

Міністерство освіти і науки України
Центральноукраїнський національний технічний університет
Механіко-технологічний факультет

Кафедра «Технологія машинобудування»



Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт по курсу:

«АВТОМАТИЗАЦІЯ ІНЖЕНЕРНИХ РОЗРАХУНКІВ В МАШИНОБУДУВАННІ»

для студентів спеціальностей:

131 Прикладна механіка

133 Галузеве машинобудування

Кропивницький

2018

Міністерство освіти і науки України
Центральноукраїнський національний технічний університет
Механіко-технологічний факультет

Кафедра «Технологія машинобудування»



Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт по курсу:

«АВТОМАТИЗАЦІЯ ІНЖЕНЕРНИХ РОЗРАХУНКІВ В МАШИНОБУДУВАННІ»

для студентів спеціальностей:

131 Прикладна механіка

133 Галузеве машинобудування

Затверджено на засіданні кафедри
«Технологія машинобудування»
Протокол № 6 від 30.11.2018 р.

Кропивницький

2018

Автоматизація інженерних розрахунків в машинобудуванні : метод. вказівки до викон. лаб. робіт студ. спец. 131 «Прикладна механіка» ,133 «Галузеве машинобудування» / [уклад. О.І. Скібінський, В.М. Селєхова] ; М-во освіти і науки України, Центральнoукр. нац. техн. ун-т, каф. технології машинобудування. – Кропивницький : ЦНТУ, 2018. – 64 с.

Укладачі:

Скібінський О.І. – канд.техн.наук, доцент

Селєхова В.М.

Рецензент: Кириченко А.М. – д-р.техн.наук, професор

Зміст

Вступ.....	4
Лабораторна робота №1 Статичний аналіз деталі в системі SolidWorks Simulation.....	5
Лабораторна робота №2 Відстеження тенденцій в результатах досліджень в системі SolidWorks.....	15
Лабораторна робота №3 Статичний аналіз зборки в системі SolidWorks Simulation.....	23
Лабораторна робота №4 Оптимізація форми за допомогою дослідження проектування в системі SolidWorks Simulation.....	36
Лабораторна робота №5 SolidWorks Motion. Дослідження руху складальної одиниці.....	46
Лабораторна робота №6 Створення анімації роботи механізму та дослідження його руху.....	53
Література.....	61

Вступ

Курс «Автоматизація інженерних розрахунків в машинобудуванні» (AIPM) включає цикл лекцій, лабораторних та самостійних занять і спрямований на підвищення кваліфікації майбутнього фахівця.

Курс «AIPM» має загальну мету, яка передбачає підготовку студентів до самостійної роботи з планування, виконання та аналізу результатів наукових досліджень.

Курс «AIPM» складається з двох модулів.

Передбачено виконання шести лабораторних робіт. Виконана лабораторна робота захищається студентом у формі опитування.

Опитування з виконаної лабораторної роботи (ВЛР) складається з 5 запитань, які формуються з тих, що вказані у відповідній лабораторній роботі.

Критерії оцінювання відповіді в опитуванні з лабораторної роботи:

- Неправильна відповідь – 0 балів;
- Вірна відповідь – 1 бал.

Критерії оцінювання лабораторної роботи:

- Невиконана лабораторна робота – 0 балів;
- Виконана, але незахищена лабораторна робота – 4 бали;

Загальна сума балів (ЗСБ), яку студент може набрати протягом виконання лабораторних робіт з курсу – 54. Оцінки в балах по одній лабораторній роботі вказані в табл.1, по модулю та по курсу в цілому в табл.2.

Студент вважається атестованим з виконання лабораторної роботи, якщо він набрав кількість балів, що відповідає вказаній в табл.1 в стовбцях «відмінно», «добре» або «задовільно».

Студент вважається не атестованим з виконання лабораторної роботи, якщо він набрав кількість балів, що відповідає вказаній в табл.1 в стовбці «незадовільно».

