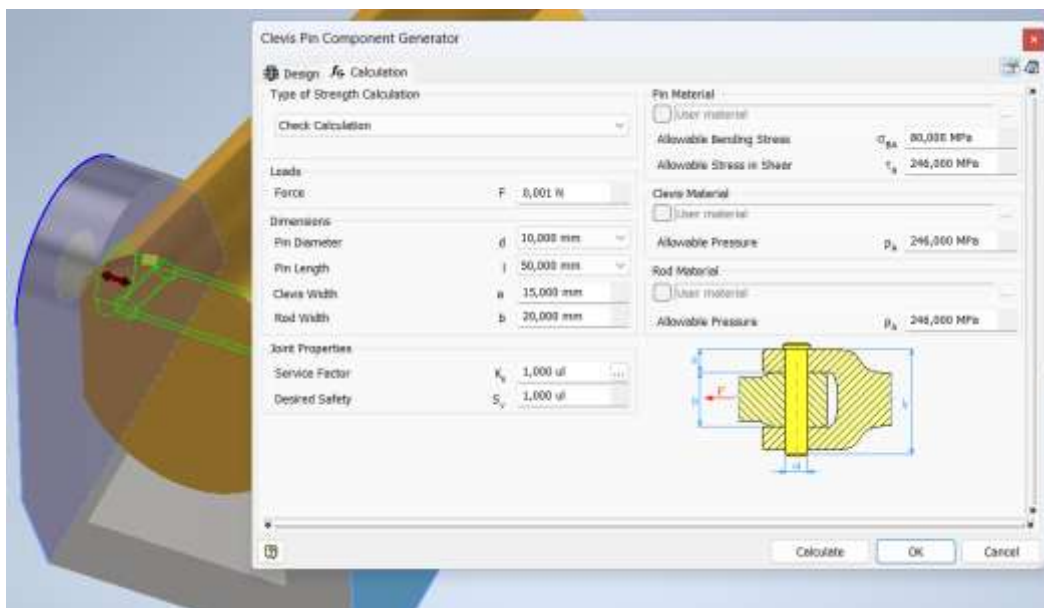


Рис. 8.12. Розрахунок штифтового з'єднання

Штифти з отвором під шплінт зазвичай встановлюються із зазором для утворення двосторонніх з'єднань (з'єднання розвилки та стрижня). Штифти з

отвором під шплінт можна використовувати в коротких осях шківів, ходових колесах і т.д. (рис. 8.13).

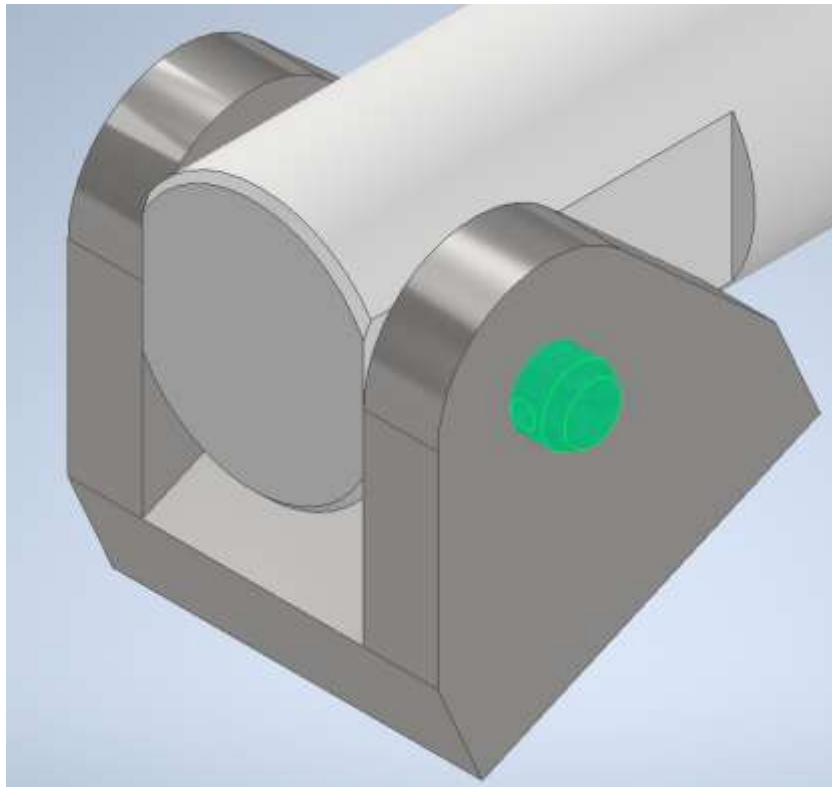


Рис. 8.13. З'єднання штифтом з отвором під шплінт

8.6 Прокєтування пружин

Група деталей машин "Пружини" займає особливе місце в загальній класифікації деталей машин і використовується практично у всіх галузях машинобудування.

Робота пружних елементів у машинах полягає в накопиченні енергії та її наступній віддачі, або в здійсненні необхідного постійного натискання. Для можливості накопичення великої кількості енергії на одиницю маси доцільно застосовувати елементи з можливо більш рівномірним напруженим станом. При цьому пружні елементи мають мінімальні габарити.

Матеріали для пружин повинні мати високі і стабільні у часі пружні властивості. Виготовляти пружини з матеріалів низької міцності недоцільно. Ефективність застосування високоміцних матеріалів для пружин пов'язана також із меншою концентрацією напружень у пружинах, ніж у інших деталях, а також із меншими розмірами перетинів витків.

Основне застосування в машинобудуванні мають пружини з круглого дроту завдяки їх найменшій вартості та у зв'язку з тим, що витки круглого перетину краще інших працюють на кручення. Autodesk Inventor дозволяє зробити розрахунок та перевірку пружин, виготовлених методом холодної навивки з дроту або прута круглого перерізу.

Генератор компонентів пружин в Autodesk Inventor є зручним інструментом для проєктування різних типів пружин. Він дозволяє швидко і точно створювати параметричні моделі пружин, що відповідають заданим вимогам, з урахуванням необхідних стандартів і матеріалів.

Генератор компонентів пружин

Генератор компонентів пружин працює в режимах проєктування та перевірки. При проєктуванні пружини розраховуються діаметр дроту, число витків і довжина пружини у вільному стані для конкретного навантаження, для складальних розмірів або діаметра і матеріалу пружини. У режимі перевірки проводиться розрахунок розмірів складання чи навантажень на пружину для конкретної пружини. Усі моделі створюються із гвинтами правого обертання.

В генераторі компонентів пружин можна згенерувати основні типи пружин:

- стиску;
- розтягу;
- кручення;
- тарілчасті.

Для запуску генератора пружин стиску на вкладці **Design** у групі **Spring** вибираємо команду **Compression**. В результаті з'явиться діалогове вікно **Compression Spring Component Generator** (рис. 8.14).

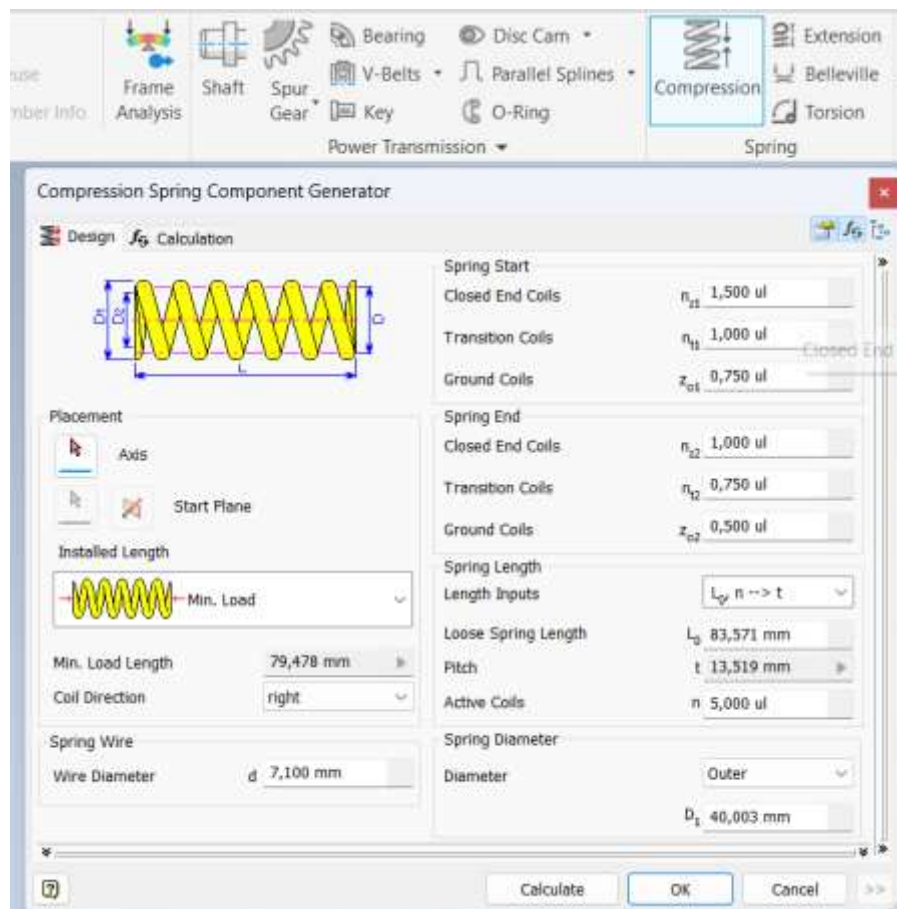


Рис. 8.14. Діалогове вікно **Compression Spring Component Generator** вкладка **Design**

Compression Spring Component Generator виконує розрахунок чистого стиснення з коригуванням по додатковому вигину. У генераторі використовується чотири основні стани пружини:

- Вільний - пружина не навантажена.
- Попередньо навантажений - на пружину діє найменше робоче навантаження.
- Повністю навантажений - на пружину діє максимальне робоче навантаження.
- Гранично навантажений стан - пружина втиснута до торкання витків.

На вкладці **Design** задаються параметри для проектування пружини стиснення, такі як довжина пружини або діаметр дроту. На вкладці **Calculation** задаються параметри для розрахунку пружини стиснення, такі як тип розрахунку міцності, навантаження або матеріали пружини (рис. 8.15).

Results	
a	6,419 mm
t	13,519 mm
K _w	1,000 ul
k	122,168 N/mm
s ₁	4,093 mm
s ₂	9,823 mm
s ₃	32,096 mm
L _{min}	56,800 mm
L ₀	51,475 mm
F ₃	3921,104 N
τ ₁	117,050 MPa
τ ₂	280,919 MPa
τ ₃	917,929 MPa
v	19,425 mps
f	436,047 Hz
W _g	5,894 J
l	789,672 mm
m	0,245 kg

Рис. 8.15. Вкладка **Calculation** генератора пружини стиску

Після виконання розрахунку отримуємо графічне зображення згенерованої пружини стиску (рис. 8.16).

Якщо при розрахунку отримали значення, які не відповідають вимогам міцності й позначені червоним кольором, слід відкоригувати вхідні параметри й знов виконати розрахунок.



Рис. 8.16. Згенерована модель пружини стиску

Для проектування пружини розтягу слід перейти до вкладки **Extension** (рис. 8.17).

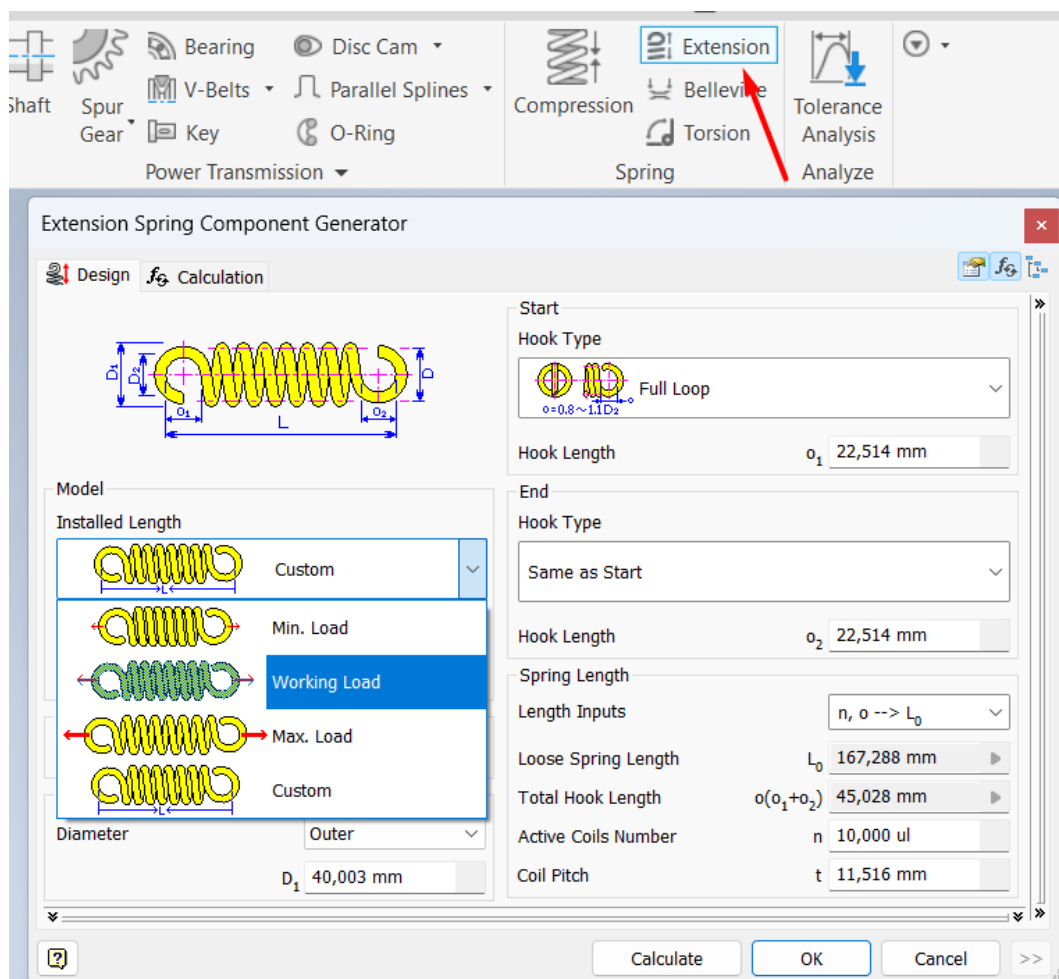


Рис. 8.17. Проектування пружини розтягу

Генератор **Extension Spring Component Generator** призначений для розрахунку чистого розтягування при з'єднанні для додаткового вигину. У генераторі використовується чотири основні стани пружини:

- Вільний - пружина не навантажена.
- Попередньо навантажений - застосування найменшого робочого навантаження для індексу пружини.
- Повністю навантажений - застосування максимального робочого навантаження для пружини.
- Гранично навантажений стан - пружина деформована до граничної довжини.

При проектуванні пружини розраховуються діаметр дроту, число витків і довжина пружини у вільному стані для конкретного навантаження, для складальних розмірів або діаметра і матеріалу пружини. У режимі перевірки проводиться розрахунок розмірів складання чи навантажень на пружину для конкретної пружини.

Відображення розрахункових значень розмірів, таких як коефіцієнт поправки або маса пружини. Значення розраховуються під час виклику команди **Calculate**. Після виконання розрахунку отримуємо графічне зображення пружини розтягу (рис. 8.18).



Рис. 8.18. Згенерована модель пружини розтягу

Генератор компонентів пружини кручення використовується для підбору та перевірки гвинтових пружин кручення, виготовлених методом холодної навивки із прутка круглого перерізу.

На вкладці розрахунку існує два режими: проектування та перевірка. У ході проектування пружини проводиться розрахунок діаметра дроту, числа витків, вільної довжини пружини під задане навантаження, складальні розміри або під діаметр та матеріал пружини. У режимі перевірки проводиться розрахунок розмірів складання чи навантажень на пружину для конкретної пружини.

На панелі результатів відображаються основні параметри й характеристики пружин:

Кут між важелями у вільному стані (α_0)

Індекс пружини (c)

Середній діаметр пружини (D)

Зовнішній діаметр пружини (D_1)

Внутрішній діаметр пружини (D_2).

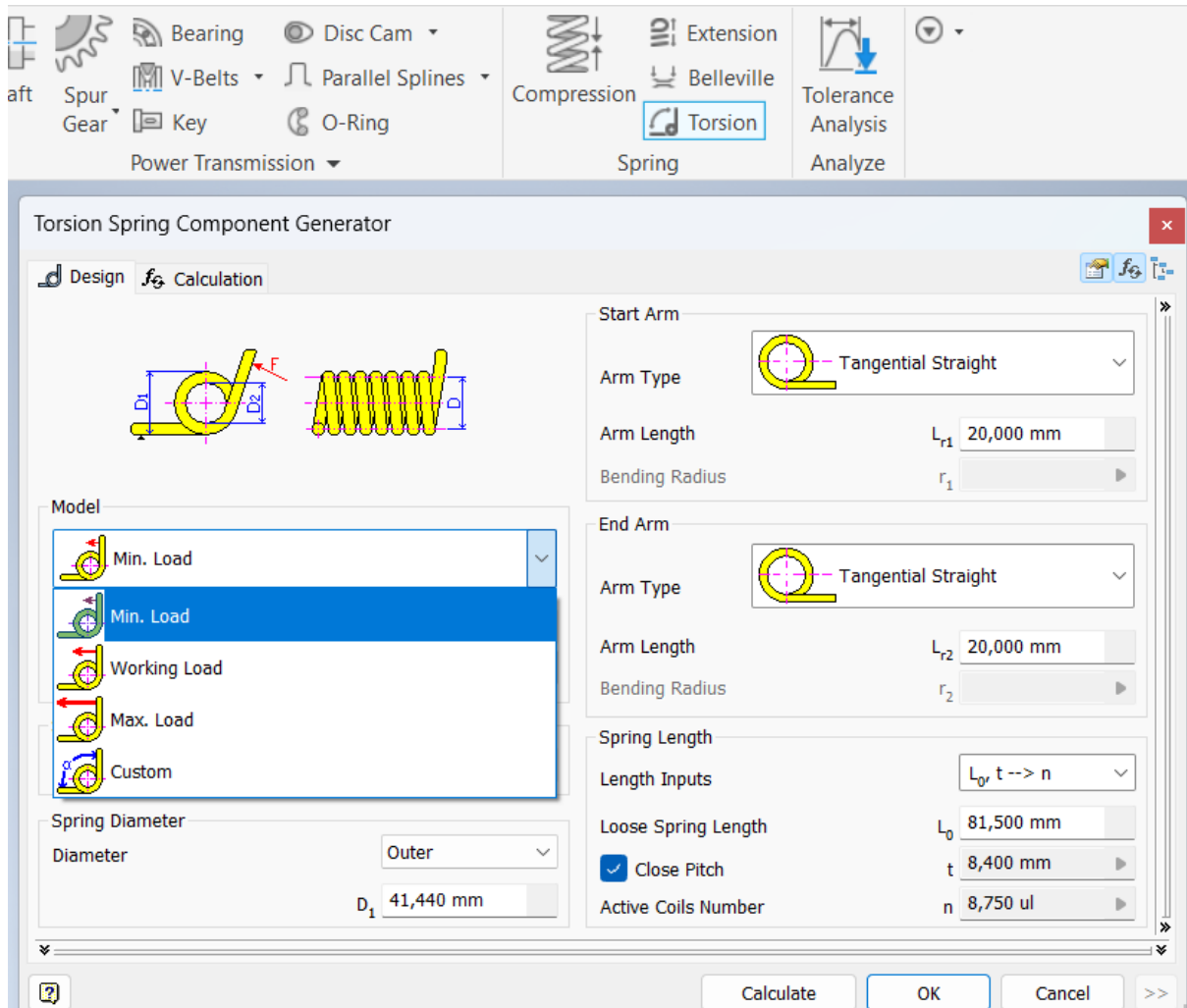


Рис. 8.19. Проектування пружини кручення

Генератор компонентів тарілчастої пружини.

Ці пружини використовуються передачі великих навантажень і мають при цьому малі відхилення. Вони використовуються поодиночі або у пакетах (рис. 8.20).

У наборах використовуються такі види кріплень:

- укладання в паралель (пружини розташовуються послідовно);
- укладання в ряд (пружини кріпляться на протилежних сторонах);
- укладання в ряд і паралель (набори послідовно закріплених пружин монтуються на протилежних боках).

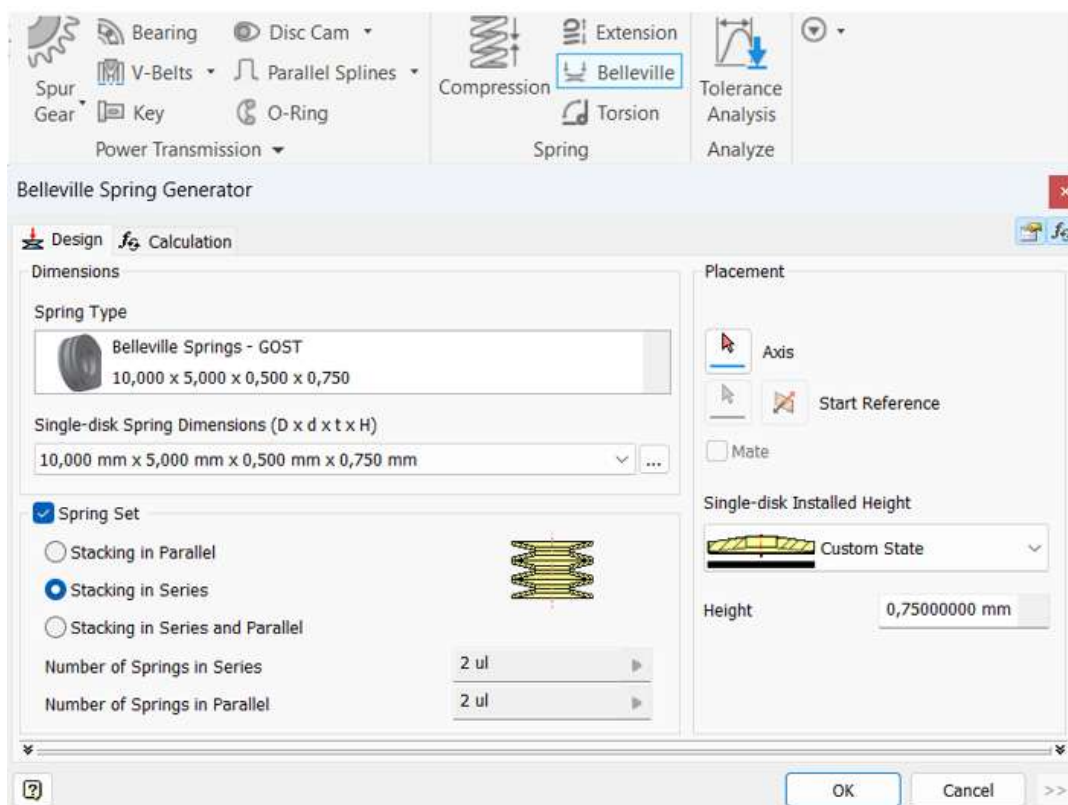


Рис. 8.20. Проектування тарілчастої пружини

По завершенні проектування можна отримати специфікацію на отримані моделі (рис. 8.21).

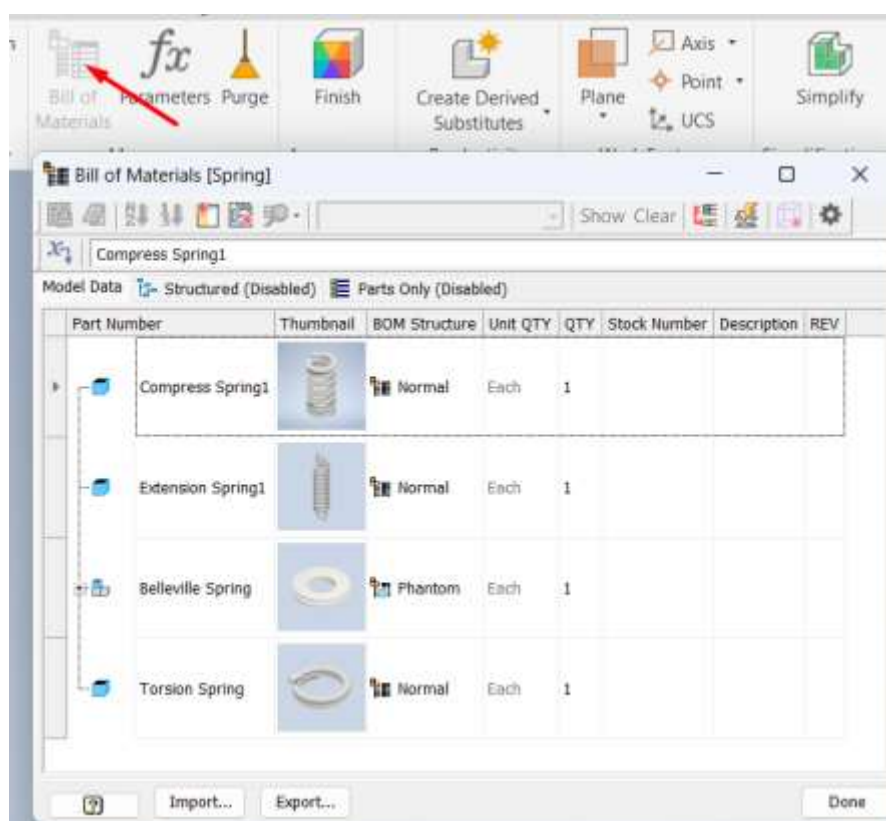


Рис. 8.21. Перегляд специфікації на отримані моделі



Контрольні питання

1. Назвіть призначення та основні можливості генератора болтових з'єднань.
2. Приведіть порядок дій при вставці болтового з'єднання в модель.
3. Назвіть основні можливості генератора болтових з'єднань.
4. Назвіть типи розрахунків на міцність, які доступні при моделюванні з'єднань.
5. Які операції необхідно виконати для того, щоб провести міцнісний розрахунок деталі або складальної одиниці?
6. Які параметри пружини розраховуються при проєктуванні?

9 СИСТЕМА МІЦНІСНОГО АНАЛІЗУ МОДЕЛЕЙ

9.1 Середовище аналізу напружень

Аналіз напружень допомагає знайти найкращі варіанти проєктування деталей чи збірки. На ранніх етапах розробки проєкту можна переконатися, що у передбачуваних умовах він функціонує задовільно, без поломок і деформацій.

Для входу в середовище аналізу напружень відкрийте модель деталі або збірки. В меню виберіть вкладку **Environment** і потім **Stress Analysis** (рис. 9.1).

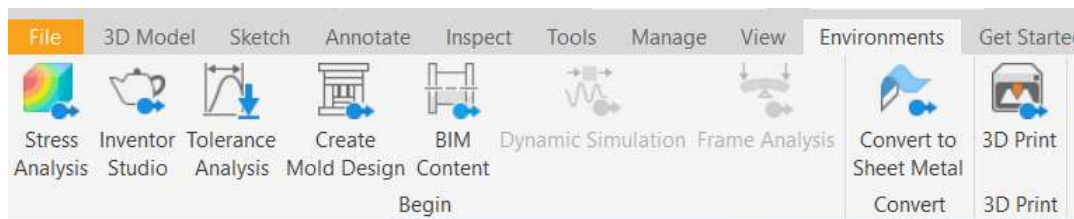


Рис. 9.1. Вхід в модуль **Stress Analysis**

Аналіз напружень доступний на панелі інструментів на вкладці 3D-модель в групі **Design**. На ній при першому вході в модуль з даною деталлю або збіркою активними є тільки команди:

Create Simulation Створити моделювання, **Frame Analysis Settings** Параметри аналізу напружень, **Finish Frame Analysis** Завершити аналіз напружень.

Браузер аналізу напружень в цьому випадку містить тільки заголовок.

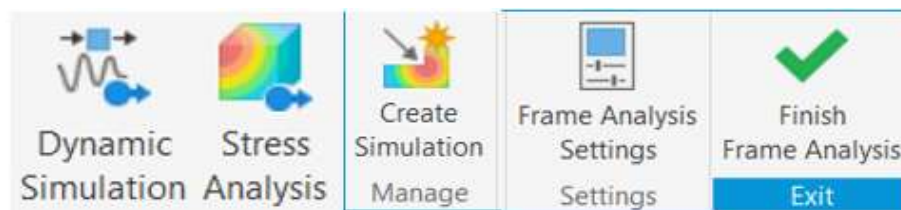


Рис. 9.2. Активні команди при першому вході в модуль **Stress Analysis**

Послідовність виконання аналізу напружень.

- Увійти в модуль аналізу напружень.
- Створити модель аналізу напружень і задати його параметри.
- Виключити з аналізу компоненти (вузли та деталі для збірок) або елементи (для деталей), які не потрібні, або не суттєво впливають на результат в даному моделюванні.
- Перевірити, чи використовувані матеріали деталей є відповідними, і, в іншому випадку, задати їх. По закінченні цього етапу стає доступним модальний аналіз.
- Накласти структурні залежності (опорні поверхні та тип закріплення).
- Прикласти навантаження до граней, ребер або вершин деталей.
- Задати умови контактів (для збірок).

- Налаштувати сітку (за необхідності).
- Запустити моделювання.
- Виконати перегляд та інтерпретацію результатів.
- Виконати генерацію звіту.

9.2 Створення моделювання

При запуску моделювання проводиться аналіз методом кінцевих елементів (АМКЕ) для всіх комбінацій заданих змінних. Перед запуском моделювання слід виконати всі кроки для визначення параметрів для аналізу.

На вкладці **Stress Analysis** потрібно вибрати й натиснути в групі керування кнопку **Create New Study**. У діалоговому вікні **Create New Study** вибрати необхідні параметри. В даному діалоговому вікні знаходяться дві вкладки: **Stude Type** та **Model State**.

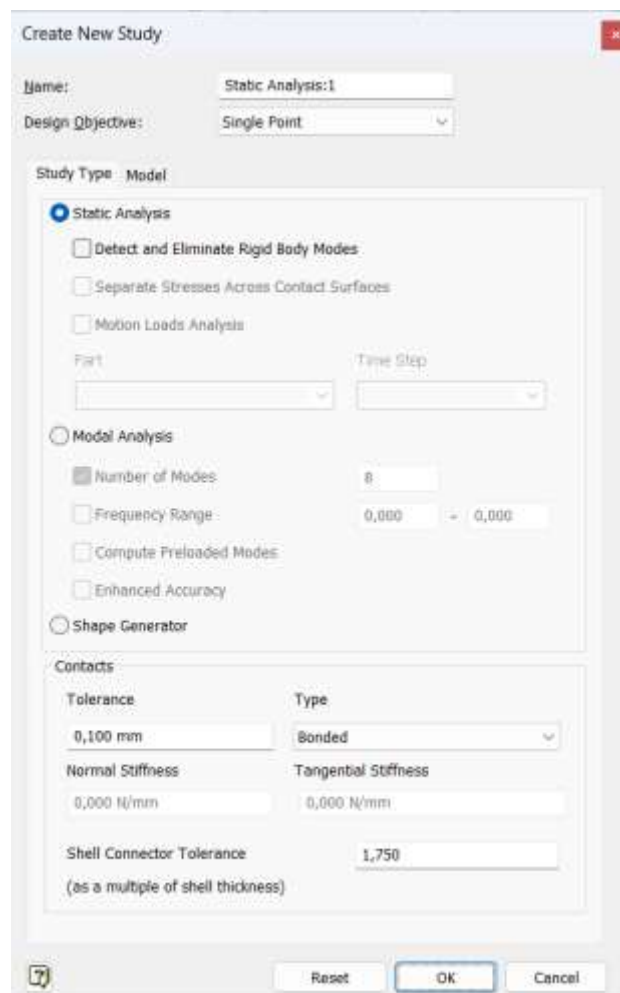


Рис. 9.3. Діалогове вікно **Create New Study**

На вкладці **Stude Type** знаходяться параметри, що стосуються вибору типу аналізу (статичний або модальний), їх властивостей та властивостей контактів деталей у моделі збірки. На вкладці **Model State** приведені представлення збірки, які можна вибрати для моделювання.

На вкладці **Stude Type** вибирається тип аналізу, який необхідно виконати.

Параметр Static Analysis

Detect and Eliminate Rigid Body Modes (виявити та усунути режими жорсткого тіла) - дозволяє знайти розв'язок для статичної або динамічної рівноваги, яку задають навантаження. Застосовується для отримання більш точного та збалансованого розв'язку.

Після запуску модуля **Stress Analysis** Autodesk Inventor® перевіряє матеріали деталей. Якщо матеріал є адекватним, він вноситься до списку в браузері аналізу напружень. Щоб побачити весь перелік матеріалів, призначених деталям моделі, потрібно в браузері виділити заголовок розділу "Матеріал" і активувати параметр Показати всі матеріали".

Призначити матеріал деталі для аналізу можна двома шляхами:

В середовищі моделювання деталі в браузері вибрати заголовок деталі й із контекстного меню вибрати команду Властивості Inventor. Перейти на вкладку Фізичні й зі списку Матеріал вибрати потрібний матеріал.

На панелі інструментів середовища аналізу напружень в групі "Матеріал вибрати команду Призначити матеріал. В базі матеріалів Inventor відсутні матеріали, що використовуються в Україні та країнах СНД. Крім того, інколи у матеріалів в базі даних відсутні дані про межу пластичності.

9.3 Застосування структурних обмежень

В модулі **Stress Analysis** для виконання аналізу застосовуються обмеження. Фіксовані обмеження фіксують рух граней, країв або точок моделі. Моделюють у спрощеному вигляді жорстке закріплення. Поворотні обмеження застосовується для фіксації руху у радіальному, осьовому або тангенціальному напрямках відповідно до налаштованих параметрів. Лінійні обмеження застосовується для обмеження руху в певному напрямку або площині. Їх використовують для імітації лінійних підшипників і з'єднань з парами ковзання.

Приклад накладання обмежень (рис. 9.4).

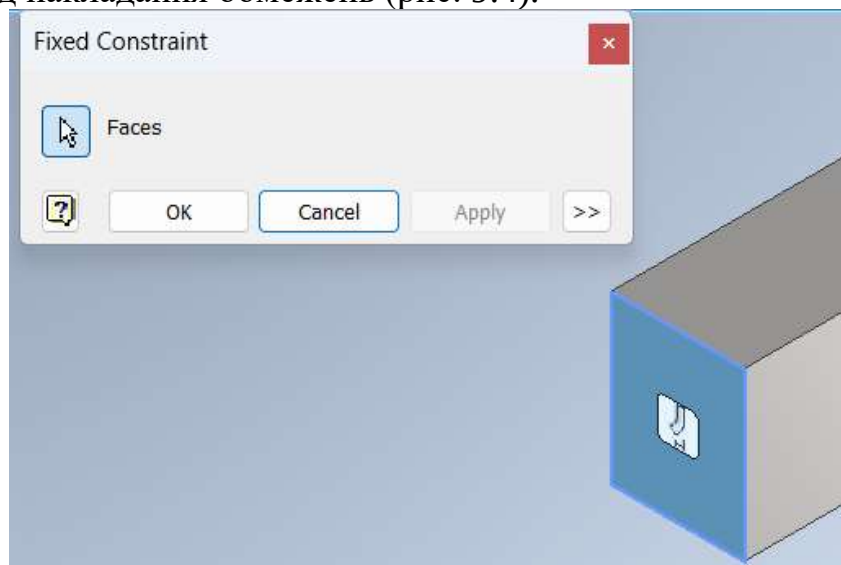


Рис. 9.4. Накладання обмеження **Fixed**

9.4 Навантаження моделі

Перший крок в підготовці моделі для аналізу - це застосування одного або більшої кількості навантажень до моделі (табл. 9.1).

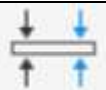
Параметри аналізу. При визначенні навантаження й реакції зв'язку для деталі, величини, які вводяться (величини, компоненти вектора й так далі) зберігаються як параметри в Autodesk Inventor.

Є певні умови застосування параметрів аналізу моделі. Параметри, що генеруються системою, видалити неможливо. Вони видаляються автоматично, якщо видалені їх приєднані навантаження або реакції зв'язку. Також не можна видалити параметри, які в цей час використовуються параметром, генерованим системою [16].

Перед запуском розв'язку, можна встановити тип аналізу і величину сітки для аналізу.

Таблиця 9.1

Типи навантажень і обмежень при аналізі моделі

Вид навантаження	Назва в Inventor	Піктограма
Сила	Force	
Тиск	Pressure	
Зусилля в опорі	Bearing	
Момент	Moment	
Гравітація	Gravity	
Тіло	Body	
Дистанційна сила	Remote Force	
Вид обмеження	Назва в Inventor	Піктограма
Фіксовані	Fixed	
Поворотні	Pin	
Лінійні	Frictionless	

Структурні навантаження - це сили, які діють деталь чи складання під час операції. Такі навантаження викликають напруження, деформацію та зміщення компонентів. Навантаження є частиною умов, які визначаються для моделювання. Для моделювання умов, які можуть виникнути, можна додати

навантаження для областей, які можуть виникнути.

Для моделювання необхідно призначити матеріали, які вибираються з користувацької бібліотеки матеріалів Inventor. Властивості матеріалу визначають структурні характеристики кожної частини моделі в одному моделюванні. Кожне моделювання може мати відмінний від інших набір матеріалів кожного компонента.

Види навантажень, які можна застосувати в Autodesk Inventor, охоплюють майже всі основні можливі способи прикладання навантажень.

Основний вид навантажень, який застосовують при аналізі - це статичні навантаження.

Зосереджена сила прикладається до набору граней або точок моделі. Направлена така сила по нормалі в тіло моделі. Для прикладання розподіленого навантаження, що застосовується до поверхні моделі, використовують тиск. Наступний вид навантаження - крутний момент, що застосовується до граней або країв моделі.

Також можна задіяти гравітаційне навантаження, яке імітує вплив сили тяжіння на всю модель.

При необхідності використовують різні варіації й комбінації навантажень. Багато видів навантажень дозволяють задавати змінні параметри, що імітують реальні умови експлуатації (наприклад, тиск може змінюватися вздовж поверхні).

Можна комбінувати різні типи навантажень для аналізу складних сценаріїв, наприклад, одночасна дія сили, моменту і температурного навантаження.

Процес застосування додаткових навантажень виконується аналогічно загальному аналізу навантажень в Autodesk Inventor.

Після завантаження моделі необхідно переконатися, що вона готова для аналізу, тобто усі компоненти пов'язані та скомпоновані. Далі йде перехід до вкладки Environments і запускається модуль Stress Analysis.

В налаштуванні умов аналізу додаються обмеження (наприклад, фіксовані вузли) для визначення умов закріплення моделі. Застосовуються відповідні види навантажень з використанням відповідних інструментів на панелі.

Запуск аналізу починається натисканням вкладки Simulate (Симуляція). Програма обчислить напруження, деформації та інші параметри на основі заданих умов.

Після завершення розрахунків перевіряються результати за допомогою інструментів візуалізації (графіки напружень, деформацій, переміщень тощо).

Матеріал повинен відповідати вимогам щодо моделювання. Наприклад, для параметрів "Модуль Юнга", "Щільність" та "Межа плинності" повинні бути встановлені ненульові позитивні значення. Усі об'єкти мають межу навантаження (напружень), що залежить від використовуваного матеріалу, який представляється як пружність матеріалу або межа міцності.

При виконанні аналізу моделі (або моделювання) створюються тривимірні напруження та деформації у різних напрямках. Зазвичай ці багатоспрямовані напруження підсумовується для отримання еквівалентного напруження, яке

також називається напруженням по фон Мізесу. Тривимірне тверде тіло має шість компонентів напружень. Іноді тести одноосьового напруження дозволяють визначити властивості матеріалу експериментальним шляхом. У цьому випадку поєднання шести компонентів напружень до одного еквівалентного напруження відноситься до реального напруженого стану.

В групі параметрів прикладення навантаження знаходиться кнопка прикладення зусилля, за активності якої вибираються потрібні грані (рис. 9.5).