Таблиця 1

Оцінювання знань при виконанні лабораторної роботи

Показники	Оцінка в балах					
	Зараховано					Не зараховано
	«5» Відмінно	«4» Добре		«3» Задовільно		«2» Незадовільно
	A	B	C	D	E	FX
ВЛР	9	8-7	6-5	4	3	2-0

Студент вважається атестованим з виконання лабораторних робіт з модуля та курсу в цілому, якщо він набрав кількість балів*, що відповідає вказаній в табл.2 в стовбцях «відмінно», «добре» або «задовільно».

Студент вважається не атестованим з виконання лабораторних робіт з модуля та курсу в цілому, якщо він набрав кількість балів, що відповідає вказаній в табл.2 в стовбці «незадовільно».

Таблиця 2

Оцінювання знань при виконанні лабораторних робіт з модуля та курсу

Показники	Оцінка в балах					
	Зараховано					Не зараховано
	«5» відмінно	«4» добре		«3» задовільно		«2» Незадовільно
	A	B	C	D	E	FX
ВЛР	54-51	50-44	43-37	36-31	30-25	24-0

До іспиту допускаються тільки ті студенти, які атестовані з виконання лабораторних робіт з курсу.

*Примітка. Кількість балів отриманих студентом при виконанні лабораторних робіт враховується тільки при умові виконання та захисту всіх лабораторних робіт передбачених до виконання.

Лабораторна робота №1

Статичний аналіз деталі в системі SolidWorks Simulation

Мета роботи: навчитися виконувати статичний аналіз деталі: призначати матеріал деталі; призначати фіксуючі обмеження та навантаження, формувати сітку деталі, виводити та аналізувати результати досліджень, оцінювати міцність конструкції, створювати звіт дослідження.

Короткі відомості

Тіло, коли на нього діють навантаження, деформується й вплив навантажень передається через усе тіло. Зовнішні навантаження включають у собі внутрішні сили й реакції, які компенсують вплив і повертають тіло в стан рівноваги.

Статичні дослідження обчислюють переміщення, сили реакції, навантаження, напруги й розподіл запасу міцності. Матеріал руйнується там, де навантаження перевищили певний рівень.

Статичні дослідження дозволяють уникнути руйнування, викликані високою напругою. Коефіцієнт запасу міцності менше одиниці означає руйнування матеріалу. Великі коефіцієнти міцності в деякій області вказують на низькі навантаження й на те, що можна, можливо, видалити деякий матеріал з цієї області.

У лінійному статичному аналізі використовуються такі припущення:

- припущення статичності: усі навантаження прикладаються повільно й поступово, поки не досягнуть своїх повних величин. По досягненню своїх повних величин навантаження залишаються постійними (незмінними за годинаю).

- припущення лінійності: взаємовідносини між навантаженнями і викликаними реакціями передбачаються лінійними. Якщо, наприклад, збільшити вдвічі величину навантажень, то реакція моделі (переміщення, навантаження та напруги) також збільшиться вдвічі.

Критерій максимальної напруги по Мізесу ґрунтується на теорії Мізеса-Хенкі (Mises-Hencky), також відомої як теорія енергії формозміни. Для головних напруг σ_1 , σ_2 , σ_3 напруга по Мізесу виражається як:

$$\sigma_{\text{vonMises}} = \{[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2] / 2\}^{1/2}$$

Теорія стверджує, що пластичний матеріал починає ушкоджуватися в місцях, де напруга по Мізесу стає рівною граничній напрузі. У більшості випадків, границя текучості використовується в якості граничної напруги. Однак, SolidWorks Simulation дозволяє використовувати граничне розтягування або задавати свою власну граничну напругу.

$$\sigma_{\text{vonMises}} \geq \sigma_{\text{limit}}$$

Границя текучості - властивість, що залежить від температури. Справжня задана величина границі текучості повинна враховувати температуру компонента. Коефіцієнт запасу міцності в даному випадку підраховується на основі запасу міцності $(FOS) = \sigma_{\text{limit}} / \sigma_{\text{vonmises}}$.