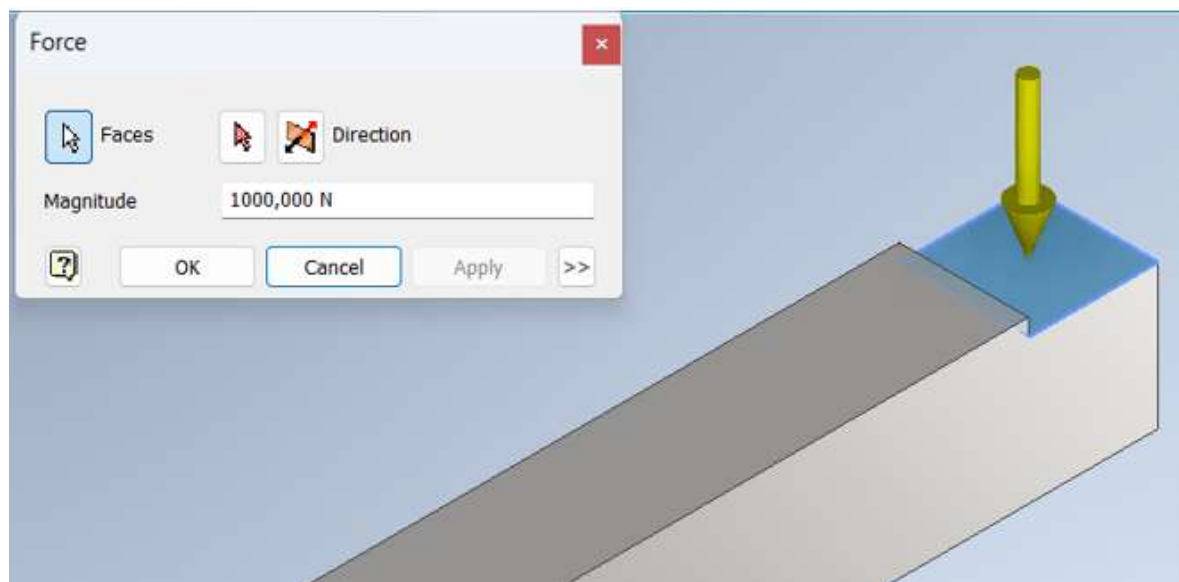


Рис. 9.5. Прикладення навантаження

Autodesk Inventor надає широкий спектр можливостей для міцнісного аналізу з різними типами навантажень, що дозволяє інженерам створювати точні моделі і проводити детальний аналіз умов експлуатації. Знання цих видів навантажень та вміння їх правильно застосовувати є ключовим для забезпечення надійності і довговічності проєктованих конструкцій.

9.5 Результати аналізу моделі

Фізичні зміщення та напруження розраховуються для деталей чи збірок щодо глобальної системи координат файлу.

Стан напружень розраховується для деталі чи збірки деталей. Відповідно до теорії еластичності, стан напруги в тривимірному вимірі для нескінченно малого обсягу матеріалу в довільному місці включає нормальні та дотичні напруження.

Результати цих розрахунків можна переглянути у вузлі оглядача **Results**.

Після запуску процесу моделювання графічна область оновлюється, щоб відобразилися результати аналізу у формі графіку об'єму з панеллю кольору, де відображаються діапазони значень змінної (вид за умовчанням). В теці браузера **Results** знаходяться такі типи результатів:

- **Von Mises Stress** – Напруження по Мізесу – еквівалентне напруження

за IV теорією міцності;

- **1st Principal Stress** – 1-е основне напруження;
- **3rd Principal Stress** – 3-є основне напруження;
- **Displacement** – сумарне зміщення точок компонента.
- **Safety Factor** – мінімальний коефіцієнт запасу міцності.
- В теці **Stress** – нормальні (XX, YY, ZZ) та дотичні (XY, XZ, YZ)

напруження.

- В теці **Displacement** – векторні компоненти сумарного зміщення.
- В теці **Strain** – еквівалентна, 1-а і 3-я основні деформації та деформації від дії нормальних та дотичних напружень.

Для їх перегляду правою кнопкою миші клацніть по вузлу браузера, що відповідає результатам, які ви хотіли б подивитися, і виберіть команду **Activate**, або подвійним клацанням миші розгорніть потрібний вузол браузера. Для виходу з представлення результатів двічі клацніть активний вузол результатів.

Кнопки команд показу результатів моделювання та налаштування їх параметрів представлені на панелі стрічкового меню середовища аналізу напружень. Деформована модель відображає контури кольорів, які відповідають значенням, визначеним на панелі кольорів (рис. 9.6).

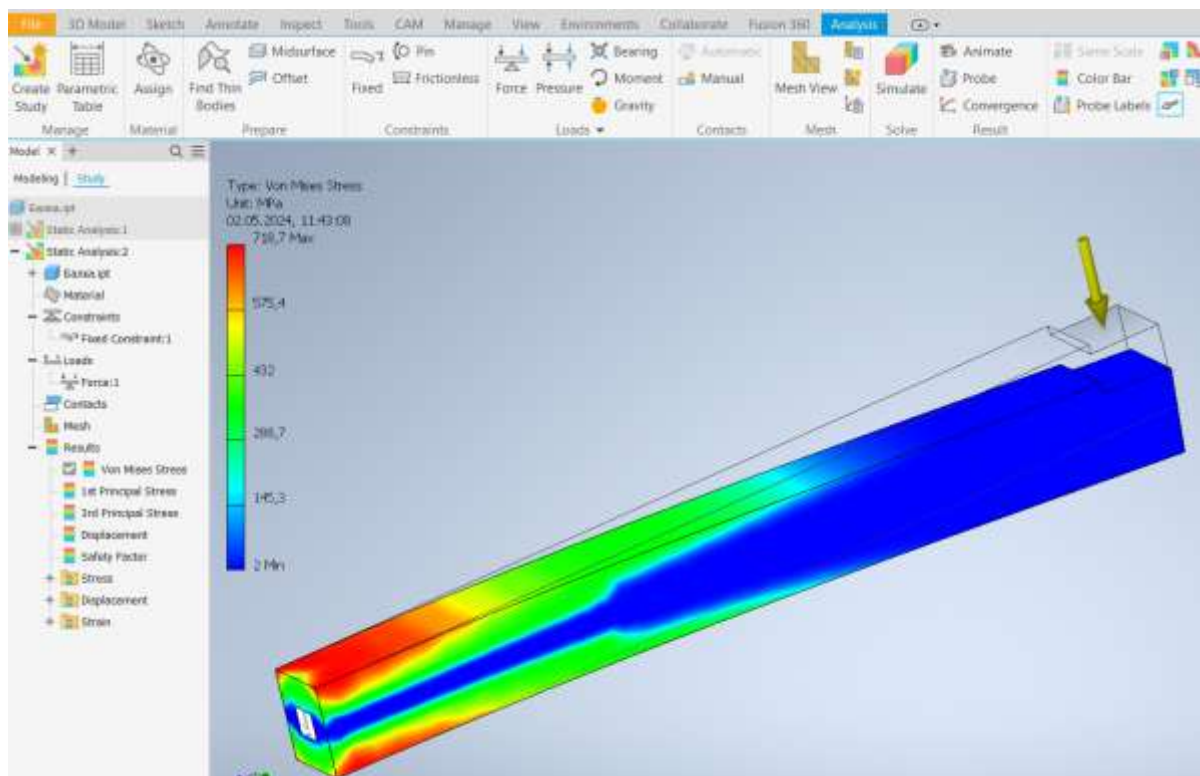


Рис. 9.6. Відображення результатів моделювання

На панелі налаштування кольору можна побачити, які кольори контуру відповідають значенням напружень або зміщенням, розрахованим при вирішенні. Для діапазону стандартної панелі встановлено значення автоматично. У програмі Inventor можна встановити діапазон значень для відображення.

У більшості випадків результати, що відображаються червоним кольором,

містять дані про високі напруження або значну деформацію, або про низький запас міцності. У кожному наборі результатів представлено інформацію про вплив навантаження на деталь (рис. 9.10).

Нормальні значення напружень при розтягуванні позитивні, а при стисненні - негативні. Значення дотичних напружень позитивні, коли їх визначальні позитивні осі обертаються в напрямку один до одного (за допомогою правила правої руки).

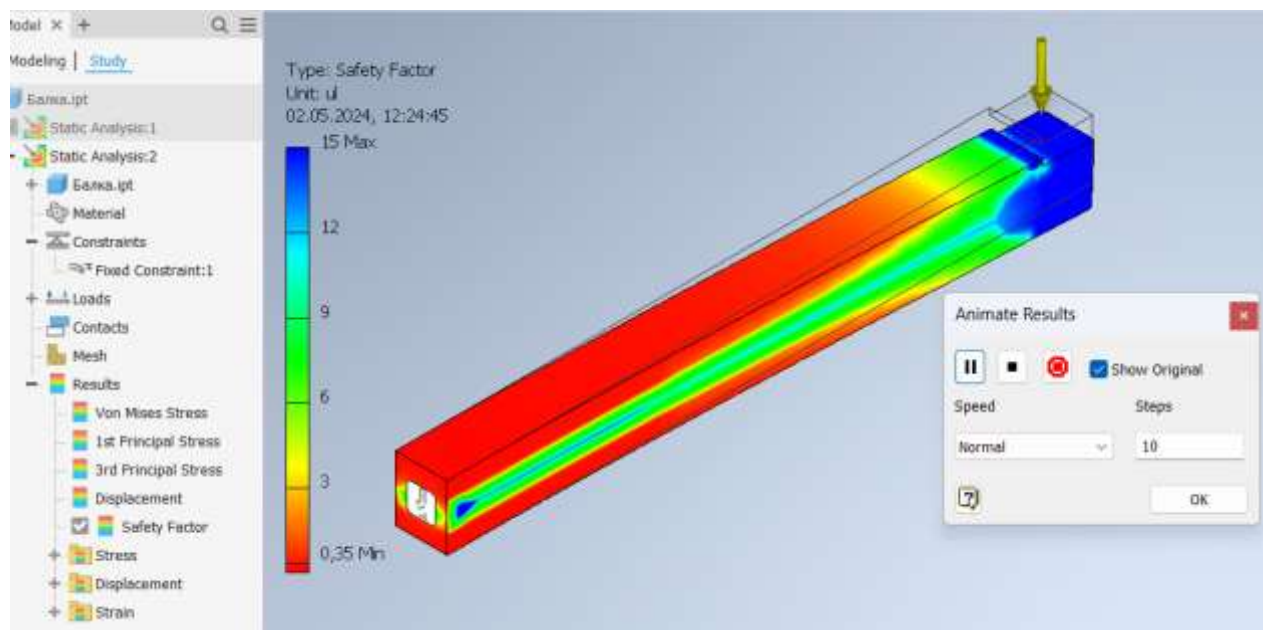


Рис. 9.10. Перегляд результатів навантажень балки

За результатами аналізу можна опублікувати звіти чи модель у форматі DWF. Для створення звітів про аналіз моделювання перейти на вкладку Stress Analysis tab ► Report panel ► Report (рис. 9.11).

Аналіз напружень допомагає переконатися, що у передбачуваних умовах модель функціонує задовільно, без поломок і деформацій.

Для статичного аналізу результатом за замовчанням є напруження **Von Mises Stress**, а для модального аналізу - це **1st Principal Stress**. Для перегляду результатів використовуються команди відображення та вузли Results у браузері.

Report

☐ Complete
☒ Custom

General Properties Studies Format

Report Title: Stress Analysis Report

Report Author: Zbook

☒ Logo: C:\Users\Public\Documents\Autodesk\Inv ...

☒ Summary

Images Size: 640 x 480

Report Location

Filename: Балка.ipt Stress Analysis Report 02.05.2024.html

Path: <Current Path to *.ipt file>

OK Cancel

Рис. 9.11. Створення звітів про аналіз моделювання

Інструменти аналізу дозволяють візуалізувати величину напружень в компоненті, його деформацію і запас міцності (рис. 9.12).

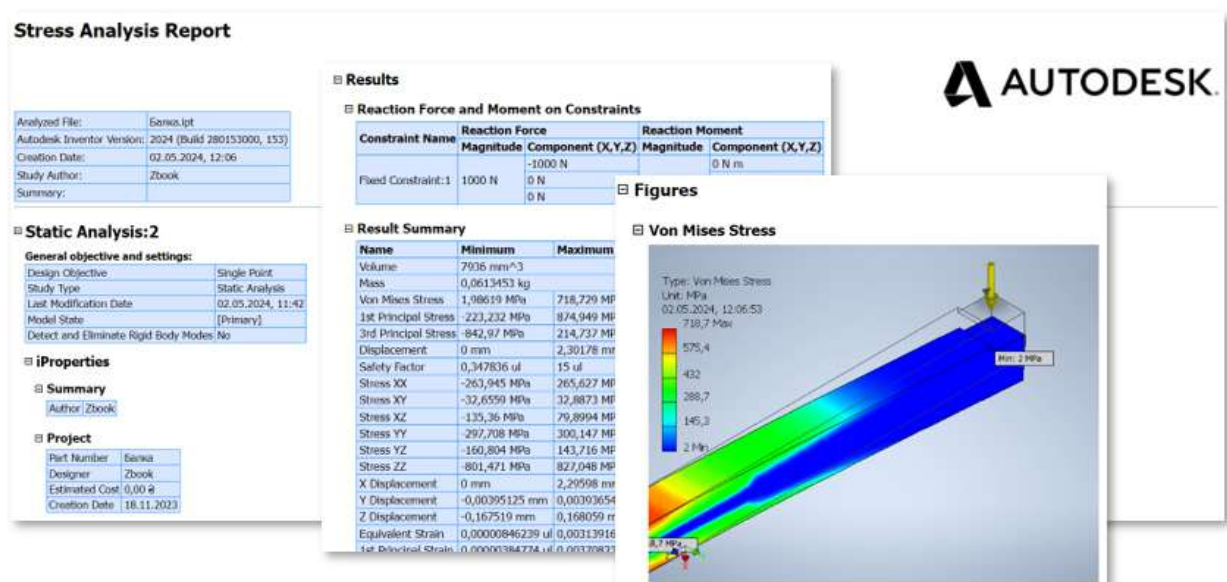


Рис. 9.12. Відображення звіту за результатами моделювання

Будь-хто може використовувати опубліковані файли DWF, навіть не встановлюючи Autodesk Inventor. Файли DWF сильно стиснуті, швидко відкриваються, і ви можете ділитися ними електронною поштою.

Публікація в Autodesk Inventor створює файл DWF, у якому зберігаються такі дані проекту, як вага ліній, масштаб і властивості маси для файлів 2D і 3D. Як 2D, так і 3D-дані можна включити в один файл. Також можна опублікувати об'ємні графіки аналізу стресу.

У файлі формату DWF публікуються не всі типи аналізу, а лише активний тип, який відображається на екрані під час публікації.

Застосування міцнісного аналізу методом кінцевих елементів найбільш ефективно в разі аналізу складних конструкцій і схем навантажень, вирішення яких класичним методом може виявитися досить трудомістким.



Контрольні питання

1. Назвіть типи розрахунків на міцність, які доступні при моделюванні з'єднань.
2. Які операції необхідно виконати для того, щоб провести міцнісний розрахунок деталі або складальної одиниці?
3. Назвіть основні етапи виконання аналізу напружень.
4. Сформулюйте призначення статичного аналізу, його основні можливості та параметри.
5. Як задати навантаження і встановити опори тільки на частині поверхні?
6. Яким чином можна переконатися, що результати міцнісного розрахунку моделі є правдивими?
7. Які зміни необхідно ввести при розрахунку балки, якщо вона не відповідає заданому навантаженню?

10 МОЖЛИВОСТІ АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИРОБНИЦТВА У AUTODESK INVENTOR CAM

Сучасні способи проєктування і металообробки передбачають використання CAD/CAM-систем, які підтримують наскрізний процес проєктування. Системи автоматизованого проєктування (САПР) і комп'ютерне виробництво (CAM) системи стають все більш важливими в машинобудуванні та виробництві. CAD і CAM системи допомогли революціонізувати індустрію проєктування, моделювання та виробництва, дозволивши створювати та виготовляти згенеровані комп'ютером моделі, які визначаються певними геометричними параметрами. Впровадження систем автоматизованого проєктування дозволило по-новому поглянути на процес проєктування і виготовлення виробів.

Якщо потрібна проста у використанні система та має багато функцій, то Autodesk Inventor, може бути хорошим вибором. Inventor CAM надає широкий спектр інструментів для автоматизації виробничих процесів, підвищення ефективності та точності виготовлення деталей. Це дозволяє вибирати оптимальні методи для виготовлення складних деталей.

Вбудована бібліотека інструментів містить широкий вибір стандартних ріжучих інструментів, але можна додавати власні інструменти і налаштовувати параметри для кожного з них, що забезпечує точність і відповідність вимогам конкретного виробництва. Інструменти для автоматичного створення траєкторій різання значно скорочують час підготовки програм. CAM-система автоматично визначає оптимальні шляхи для інструмента на основі геометрії моделі та обраної стратегії обробки.

Окрім традиційних методів обробки, Inventor CAM підтримує технології адитивного виробництва (3D-друк). Це розширює можливості створення прототипів та виробництва деталей складної форми.

Заміна ручного креслення допомагає користувачам створювати проєкти у 2D або 3D, щоб вони могли візуалізувати конструкцію. CAD дозволяє розробляти, модифікувати та оптимізувати процес проєктування.

10.1. Інтерфейс Inventor CAM

Inventor CAM забезпечує повністю вбудовані можливості автоматизованого виробництва (CAM) у Autodesk Inventor і Autodesk Inventor LT. Є три рівні Inventor CAM та їхні можливості.

1. **Inventor CAM Express** – 2D/2,5-осьові функції фрезерування для загальної обробки.
2. **Inventor CAM Premium** - 2D і 3D фрезерування, функції 3+2 фрезерування та токарної обробки.
3. **Inventor CAM Ultimate** - функції фрезерування 2D, 3D, 3+2, 5 одночасних функцій фрезерування та токарної обробки.

Додаток Inventor CAM має бути встановлено поверх Autodesk Inventor. Команди на вкладці CAM стають видимими, активними та готовими до використання після створення або відкриття файлу деталі чи збірки Inventor.

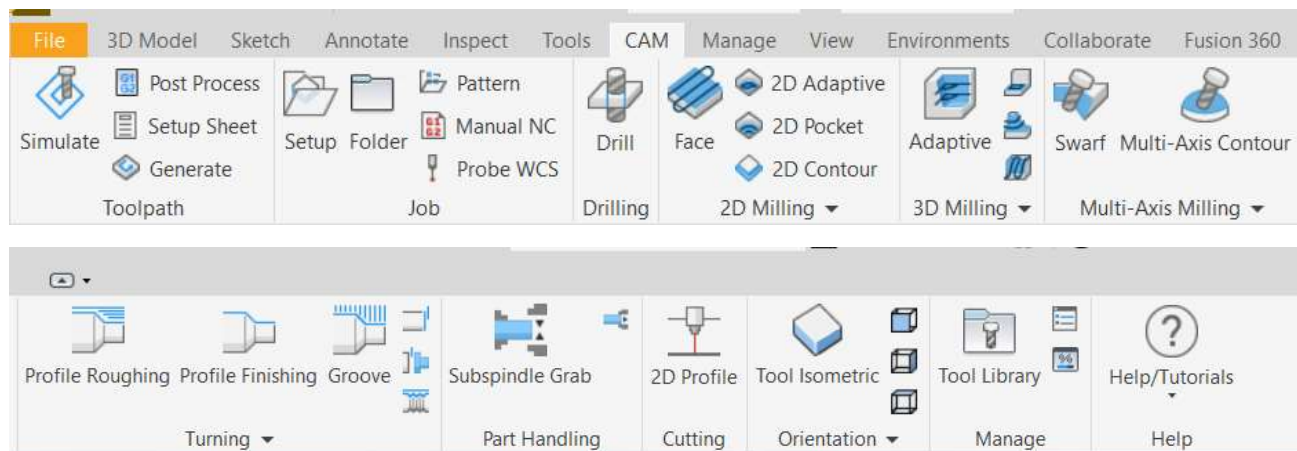


Рис. 10.1. Inventor CAM Premium стрічка команд

10.2 Успішне створення траєкторії

Щоб створити запрограмовану деталь із ЧПК, потрібно виконати кілька кроків.

- **Налаштування.** Визначає орієнтацію деталі, площину різання, розмір заготовки, розташування нуля XYZ і зміщення робочої системи координат (WCS).
- **Шляхи інструментів** – виберіть відповідну стратегію різання, область різання, ріжучий інструмент і кроки різання.
- **Симуляція** – переконайтеся, що траєкторія інструмента відповідає вашим потребам і вирізає правильні ділянки. За потреби відредагуйте стратегію траєкторії.
- **Постпроцес** – виберіть пост, який відповідає вашій машині/управлінню та виходу NC для вашої машини. Post Process - Select a Post that matches your machine/control and NC output for your machine.

Налаштування та підказки

Налаштування дозволяє вибрати тип машини, яку ви будете програмувати, установити розмір запасу та нульову позицію XYZ. Оскільки ви можете обробити будь-яку поверхню деталі, використовуйте параметри WCS, щоб вирівняти вісь щодо вашої деталі. Підказки є потужним інструментом для вивчення параметрів системи.

Деякі підказки матимуть простий опис параметра, інші матимуть ілюстрації, щоб зрозуміти суть. Скористатися спливаючою підказкою можна наведенням курсора на необхідний параметр. Ілюстрація праворуч показує підказку для вибраного параметра.

10.3 Стратегії траєкторії та САМ-браузер

Браузер САМ закріплено зліва. Він дозволяє переглядати та змінювати стратегії обробки, пов'язані з поточною деталлю. **Браузер САМ** стає активним після завантаження файлу деталі або збірки та вибору стратегії траєкторії на стрічці САМ. Це замінює Autodesk Inventor **Браузер моделей**.

Для створення першої операції обробки виберіть будь-яку зі стратегій траєкторії на панелі інструментів САМ. Необхідний тип траєкторії залежить від геометрії вашої деталі.

Після створення налаштувань ви можете вибрати стратегію траєкторії, клацнувши відповідну піктограму на стрічці команд.

Діалогове вікно «Операція» відобразиться у браузері САМ у лівій частині графічного вікна. У його рядку заголовка міститься назва вибраної стратегії. Праворуч від назви стратегії вказано номер операції. Оскільки це перша 2D-карманна операція для деталі, назва відображається як *2D Pocket1*. Наступна операція 2D-кишені відображатиметься як *2D Pocket2* тощо. Ця угода про найменування застосовується до всіх стратегій налаштування та обробки в Inventor САМ.

Autodesk Inventor САМ пропонує широкий спектр стратегій траєкторії для обробки деталей. Ці стратегії дозволяють ефективно і точно обробляти деталі на верстатах з ЧПК [16].

Основні стратегії траєкторії, які можна використовувати в Autodesk Inventor САМ:

2D Обробка

- 2D Contour (Контур) використовується для обробки зовнішніх і внутрішніх контурів деталі. Вона ідеально підходить для фрезерування простих геометричних форм;

- 2D Pocket (Кишеня) застосовується для обробки порожнин або кишень всередині деталі. Підходить для видалення великої кількості матеріалу з плоских областей;

- 2D Adaptive Clearing (Адаптивне очищення) використовується для швидкого і ефективного видалення великої кількості матеріалу. Ця стратегія мінімізує навантаження на інструмент і забезпечує рівномірне видалення матеріалу;

- 2D Face (Обточування) призначено для обробки великих плоских поверхонь. Використовується для створення плоских поверхонь на деталі;

- 2D Chamfer (Зняття фаски) використовується для створення фасок на кромках деталі;

- 2D Engrave (Гравірування) призначена для гравірування тексту або складних малюнків на поверхні деталі.

3D Обробка

- 3D Adaptive Clearing (Адаптивне очищення) забезпечує ефективне видалення великої кількості матеріалу з 3D-поверхонь, знижуючи навантаження на інструмент і забезпечуючи постійний крок обробки;

- 3D Pocket (Кишеня) використовується для обробки 3D-кишень всередині деталі;

- Parallel (Паралельна) - для обробки 3D-поверхонь паралельними проходами інструмента;

- Horizontal (Горизонтальна) використовується для обробки горизонтальних областей на деталі. Ідеально підходить для обробки плоских поверхонь з різними рівнями;

- Scallop (Ребриста) - стратегія для обробки 3D-поверхонь з використанням рівномірного відстані між проходами, що забезпечує рівномірну обробку криволінійних поверхонь;

- Morph (Морфінг) використовується для обробки складних 3D-поверхонь, забезпечуючи плавний перехід між двома криволінійними профілями.

Спеціальні стратегії

- Drilling (Свердління) використовується для створення отворів різного діаметра і глибини. Можна використовувати різні типи свердління, включаючи свердління з циклом і обробку канавок;

- Thread Milling (Фрезерування різьблення) використовується для створення внутрішньої та зовнішньої різьби на деталях;

- Bore (Розточування) призначена для точного оброблення отворів з великою глибиною або діаметром;

- Slot (Паз) використовується для створення пазів на деталі.

Для кожної стратегії траєкторії в Inventor CAM виконуються певні налаштування. Вибираються й призначаються параметри інструмента, режими різання, стратегії входу і виходу інструмента з матеріалу, що мінімізує навантаження на інструмент і деталь.

Встановлення обмежень для області обробки дозволяє уникнути обробки небажаних частин деталі. Для зменшення часу обробки і підвищення ефективності проводиться налаштування оптимізації траєкторії.

Таким чином Autodesk Inventor CAM надає потужні інструменти для створення траєкторій обробки, що дозволяє ефективно використовувати верстати з ЧПК для виготовлення складних деталей. Використання правильних стратегій траєкторії та їх налаштування допомагає досягти високої якості обробки, зменшити час виготовлення і подовжити термін служби інструментів.

Діалогові вікна траєкторії

Усі діалогові вікна траєкторії мають подібний формат. У верхній частині діалогового вікна розташовано 5 вкладок, починаючи з вибору й налаштування інструмента (рис. 10.2).

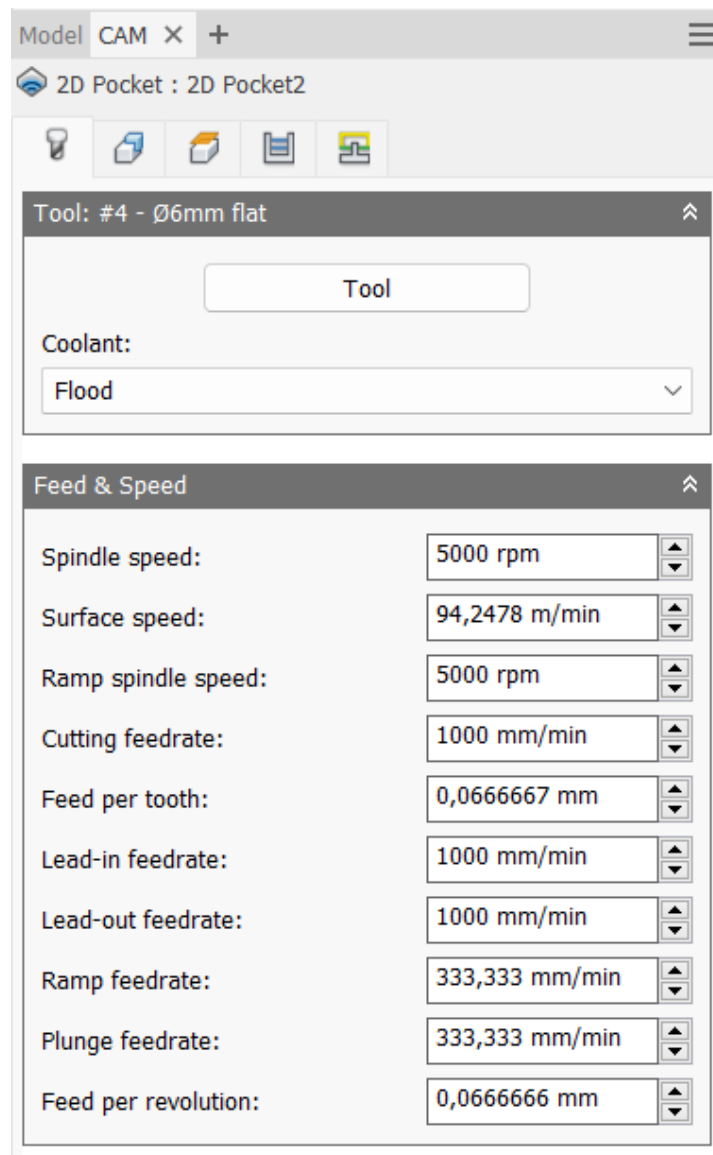


Рис. 10.2. Вкладки діалогових вікон траєкторії

10.4 Вибір і налаштування ріжучого інструмента

Для установки в Inventor доступний набір бібліотек компонентів, що містять більш 750 000 стандартних компонентів. Основні види робіт з бібліотекою:

- робота зі стандартною бібліотекою інструментів;
- створення та робота з користувацькою бібліотекою інструментів;
- створення та редагування різальних фрезерних та токарних інструментів.

Можна доповнювати стандартну базу даних, створюючи користувацькі бібліотеки, що містять користувацькі компоненти. Користувацькі бібліотеки можуть містити користувацькі компоненти, скопійовані зі стандартної бібліотеки, або нові деталі й елементи, опубліковані користувачами.

За допомогою функції публікації бібліотеки компонентів можна виконувати публікацію деталей, параметричних деталей або елементів у Бібліотеці компонентів.

Для навігації базою даних бібліотеки компонентів використовується браузер бібліотеки компонентів.

Щоб налаштувати середовище огляду, використовуйте вигляд дерева і таблиці, керуйте відображенням інформації за допомогою мініатюр, списку й списку виносних елементів.

Можна вручну вставляти в складання компонента з бібліотеки компонентів, використовуючи стандартні процедури вставки. Компонент із бібліотеки компонентів можна вставити, як стандартну або як користувацьку деталь.

За замовчуванням Inventor CAM Бібліотека інструментів Inventor HSM Express містить дві папки бібліотек: **My Libraries** (автоматично створюється в операційній системі в папці Мої документи) та **Libraries** (перебуває в папці інсталяції Inventor CAM і містить бібліотеки шаблонів інструментів, які постачаються з продуктом).

Якщо бібліотеки інструментів потрібно зберегти в іншій папці на комп'ютері або в мережі, можна додати додаткові папки бібліотек, клацнувши правою кнопкою миші на дереві бібліотек і вибравши **Add Library Folder** (Додати папку бібліотеки) в контекстному меню.

Для налаштування ріжучого інструмента вибрати теку **My Library**, створити нову фрезу - **New Mill Tool** (рис. 10.3).

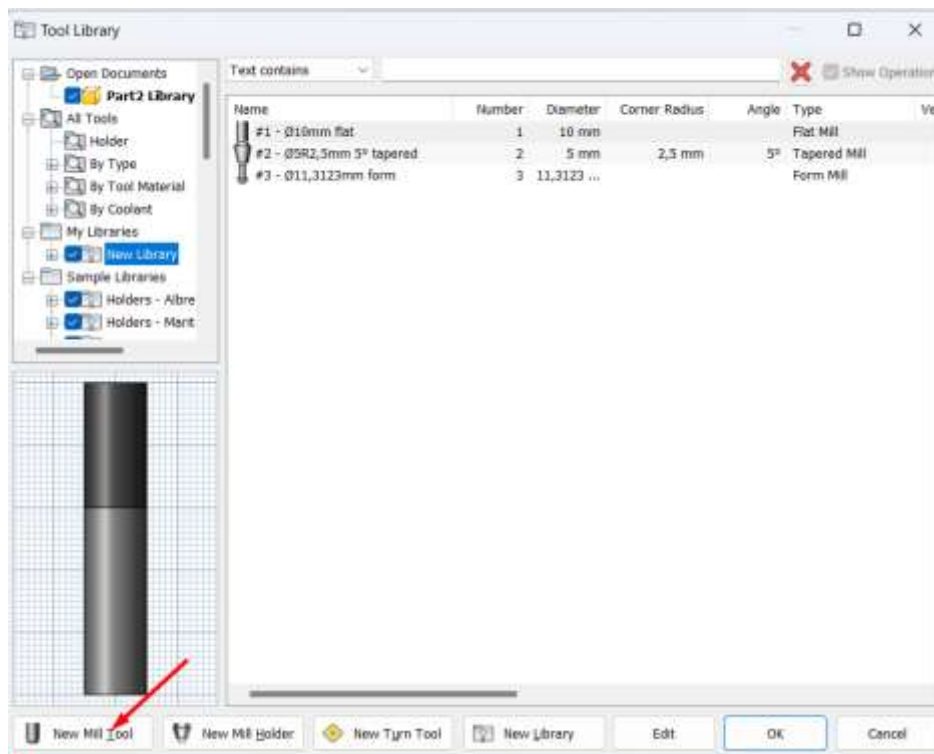


Рис. 10.3. Створення нової фрези в своїй бібліотеці

Після створення нової фрези призначається номер інструмента, вибирається тип фрези й робиться налаштування фрези для відповідної операції (рис. 10.4).

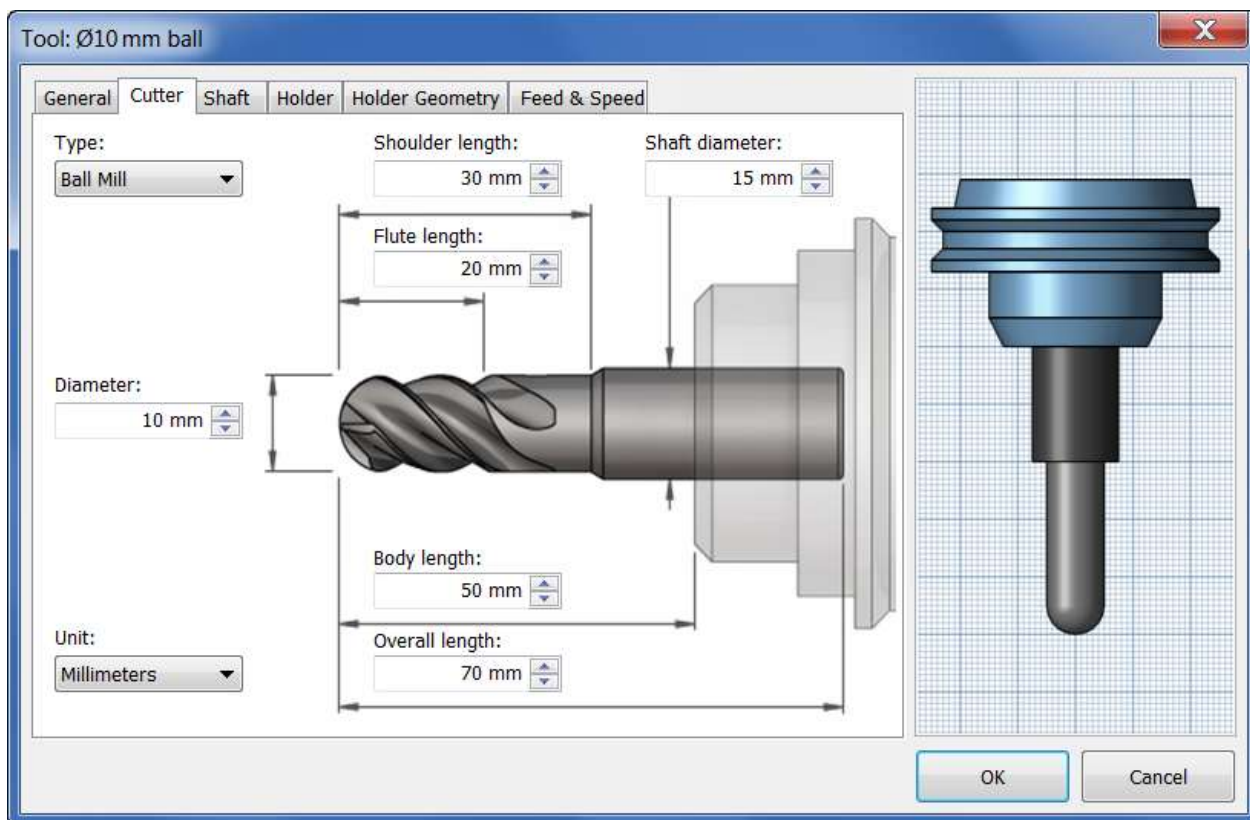


Рис. 10.4. Вибір і налаштування фрези

Призначаються розміри фрези, вибирається тримач, призначається подача й швидкість ріжучого інструмента. Аналогічним чином відбувається налаштування різця для токарної обробки (рис. 10.5).

Задаються номер інструмента, тип охолодження, тип матеріалу. Вибирається поперечний перетин пластини, допуск, її геометричні розміри з наведеного переліку або задаються вручну. Для різних типів пластин призначаються різні типи оправок.

Задається напрям і фіксатор ріжучої пластини, виконується налаштування її орієнтації, що дуже важливо для різця. Компенсація ріжучої кромки показує як вона прив'язує наш інструмент на верстаті - по центру, по кромці й т.д.

Параметри різання токарного інструмента задаються аналогічно фрезерному інструмента. Після створення інструмента його можна використовувати при обробці.

Створити нову фрезу можна за власним ескізом. Створити нову деталь, зберегти її. Для створення фасонної фрези вибрати теку **My Library**, створити нову фрезу – **New Mill Tool**. Вибираємо необхідний тип інструмента – **Form Mill** (фасонна фреза). Завантажити збережену деталь через **Import File** (рис. 10.6).

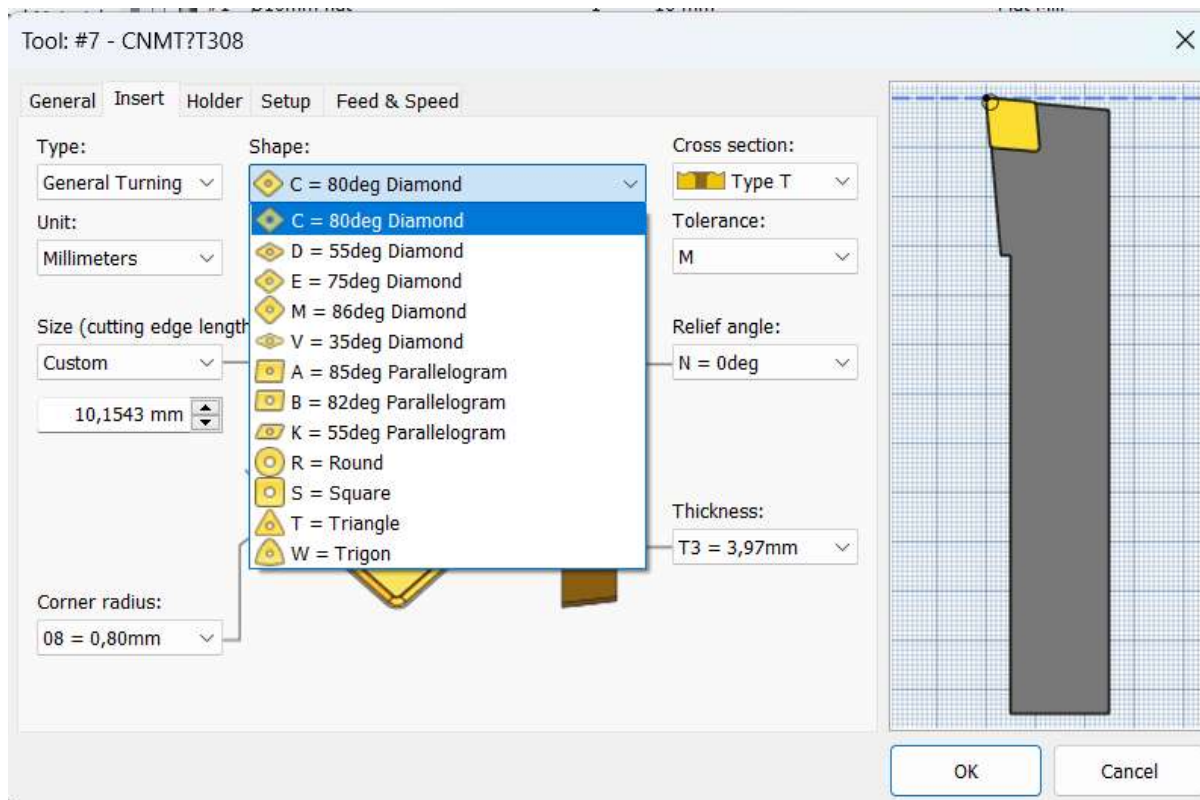


Рис. 10.5. Вибір і налаштування різця

Можна фрезу розвернути, якщо вона неправильно орієнтована. Задати розміри ріжучої частини, вибрати оправку, яка відповідає нашій фрезі, задати режими різання.

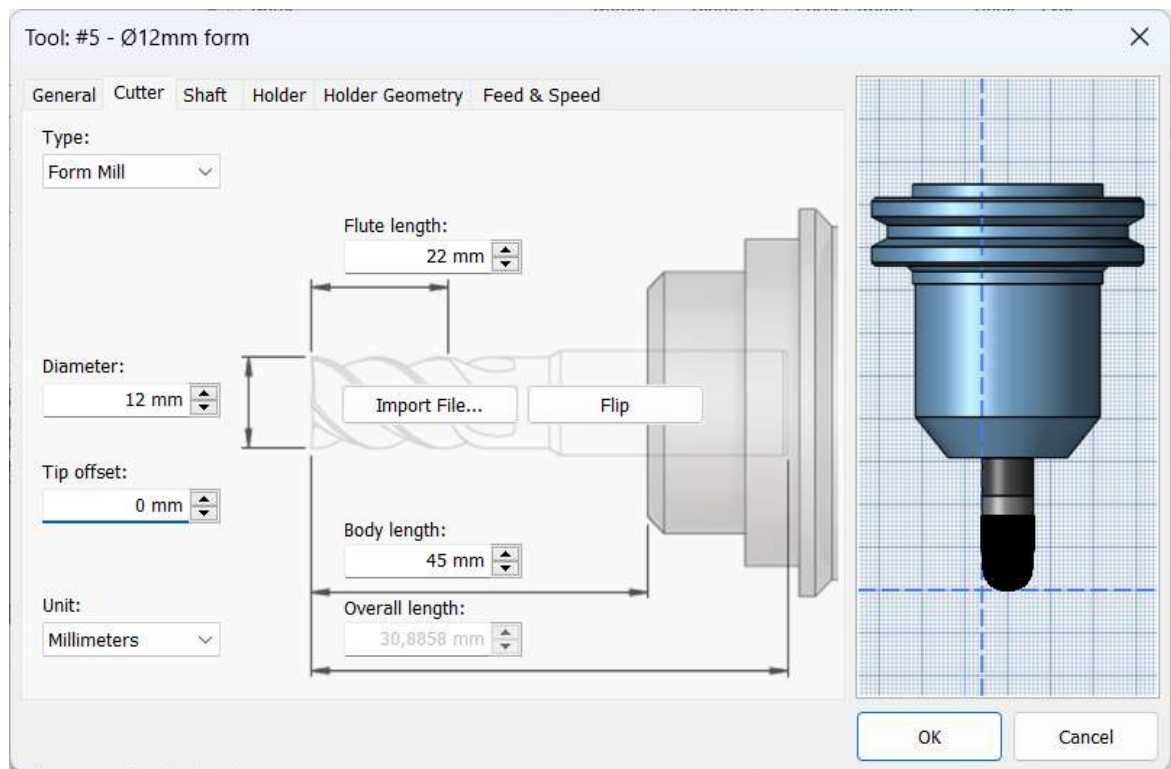


Рис. 10.6. Створення фасонної фрези

Пунктирними лініями відображається точка компенсації траєкторії переміщення інструмента, що визначається діаметром та усуненням кромки.

Фрези індивідуальної форми мають загальну назву **Form Mill** і можуть бути створені в **Tool Library** за ескізом або твердим тілом обертання, збереженим в окремому файлі деталі Autodesk Inventor (рис. 10.7).

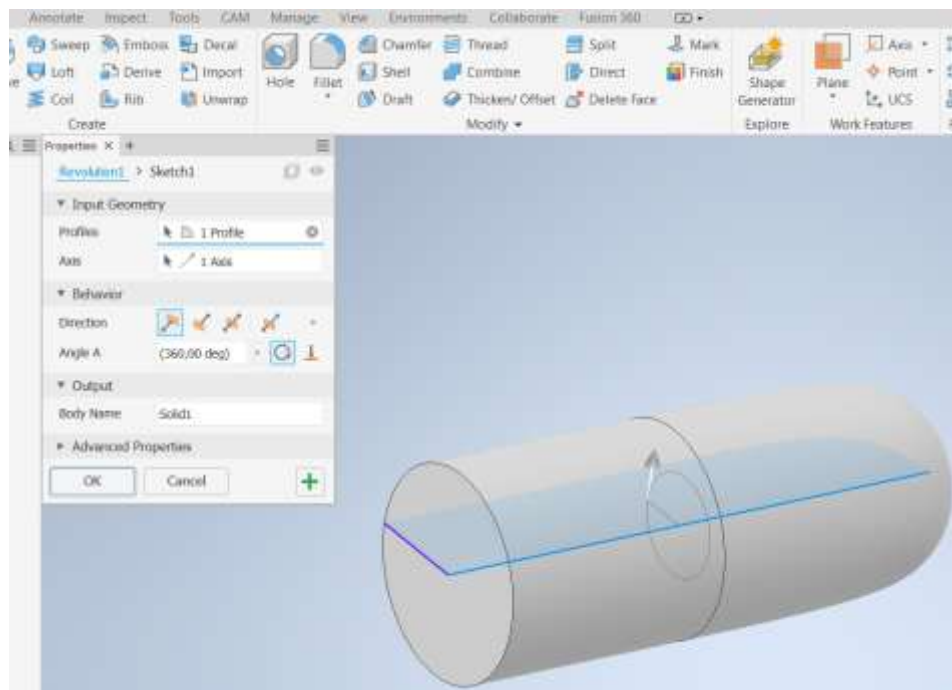


Рис. 10.7. Тіло обертання для створення нової фрези індивідуальної форми

Інструмент використовується як і всі інші інструменти, враховуючи, що траєкторія переміщення інструмента створюється відповідно до точки компенсації, яка визначається діаметром і зсувом ріжучої кромки.

10.5 Налаштування операцій обробки

Налаштування операцій обробки виконується наступним чином:

- створення установка;
- принципи вибору режимів різання для інструментів;
- створення та налаштування траєкторій.

Всі налаштування операцій обробки відображаються у діалоговому вікні вкладки CAM. Перемикаючись між вкладками, можна переглянути всі параметри й при необхідності зробити коригування (рис. 10.8).

Операція обробки починається зі створення налаштування. Налаштування визначає ряд загальних властивостей для набору операцій обробки, включаючи робочу систему координат (WCS), геометрію заготовки, пристосування та поверхні обробки. Якщо не створювати налаштування вручну перед додаванням першої операції, налаштування з параметрами за замовчуванням буде створено автоматично.

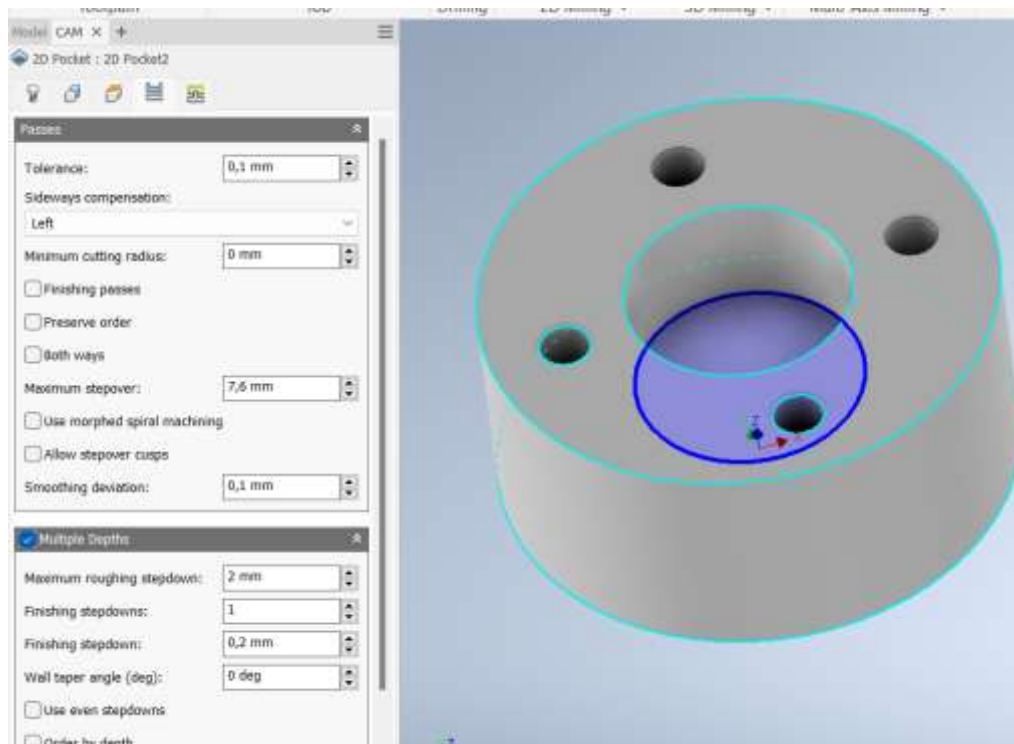


Рис. 10.8. Налаштування операції обробки

10.6 Розрахунок і симуляція траєкторії руху інструмента

На вкладці CAM вибирається вид операції. У налаштуванні задається початок координат для робочої системи координат (WCS). У графічному вікні навколо обмежувальної рамки деталі автоматично створюється матеріал заготовки. Орієнтація моделі показана WCS у верхній частині деталі. При необхідності осі координат можна перевизначити, вибравши чи змінивши напрямок відповідної осі (рис. 10.9).

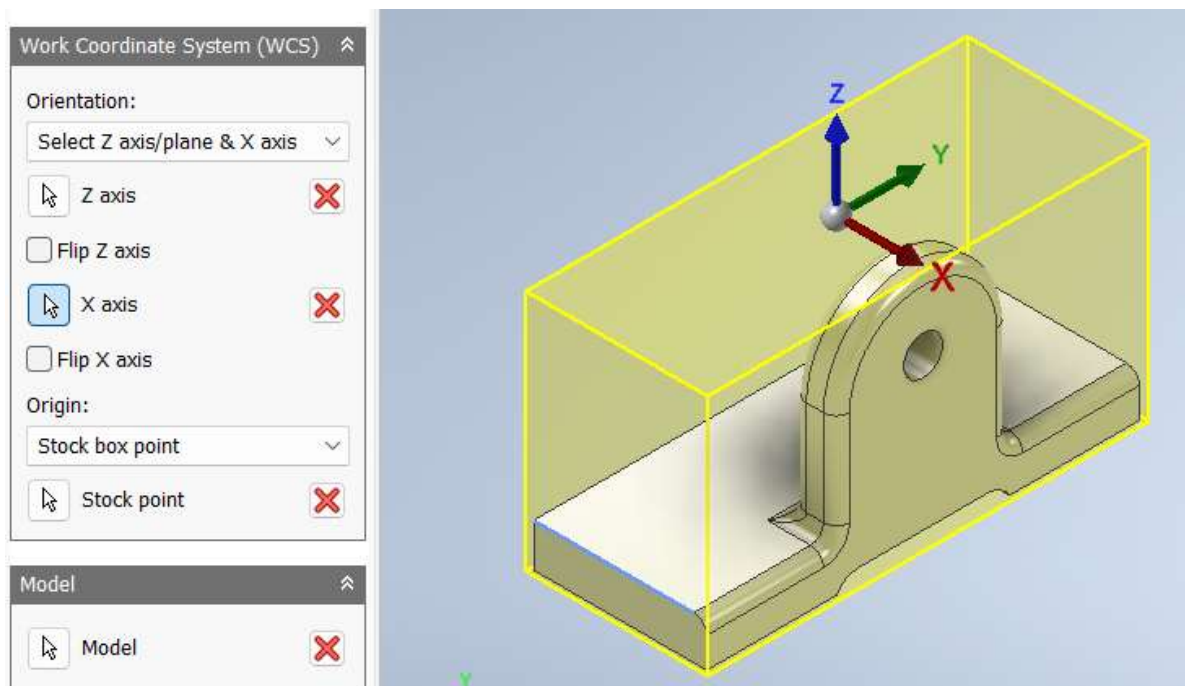


Рис. 10.9. Налаштування робочої системи координат (WCS)

Щоб вибрати деталь як поверхню обробки виділяється модель у заготовці. Після налаштування потрібно натиснути ОК у меню позначок, щоб вийти з процедури й зберегти налаштування.

Для операцій обробки створюється нова бібліотека й вибираються необхідні інструменти. По кожному із наведених інструментів налаштовуються відповідні параметри. Після завершення налаштування інструментів натисніть кнопку ОК для повернення до Inventor CAM. Нова бібліотека інструментів зберігається автоматично.

За замовчуванням заготовка є прямокутною рамкою трохи більше деталі, а модель - це тверде тіло в деталі. Заготовка та модель визначені при налаштуванні на початку. На вкладці **Geometry** можна перевизначити модель, яка використовується за замовчуванням, параметри обмеження та орієнтацію інструмента.

Вкладка **Geometry** дозволяє змінити стандартні параметри моделі, а також орієнтацію інструмента. У прикладі використовуються заготовка, модель та орієнтація WCS за умовчанням відповідно до попереднього налаштування, і вносити зміни немає необхідності.

Висота за замовчуванням встановлюється відповідно до геометрії так, що вся глибина деталі обробляється. У цій операції обробляються лише плоскі області деталі, опускаючи прямокутну основу деталі.

Для автоматичного запуску розрахунку траєкторії переміщення інструмента зберігаються зроблені налаштування в нижній частині діалогового вікна **Operation**. Траєкторія переміщення інструмента розраховується, і у графічному вікні доступний попередній перегляд (рис. 10.10).

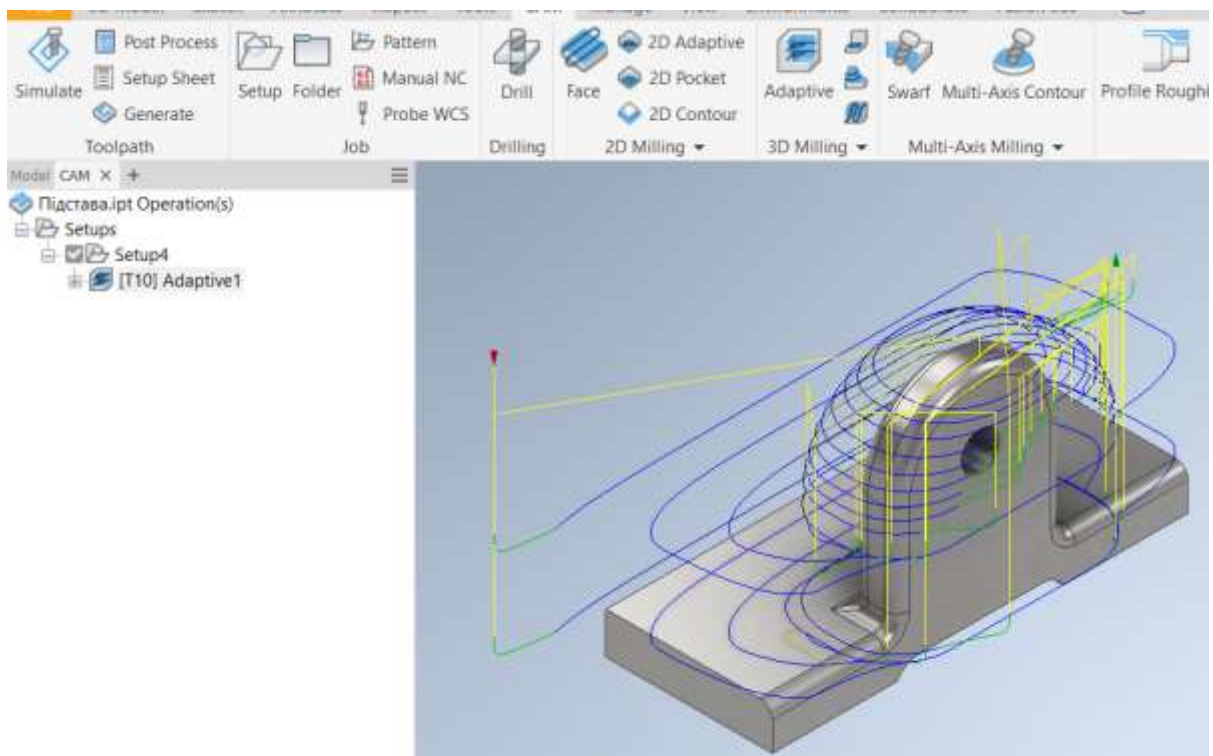


Рис. 10.10. Траєкторія руху інструмента

Щоразу при створенні траєкторії переміщення інструмента можна продовжити роботу, натиснувши кнопку **Hide** (Приховати) в діалоговому вікні **Task Manager**. Коли Диспетчер завдань прихований, обчислення траєкторії переміщення інструмента продовжується у фоновому режимі. Хід виконання розрахунку можна побачити безпосередньо у браузері **CAM**. Крім того, для більшості стратегій можна виконати попередній перегляд траєкторії переміщення інструмента під час її генерації.

Можна відновити діалогове вікно, клацнувши вкладку **CAM** ► **Manage panel** ► **Task Manager**. Скасувати завдання можна натиснувши кнопку **Abort** в **Task Manager**, або вибравши **Abort Generation** (Перервати генерацію) клацнувши правою кнопкою миші на операції в **CAM Browser**.

Існують деякі області, для яких не підходить фреза з більшим діаметром. Більшість матеріалу, що залишився у цих областях, можна видалити за допомогою операції залишкового фрезерування **Pocket**.

Для стратегії **3D Pocket** Застосовується метод відведення **Shortest path** (Найкоротший шлях). Це забезпечує найкоротші траєкторії швидкого переміщення, які можуть використовуватися тільки на високошвидкісних верстатах, де швидкий рух інтерполюється як лінійні переміщення.

Для обробки пологих областей застосовується метод **Scallop** (гребінкова обробка). Обробка від 0 градусів (по горизонталі) до 65 градусів від горизонталі гарантує, що в зоні переходу між цією та попередньою операцією на ділянках з великим кутом не залишається надлишків матеріалу, а також що інструмент починає рух у вже оброблених областях. Крім того, заданий кут ухилу містить плоску грань в основі деталі, яка обробляється пізніше за допомогою методу горизонтальної чистової обробки до нульового припуску (рис. 10.11).

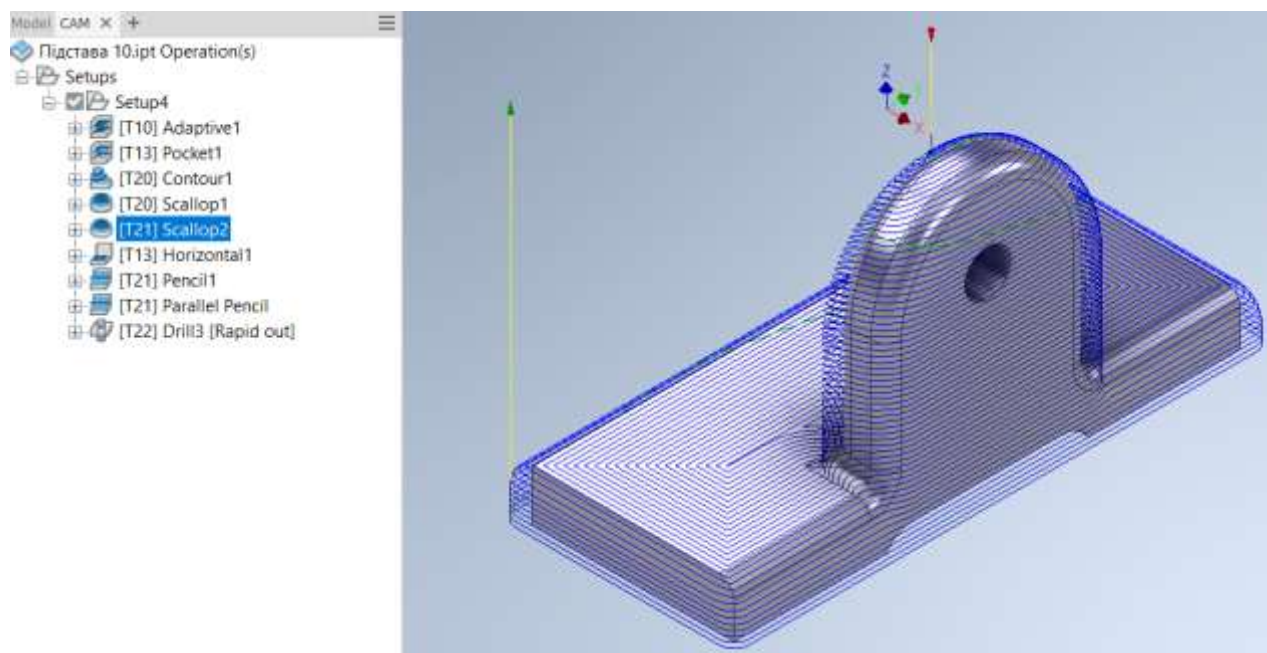


Рис. 10.11. Траєкторія руху інструмента за методом Scallop

Для обробки поверхонь, розташованих під будь-яким іншим кутом до поверхні ріжучою кромки інструмента, потрібно переналаштування системи координат моделі. Наприклад, для обробки отвору в вертикальній площині моделі, необхідно виконати відповідну орієнтацію інструмента відносно осі Z (рис. 10.12).

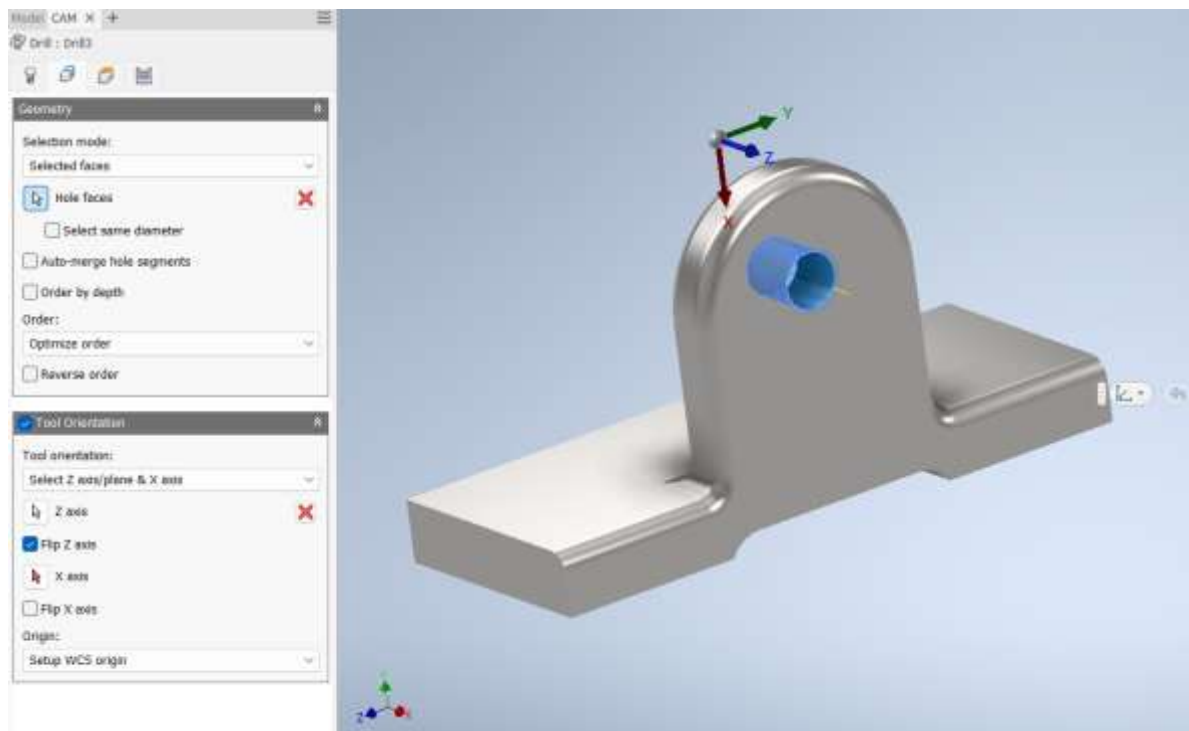


Рис. 10.12. Налаштування орієнтації інструмента відносно осі Z

Функція **Simulate** дозволяє перевірити, чи згенерована траєкторія інструмента відповідає призначенню. Операція моделювання запускається шляхом вибору операцій, які вас цікавлять, у **браузері CAM**, а потім клацанням правою кнопкою миші та вибору **Simulate** у спливаючому контекстному меню.

Після запуску відкривається діалогове вікно симуляції руху, а вікно перегляду активної моделі змінюється на окреме подання симуляції з програвачем симуляції та часовою шкалою програвача симуляції, які відображаються внизу екрана.

Попередній перегляд траєкторії на моделі оновлюється під час генерації траєкторії. Це дає змогу перервати операцію на ранній стадії, якщо щось налаштовано неправильно (наприклад, неправильний вигляд інструмента, крок зниження або межі), замість того, щоб чекати, поки згенерується вся траєкторія інструмента.

10.7 Постобробка

По завершенні розрахунку й симуляції траєкторій руху інструмента необхідно передати результати на верстат з ЧПК. Для цього потрібен постпроцесор – перекладач, який перетворює зображення траєкторії

інструмента, яку бачимо на екрані, мовою, яку розуміє верстат з ЧПК. У більшості випадків це мова G-Code.

Виконати постобробку можна для будь-якої окремої траєкторії або будь-якої комбінації траєкторій. Щоб вибрати всі траєкторії, слід натиснути **Setup** у браузері.

Вибравши шляхи інструментів, можна натиснути правою кнопкою миші на операціях і вибрати **Post Process**. Також можна отримати до нього доступ через панель Toolpath panel ► Post Process (рис. 10.13).

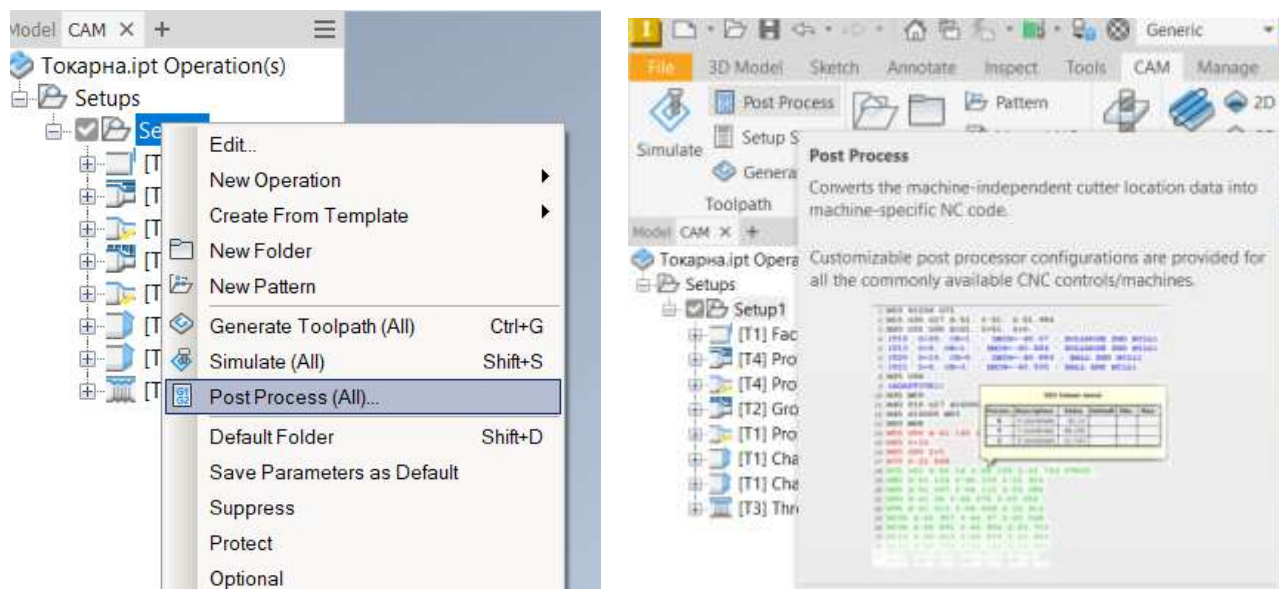


Рис. 10.13. Доступ до **Post Process**

На сторінці діалогового вікна **Post Process Dialog** здійснюється вибір необхідного машинного постпроцесора. Після вибору Post Processor натисніть кнопку **Post** внизу сторінки. Якщо позначено **Open NC file in editor**, після постобробки отримана програма NC автоматично відкривається в **Autodesk HSM Edit** (рис. 10.14).

Час постобробки може сильно відрізнятись залежно від складності конфігурації посту та розміру траєкторії. Зазвичай постобробка завершується протягом кількох секунд. Постпроцесор працює як фонове завдання, що дозволяє продовжувати роботу під час генерації коду NC. Завдання постпроцесора вказано в диспетчері завдань. Якщо постобробка не вдається, повідомлення про помилку можна переглянути в диспетчері завдань, відкривши журнал завдань.

Усі постпроцесори відкриті для редагування, тому можна вносити власні зміни до будь-якої публікації.

Створені програми ЧПК зазвичай повинні бути готові до обробки одразу після постобробки та не потребувати подальшого редагування вручну. Вибір найкращої швидкості подачі для даної установки може бути досить складним під час програмування, якщо налаштування не залишається послідовним з урахуванням часу обробки, зносу інструмента, якості деталей тощо. Лише після запуску програми NC на верстаті з ЧПК ви можете побачити, чи є швидкості подачі відповідними чи потребують коригування.

11 ДОДАТКОВІ ІНСТРУМЕНТИ ПРОГРАМИ AUTODESK INVENTOR

11.1 Імпорт файлів DXF, OBJ, STL, IDF, а також файлів DWF

Якщо перетворення об'єктів AutoCAD на об'єкти Inventor не потрібно, будь-який файл AutoCAD DWG можна відкрити безпосередньо в Inventor. Після цього можна переглянути, вивести на друк і виміряти дані файлу. Об'єкти будуть відображатися так само, як у програмі AutoCAD. Крім того, для всіх даних AutoCAD можна виконувати операції копіювання та вставки. Можна відкрити файл AutoCAD DWG у програмі Inventor, а потім скопіювати та вставити об'єкти AutoCAD у будь-який ескіз Inventor.

Для обміну даними з іншими користувачами використовуються файли формату DWF, функція обміну BIM, Design Assistant та комплекти файлів.

Можна також перетягувати потрібний файл для імпорту одного або декількох файлів деталей або збірок.

У Провіднику Windows вибирається файл деталі або збірки та перетягується у рядок заголовка Autodesk Inventor. Ця дія перетворює деталь або збірку на новий файл Autodesk Inventor і може виконуватися як при відкритому, так і закритому файлі Autodesk Inventor.

Якщо не відкрито жодного файлу Autodesk Inventor, виберіть файл деталі або збірки у Провіднику Windows та перетягніть файл у вікно Autodesk Inventor. Ця дія перетворює деталь або збирання на новий файл Autodesk Inventor (рис. 11.1).

Якщо відкрито нову або існуючу збірку, виберіть файл деталі або збірки у провіднику Windows і перетягніть файл у вікно графічного зображення. Ця дія поміщає деталь або складання в складання Autodesk Inventor як компонент.

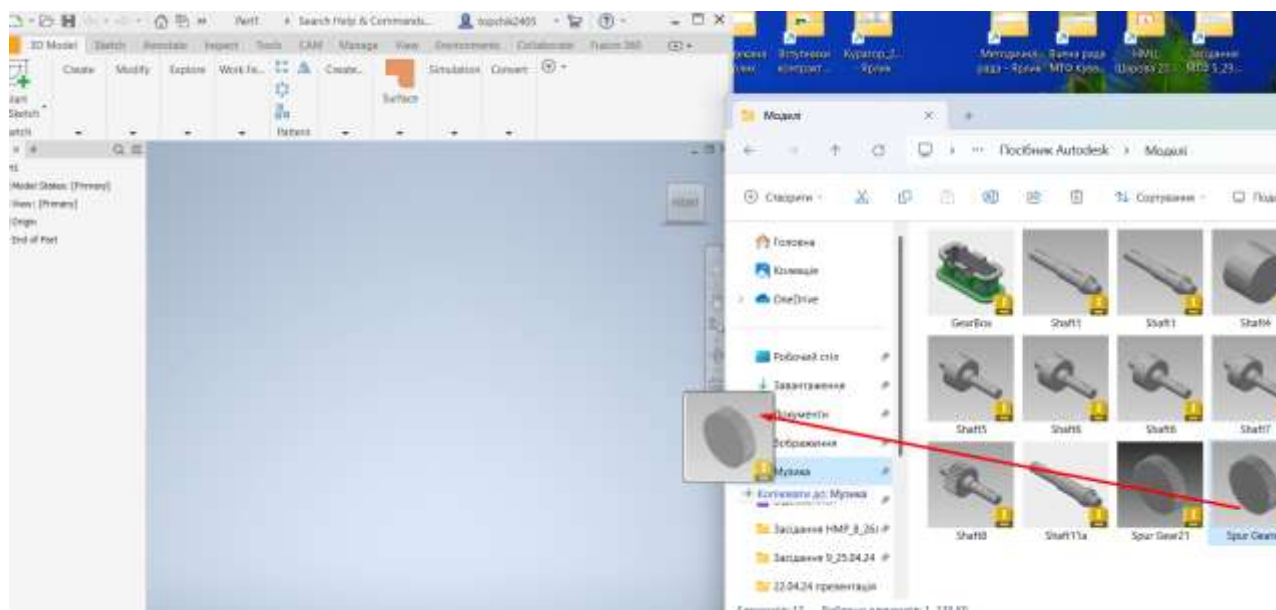


Рис. 11.1. Перетворення деталі на новий файл Autodesk Inventor

Файли OBJ та STL можна імпортувати до Autodesk Inventor. Дані імпортуються як об'єкти мережі та зберігаються у вузлі браузера для мережі.

Можлива публікація креслень, деталей, параметричних деталей та складання, зварних конструкцій, деталей з листового металу, геометрії мережі та схем у форматі DWF, а також їх спільне використання з іншими користувачами.

DWF (Design Web Format) – це стислий, безпечний формат для публікації даних САПР. За допомогою функції публікації в DWF, доступної в Inventor, можна забезпечити точне візуальне представлення файлів деталей та збірок Inventor, а також зварних конструкцій, деталей з листового металу, схем, геометрії мережі та креслень.

При публікації з програми Autodesk Inventor створюються файли DWF, в яких підтримуються конструктивні дані проєкту, такі як вага ліній, масштаб та масові властивості 2D та 3D файлів, які можуть зберігатися в одному файлі.

Файл креслення Inventor (IDW) можна опублікувати у форматі Design Web Format (DWF), а потім надіслати іншим користувачам, яким необхідно брати участь у процесі проєктування. Навіть тим користувачам, у яких не встановлено програму Inventor. Учасники проєкту зможуть переглянути 2D-креслення у безкоштовному засобі перегляду Autodesk Design Review, зробити позначки та повернути файл відправнику. Позначки, а також призначені статуси зберігаються у файлі DWF. Відповідно до отриманих коментарів можна внести зміни, відповісти на коментарі та повторно опублікувати креслення.

Для того, щоб знизити складність моделі та прискорити створення посилань протягом усього процесу проєктування, використовуються інструменти спрощення (рис. 11.2). Якщо немає необхідності відображати всі подробиці у файлі деталі для складання, створіть просте уявлення складання, яке містить лише важливу інформацію, наприклад, опис точок кріплення. Використовуйте інструменти спрощення, щоб знизити складність моделі та спростити та прискорити створення посилань протягом усього процесу проєктування.

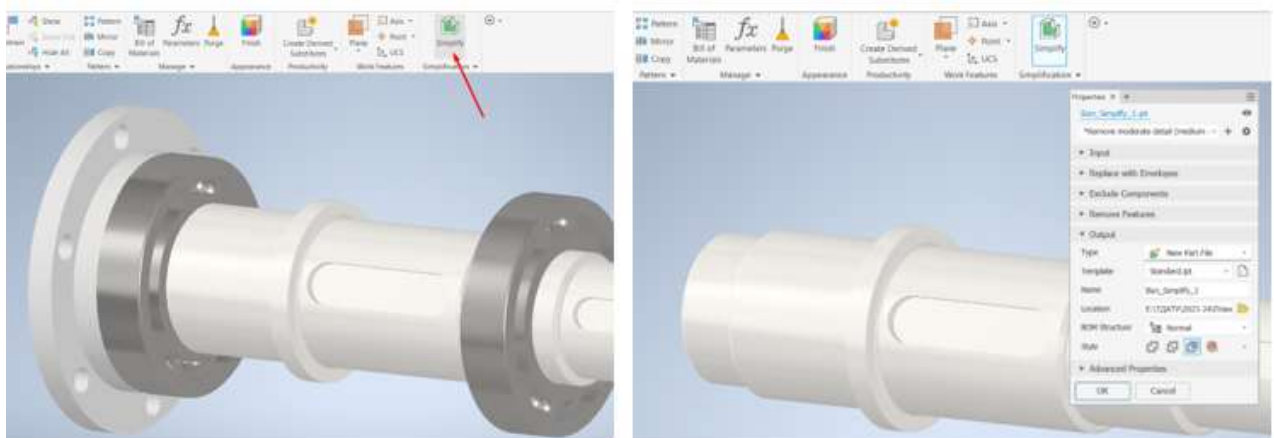


Рис. 11.2. Використання інструментів спрощення

За допомогою функції **Simplify View** можна створювати спрощене видове уявлення. За потреби можна редагувати увімкнені компоненти, щоб налаштувати вибрані деталі.

11.2 Середовище Inventor Studio для візуалізації та анімації

Autodesk Inventor Studio – це потужне середовище в Autodesk Inventor, яке дозволяє користувачам створювати високоякісні візуалізації та анімації для моделей. При першому відкритті середовища Studio активним станом моделі та уявленнями є початкові умови візуалізації чи анімації. У папці оглядача анімацій ці умови називаються «Original State». Перед входом у середу Studio активуйте потрібний стан моделі та подання, щоб встановити вихідний стан.

Можна активувати команду візуалізації, не покращуючи геометрію, отриману безпосередньо з деталей та збірок Autodesk Inventor, або ж призначити стилі освітлення та точки огляду камери, що покращують якість сприйняття та створюють відчуття масштабу чи простору під час візуалізації.

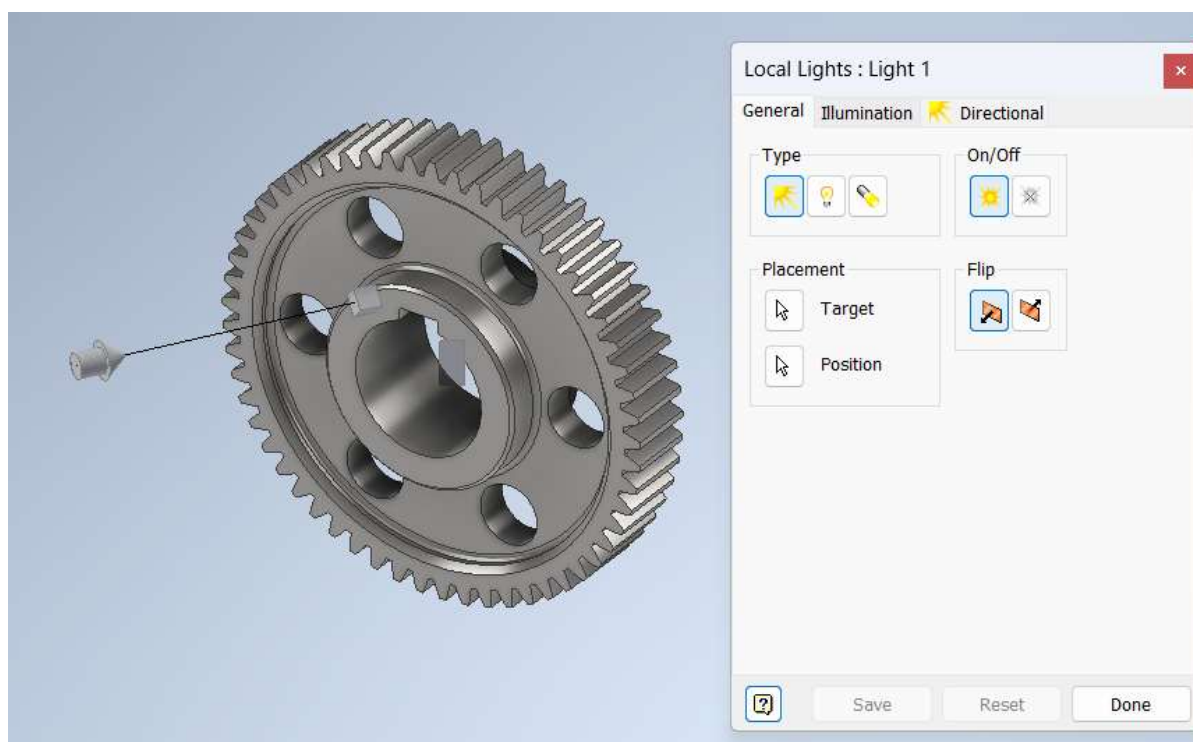


Рис. 11.3. Вибір типу освітлення моделі

За допомогою налаштування глобальних параметрів, таких як якість згладжування, вихідна роздільна здатність та особливості геометрії, що не відносяться до певних джерел світла або геометрії, можна керувати видом та поданням візуалізованого зображення. Слід пам'ятати, що розмір зображення та продуктивність комп'ютера пов'язані між собою. Для створення зображень більшого розміру потрібно більше ресурсів системи і більше часу.

Набір готових стилів освітлення встановлюється як бібліотеки разом із програмою Studio. Усі стилі освітлення в Inventor Studio пов'язані зі стилем

освітлення середовища. Якщо створено новий стиль освітлення, автоматично буде застосовано стандартний стиль освітлення середовища.

Стилі освітлення сцени моделі або спеціально створені стилі освітлення Inventor Studio дозволяють створювати візуалізовані зображення для різних цілей. Inventor Studio дозволяє компоувати сцени, що складаються з уявлень компонентів, стилів освітлення та положень камери.

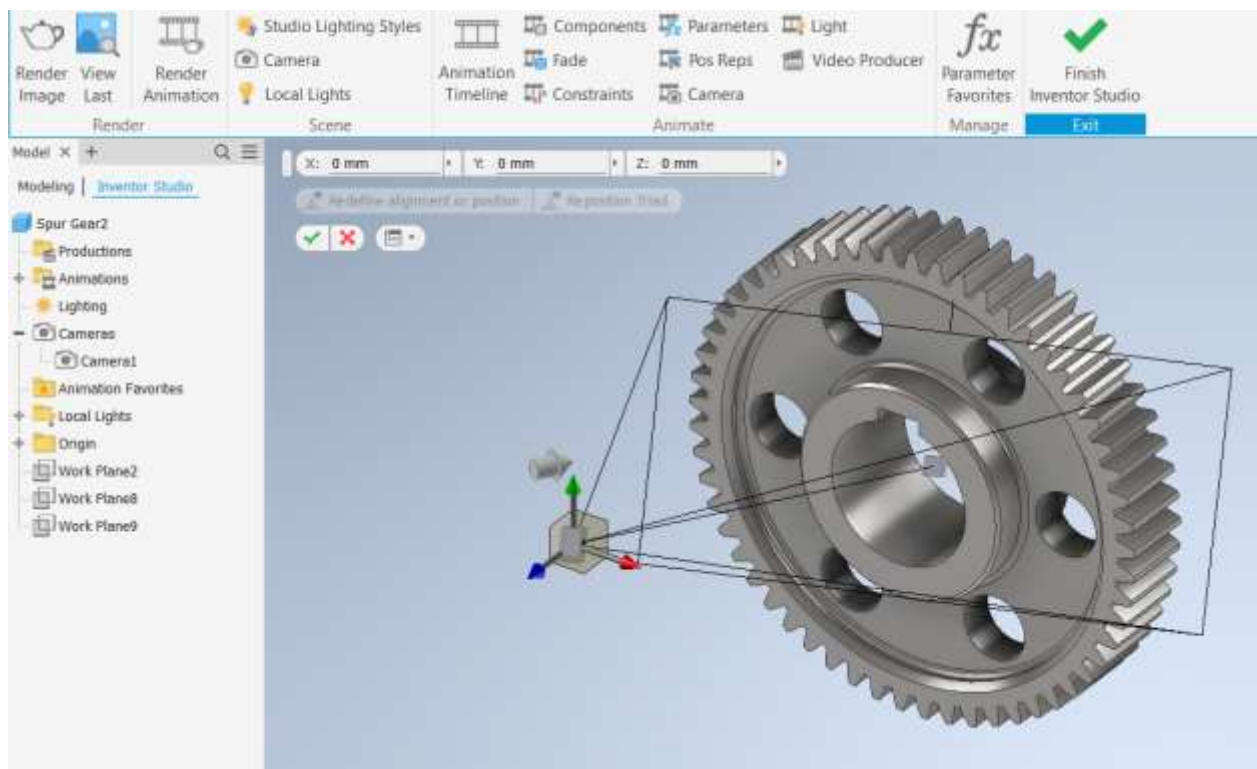


Рис. 11.4. Налаштування камери

Різні команди Studio дозволяють надати компонентам більш реалістичне уявлення, додати опорні елементи, освітлення та налаштувати положення камери, щоб уявити продукт у вигідному світлі. Камери та джерела світла мають геометричні уявлення, які можна використовувати для зміни положення та розміщення джерела.

Камери використовуються для встановлення кута огляду сцени. Ретельне врахування кута огляду та типу камери покращує відтворене зображення.

Зберегти зображення можна у потрібному форматі. Доступні формати BMP, GIF, JPG, PNG та TIFF. До стилів освітлення Studio та джерел світла Studio можна застосувати анімацію, щоб отримати більш привабливі та візуально-переконливі результати.

Inventor Studio використовує обмеження та параметри збірки як вхідні дані для анімації, що дозволяє анімувати той самий механічний рух, який проєктується у проєкті. Коли анімується компонент, камера чи світло, результатом є дія, розміщена на часовій шкалі анімації. Дії анімації легко змінювати безпосередньо або через те саме діалогове вікно, яке використовується для їх створення.

Video Producer, частина Inventor Studio, дає змогу використовувати відзнятий матеріал кількома камерами, який називається кадрами, стоп-кадрами та переходами між кадрами для створення більш кінематографічної анімації.

Коли активується команда Video Producer, програмне забезпечення робить знімки всіх існуючих камер і розміщує їх у браузері Shot у діалоговому вікні. Кількість зроблених знімків залежить від кількості камер, які визначили для зображень і анімацій, і від кількості анімаційних послідовностей, знятих кожною камерою.

Середовище Inventor Studio особливо корисне для презентації проєктів, маркетингових матеріалів, а також для технічної документації.

11.3 Оптимізація конструкції

Inventor автоматично визначає параметри моделі в ескізах, обмеженнях збірки та елементах. Вимірювання відстані, довжини, кута, петлі або площі в моделях або кресленнях можна використовувати в середовищі складання, деталі та креслення.

Всі робочі процеси вимірювання виконуються за допомогою вкладок на панелі інструментів **General Annotation**. Інформація про кожен вибір відображається на панелі інструментів вимірювання та у графічному вікні (рис. 11.5).

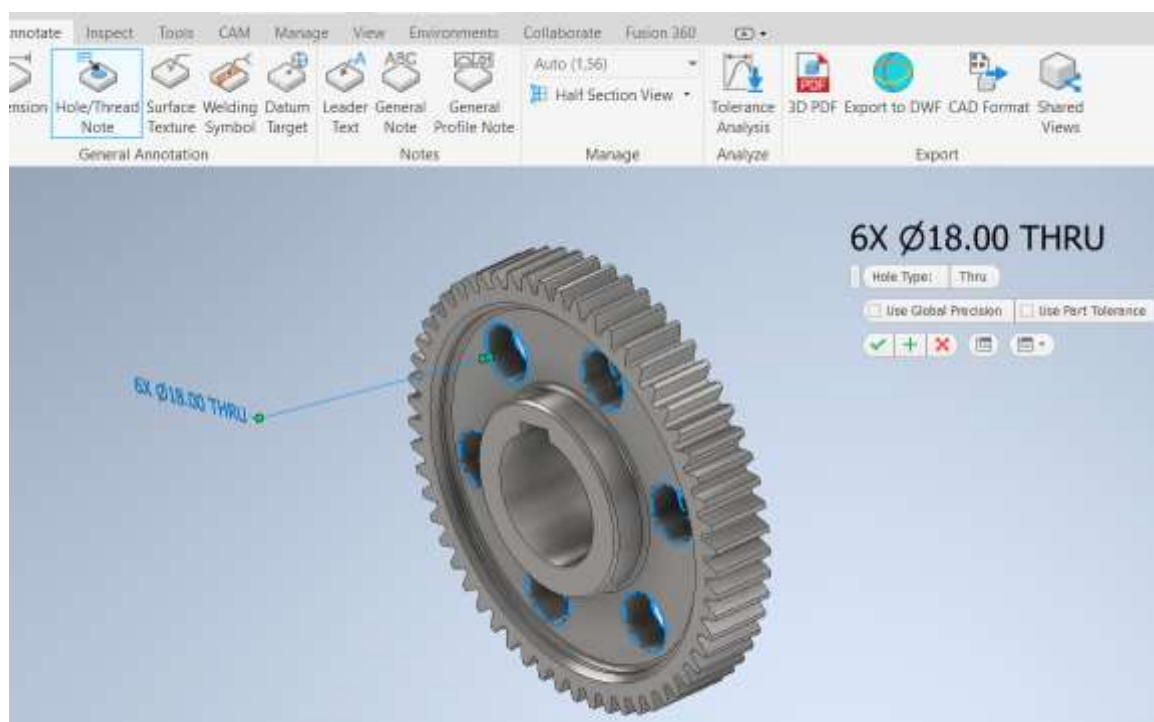


Рис. 11.5. Інформація по отворам у графічному вікні

При нанесенні розмірів на ескіз накладаються розмірні залежності. Під час редагування розмірів, створення зміщених робочих площин та редагування залежностей зміщення значення та імена числових параметрів вводяться у відповідних полях.

Для накопичення значень можна додати значення кількох вимірювань ліній, площі, об'єму та/або кута, щоб обчислити загальне вимірювання для кожного типу вимірювання. Можна мати кілька накопичених значень, що працюють одночасно. Можливості вимірювань:

- Накопичування значень вимірювань.
- Видалення окремого накопиченого значення або набору накопичених значень.

У графічному вікні вибрати об'єкт геометрії, який потрібно виміряти. В результаті зміни пріоритету змінюється мінімальна відстань, яку можна виміряти, наприклад, мінімальна відстань між компонентами і деталями. Використання інструмента вимірювання, параметрів та обмежень дозволяє точно визначити та контролювати ці відстані. Це дуже зручно, наприклад, для вимірювання міжосьової відстані в механічних передачах тощо (рис. 11.6, 11.7).

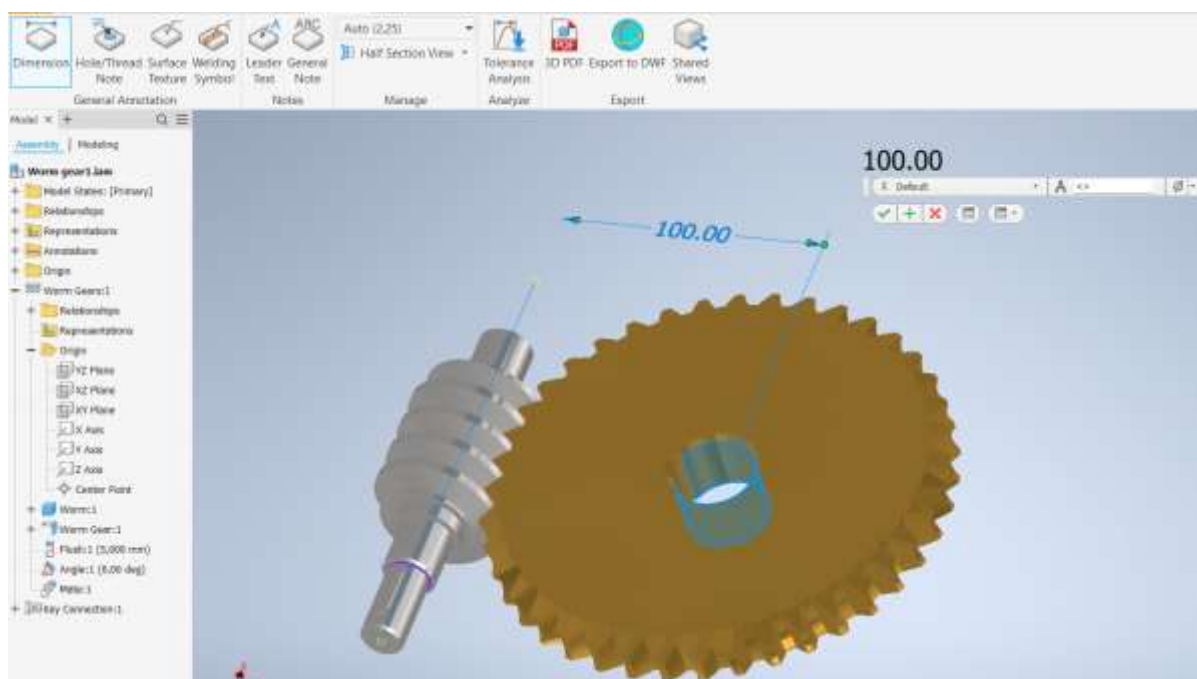


Рис. 11.6. Вимірювання міжосьової відстані черв'ячної передачі

Minimum Distance та **Center Distance** відображаються одночасно при виборі як мінімум одного з наступних типів геометрії:

- Дуга/коло
- Еліпс
- Циліндр/конус/тор
- Сфера.

Пасові передачі не забезпечують жорсткого зв'язку між шківками через можливість проковзування паса на шківках.

Міжосьова відстань пасової передачі визначається переважно конструкцією приводу [машини](#). Клинопасову передачу потрібно „вписати“ в існуючу конструкцію, або в конструкцію, що проєктується (для нової машини,

положення валів якої в просторі визначається специфічними умовами, закріпленими попереднім ескізним компонованням). Розміри клинопасової передачі нічим особливо не лімітуються. Можна взяти у якості попереднього значення міжосьової відстані конкретний розмір між осями валів, або керуватись умовами раціональної роботи передачі і призначати міжосьову відстань по діаметру більшого шківів у залежності від передаточного числа.

Тому вимірювання міжосьової відстані безпосередньо у графічному вікні 3D моделі дуже зручний варіант (рис. 11.7).

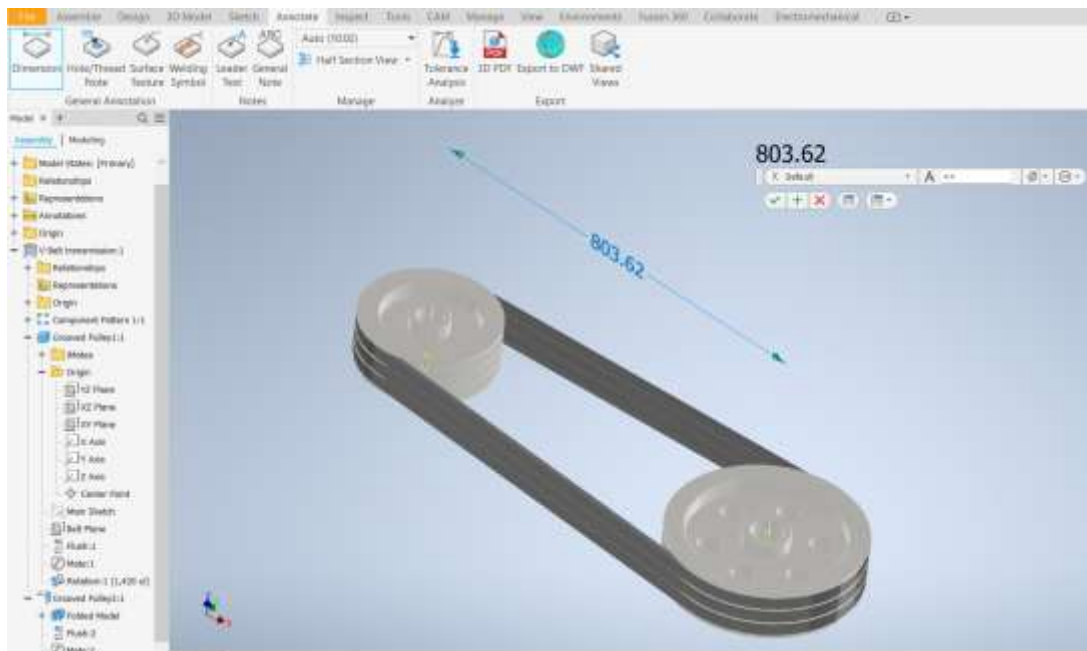


Рис. 11.7. Вимірювання міжосьової відстані пасової передачі

Для додавання точних і зрозумілих текстових приміток до креслення в Autodesk Inventor використовується корисний інструмент **Leader Text** з лінією, яка вказує на конкретний елемент або область на кресленні. Він забезпечує чітку вказівку на конкретні елементи або області. Це зручний спосіб додавання пояснень або деталей, які не можуть бути передані за допомогою стандартних розмірів або анотацій. Піктограма зазвичай виглядає як текстова примітка зі стрілкою (рис. 11.8).

Позначення шорсткості поверхні можна проставити безпосередньо на лінії виноски до певної поверхні 3D моделі. Вибирається значок відповідного стандарту. Це дозволяє позначити шорсткість і впорядкувати інструкції відповідно до стандартів. Позначення відхилень поверхні відносно бази на 3D моделі в Autodesk Inventor виконується за допомогою інструментів, що дозволяють додавати геометричні допуски та обмеження.

Вибирається інструмент, який дозволяє визначати бази для геометричних допусків. Вводяться позначення бази, вибирається поверхня або елемент, до якого потрібно застосувати допуск. Виконуються такі самі кроки для позначення відхилень як і на робочих креслениках, тільки це можна позначати й на 3D моделі (рис. 11.9).

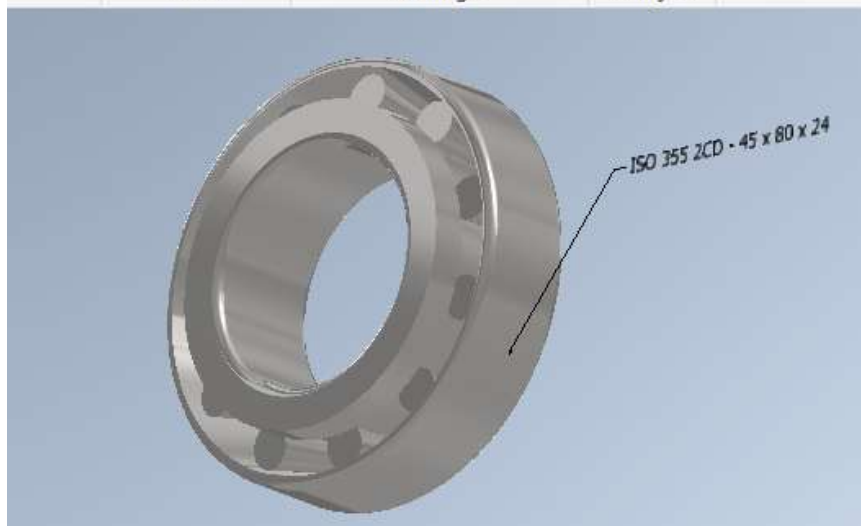


Рис. 11.8. Використання інструмента інструмента Leader Text

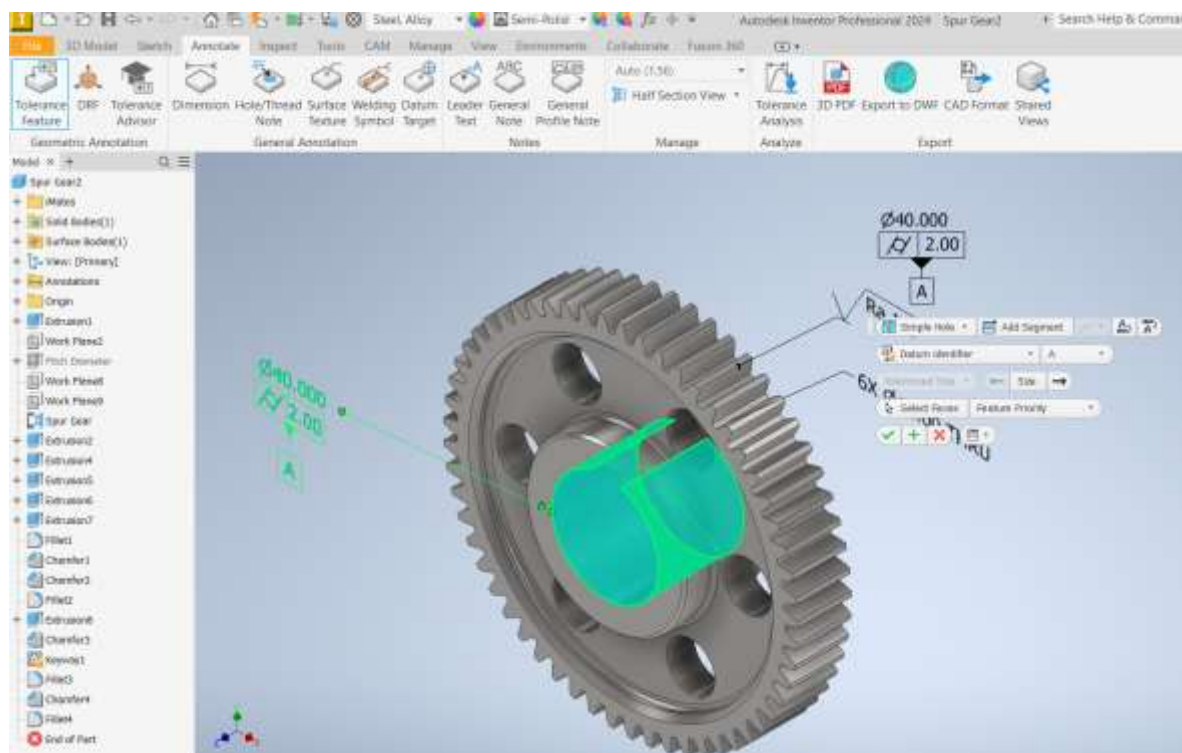


Рис. 11.9. Позначення відхилень поверхні відносно бази

Позначення на робочих кресленнях відіграють важливу роль у забезпеченні правильного виготовлення та зборки деталей. Використання розмірних позначень, геометричних допусків, технічних вимог та інших позначень допомагає точно визначити вимоги до деталей і забезпечити їх відповідність стандартам.

Autodesk Inventor пропонує потужні інструменти для додавання та налаштування таких позначень також і у файлі 3D моделі. В такому разі немає необхідності робити проєкційні види й виносні елементи, можна просто повертати модель для перегляду всіх конструктивних елементів (рис. 11.10).

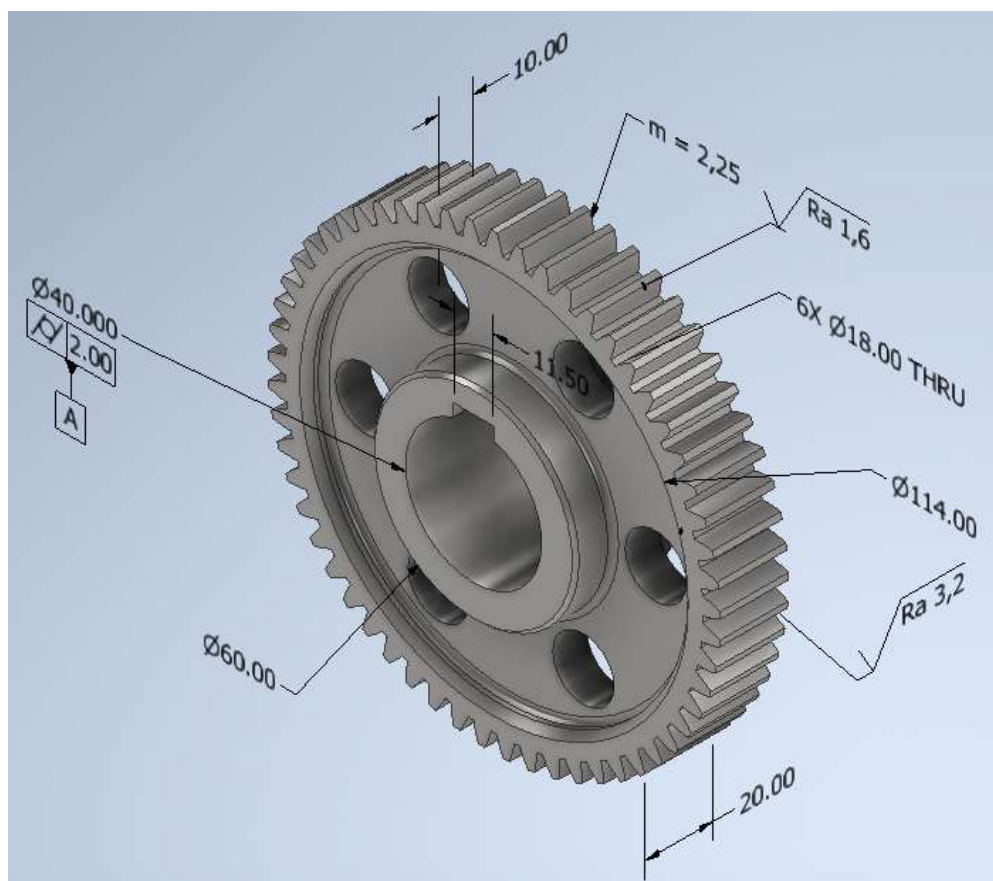


Рис. 11.10. Перегляд конструктивних елементів моделі

Наявні в Inventor функції дозволяють наносити різні позначення, застосовувані для пояснення креслень. У програмі є команди для нанесення таких пояснювальних елементів, як допуск форми й розташування, позначення шорсткості поверхні, позначення бази й ділянки бази, позначення зварного шва.

При оформленні креслеників в Inventor не автоматизовано внесення всіх необхідних елементів. Наприклад, таблицю параметрів зубчастого колеса треба створювати вручну, що потребує часу.

Відкривши редагування зубчастого колеса **Spur Gear** безпосередньо в файлі моделі, можна переглянути всі основні параметри, такі як геометричні розміри колеса, міжосьову відстань, число зубів тощо (рис. 11.11).

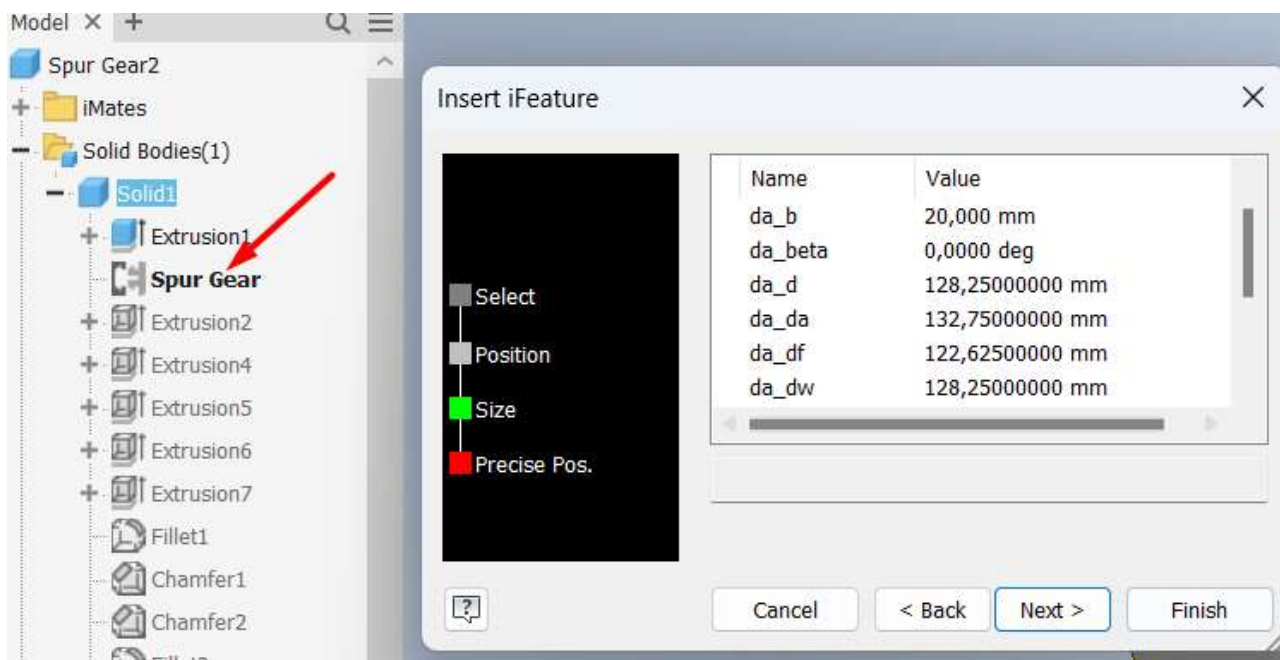


Рис. 11.11. Перегляд параметрів моделі

Функція Inspect в Autodesk Inventor дозволяє користувачам аналізувати та перевіряти параметри та властивості моделі для забезпечення її точності та відповідності вимогам. Вона включає в себе кілька інструментів для вимірювання, аналізу та перевірки деталей і збірок (рис. 11.12).

Основні вимірювання, які можна зробити використовуючи вкладку Inspect:

- відстань між двома точками, краями, поверхнями або центрами об'єктів;
- кут між двома лініями, площинами або поверхнями;
- довжина контуру;
- площа поверхні;
- маса.

Для вимірювання достатньо вибрати послідовно необхідні компоненти, відображатиметься мінімальна відстань. Можливо сумування декількох вимірювань. Треба вибрати необхідну кількість елементів у графічному вікні та натиснути знак плюса поруч із типом вимірювання. Значення додаються до сумарного значення. Також є можливість відняти значення лінійних вимірювань, вимірювань площі, об'єму тощо.

При зміні параметрів будь-якого елемента у збірці значення сумарних вимірювань також оновлюються.

Під час роботи над складними проєктами буде корисним використовувати цю функцію для перевірки точності та відповідності деталей на наявність помилок або відхилень від заданих параметрів перед передачею моделі на виробництво.

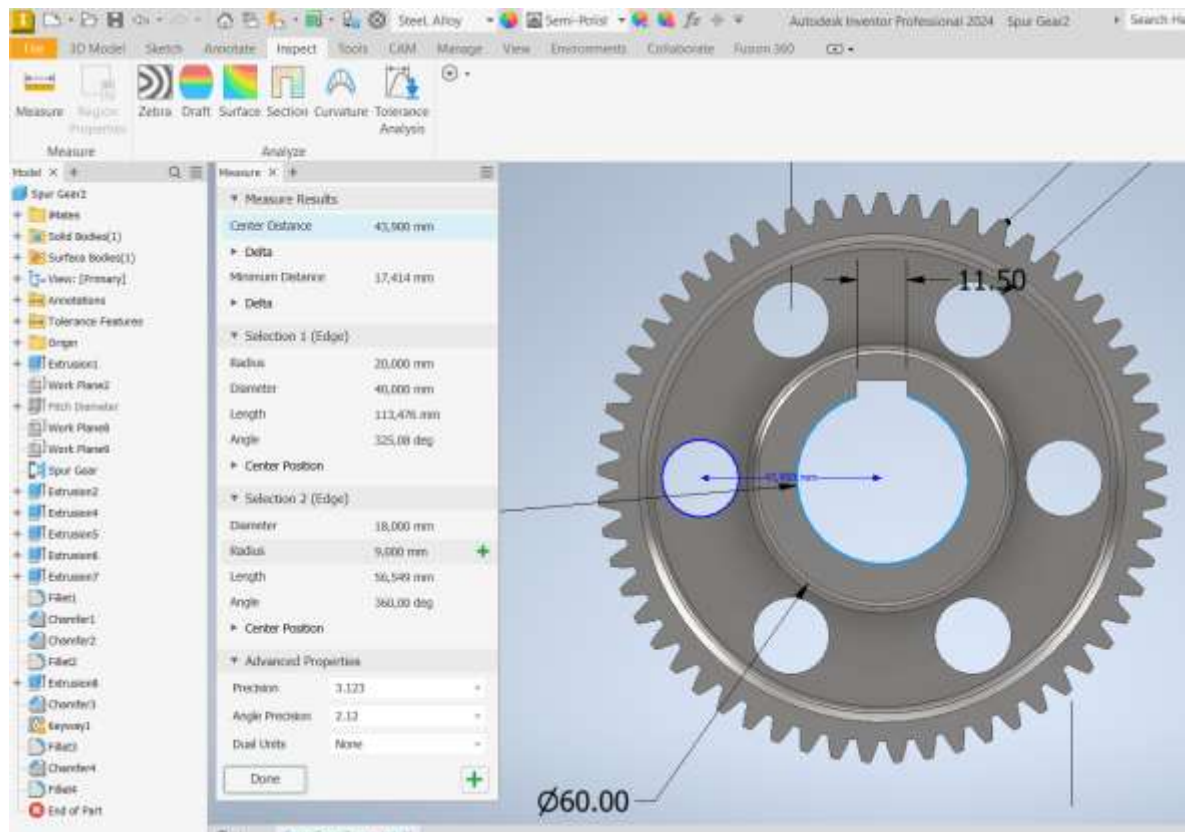


Рис. 11.12. Інструменти вкладки Inspect

Функція Inspect в Autodesk Inventor є потужним інструментом для аналізу та перевірки параметрів моделей і збірок. Вона дозволяє інженерам забезпечувати точність, відповідність стандартам і виявляти потенційні проблеми на ранніх етапах проєктування.



Контрольні питання

1. Для чого використовуються файли формату DWF?
2. Можливості середовища Autodesk Inventor Studio.
3. Налаштування камери в Inventor Studio.
4. Які вимірювання можна використовувати в середовищі складання, деталі та креслення?
5. Який інструмент використовується для додавання точних і зрозумілих текстових приміток до креслення в Autodesk Inventor
6. Переваги використання розмірних позначень, геометричних допусків, технічних вимог та інших позначень у файлі 3D моделі.
7. Призначення функції Inspect в Autodesk Inventor.
8. Як визначити основні параметри зубчастого колеса, якщо на кресленнику не оформлена таблиця параметрів?

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Деталі машин. Використання сучасних CAD/CAE систем у розрахунках деталей машин до виконання лабораторних робіт з дисципліни: навч. посіб. / О. В. Даниленко, І. І. Верб. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 53 с.
2. Функціональне проектування верстатів, роботів та машин в Autodesk Inventor (Частина І): навч. посіб. / В.М. Гейчук. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. 394 с.
3. Черніков О.В., Архіпов О.В., Єрмакова О.А., Корецький Я.С. Застосування генератора компонентів валу для моделювання типових деталей у програмі AUTODESK INVENTOR. *Прикладні питання математичного моделювання* Т. 4, № 2.1, 2021. С. 235-260.
4. Холодняк Ю. В. Комп'ютерне проектування промислових виробів: навчально-методичний посібник з виконання практичних робіт / Ю. В. Холодняк; ТДАТУ. – Мелітополь: ТДАТУ, 2020. – 152 с.
5. Проектування привода транспортера в САПР. Курсове проектування з інженерної механіки (деталей машин): навч. посіб. / Укл. О.О. Дереза. Мелітополь. ВПЦ «Люкс», 2019. 197с.
6. Лабораторний практикум з інженерної механіки (деталей машин). Навчальний посібник /О. О. Дереза. Мелітополь: Х-Тerra, 2019. 159 с.
7. Інженерна механіка (Деталі машин): посібник-практикум (Частина 1)/ О.О. Дереза, О.О. Вершков, Є.А. Гавриленко, Ю.О. Дмитрієв. Мелітополь: ВПЦ «Люкс», 2020. 143 с.
8. Інженерна механіка (деталі машин): посібник-практикум (Частина 2)/ О.О. Дереза, О.О. Вершков, Є.А. Гавриленко, Ю.О. Дмитрієв. Мелітополь: ВПЦ «Люкс», 2021. 132 с.
9. Черніков О.В. Впровадження сучасних технологій комп'ютерного моделювання в навчальний процес ХНАДУ. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*. Харків : ХНАДУ, 2016. Вип. 73. С. 239–244.
10. ДСТУ 3321-2003. Система конструкторської документації.
11. ДСТУ ISO 1122-12006. Передачі зубчасті.
12. AutoCAD. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/AutoCAD>
13. Уроки AutoCAD. URL: <https://autocad-lessons.com/uk/interfejs-autocad/>
14. Основи проектування в Autodesk Inventor. URL: <https://autocad-lessons.com/uk/osnovy-proektuvannia-v-autodesk-inventor/>
15. Відеокурс «Основи проектування в Autodesk Inventor». URL: <https://autocad-lessons.com/uk/inventor-videocourse/>
16. Autodesk Inventor Professional 2024 URL: <https://help.autodesk.com/view/INVENTOR/2024/RUS/?guid=GUID-5E25D5FB-3B94-44A0-AD50-80EF06F5A24F>
17. Autodesk AutoCAD 2013 інструкція користувача. URL:

<http://surl.li/lmtsw>

18. ДСТУ ISO/TR 10828:2005 Черв'ячні передачі. Геометрія профілів черв'яка (ISO/TR 10828:1997, IDT).

19. ДСТУ ISO 17485:2008 Передачі зубчасті конічні. Система точності ISO (ISO 17485:2006, IDT).

20. Донченко М. В. Технології комп'ютерного проектування : навч. посіб. / М. В. Донченко. Миколаїв : Вид-во ЧНУ ім. Петра Могили, 2021. 364 с

21. Архіпов, О. (2023). Особливості застосування програми Autodesk Inventor у промисловому дизайні. *Scientific Collection «InterConf»*, (148), 466–473.

22. Архіпов О.В., Масляєв К.В, Ланцов Д.О. Параметричне комп'ютерне моделювання в дизайні автомобільних вузлів та агрегатів. Міжвідомчий науково-технічний збірник "*Прикладна геометрія та інженерна графіка*". Київ : КНУБА, 2018. Вип. 94. С. 3–7.

23. Пустовой Д. С. Використання autodesk inventor для моделювання та дослідження напружено-деформованого стану гідроциліндру / Д. С. Пустовой, В. В. Кравченко // Сучасні інноваційні технології підготовки інженерних кадрів для гірничої промисловості і транспорту 2022, м. Дніпро, 29-30 квітня : зб. наук. пр. міжнар. конф. – Дніпро : НТУ «ДП», 2022. – С. 100-105.

24. Frederick E. Giesecke, Shawna Lockhart, Marla Goodman, Cindy M. Johnson. Technical Drawing with Engineering Graphics (15 ed.). Pearson education, inc. 2016. 1076 p.

25. Technical Drawing with Engineering Graphics Giesecke et al. Fourteenth Edition. British Library Cataloguing-in-Publication Data A catalogue record for this book is available from the British Library. Pearson Education Limited 2014, 85 p.