У випадку чистого зрушення $\sigma_{12} = \sigma_{21} \neq 0$, коли інші $\sigma_{12} = 0$, критерій напруги по Мізесу виражається як: $\sigma_{12} \max = \sigma_{\text{Системи розтяг}} / \sqrt{3} = 0,5777 \sigma_{\text{розтяг}}$.

Це значить, що в початковий момент розтягання максимальна напруга зрушення при чистому зрушенні менше в $\sqrt{3}$ раз, ніж напруга зрушення у випадку простого розтягу.

Порядок виконання роботи

Модель деталі створена в САПР Solidworks з ім'ям Tutor1.SLDPRT (файл знаходиться в папці C:\Program Files\Solidworks Corp\Solidworks\Simulation\Examples\).

Дослідження виконуємо в наступній послідовності:

1. Відкриття деталі й призначення матеріалу.

Відкрийте деталь Tutor1.SLDPRT, потім призначте матеріал з бібліотеки матеріалів Solidworks. Щоб призначити леговану сталь із бібліотеки матеріалів Solidworks:

1.1. Натисніть **Редагувати матеріал**  (на панелі інструментів Solidworks «Стандартна»).

З'явиться діалогове вікно **Матеріал**.

1.2. У лівій панелі натисніть на знак плюса поруч із **Матеріалами Solidworks** і потім на знак плюса поруч із розділом **Сталь** і виберіть **Легована сталь**.

Механічні характеристики легової сталі з'являться у вікні **Властивості**.

1.3. Виберіть **Застосувати й Закрити**.

Назва призначеного матеріалу з'явиться в дереві конструювання Featuremanager .

2. Створення дослідження «статичний аналіз».

Щоб створити статичне дослідження:

2.1. Виберіть нове дослідження  (Диспетчер команд Simulation).

2.2. У вікні Property manager (Менеджер властивостей) у поле Ім'я введіть Static-1.

2.3. У вікні Тип натисніть Статичне .

2.4. Натисніть кнопку .

Програмне забезпечення створює дослідження в дереві дослідження Simulation. Зверніть увагу, прапорець на деталі  у дереві дослідження показує, що ви призначили матеріал.



Рис. 1.1. Призначення матеріалу деталі

3. Застосування фіксуючих обмежень.

Для статичного аналізу потрібно застосувати достатні фіксуючі обмеження, щоб стабілізувати модель. У цьому прикладі необхідно зафіксувати два отвори на основі деталі.

Щоб зафіксувати два отвори:

3.1. Виберіть стрілку вниз у розділі **Кріплення**  (Simulation Commandmanager) і виберіть **Зафіксована геометрія** або натисніть правою кнопкою миші на **Кріплення**  у дереві дослідження й виберіть **Зафіксована геометрія**. З'явиться вікно Propertymanager **Кріплення**.

3.2. У графічній області виберіть поверхні двох отворів, як показано на рис. 1.2. Грань<1> і Грань<2> з'являться у вікні **Грані, кромки, вершини для обмеження** .

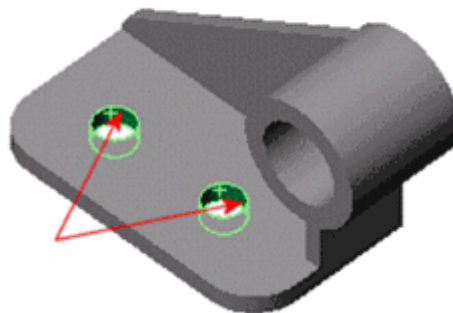


Рис. 1.2. Призначення кріплення деталі

 Щоб змінити колір позначень обмежень, натисніть Редагувати колір у списку Настройки позначення. Відкриється кольорова палітра. Виберіть бажаний колір і натисніть ОК.

3.3. Натисніть кнопку .

Програмне забезпечення фіксує поверхні двох отворів і створить значок, з назвою Зафіксований-1 у папці Кріплення в дереві дослідження Simulation.

4. Прикладання тиску.

Прикладіть тиск 6,8948 Н/мм² перпендикулярно торцевій поверхні отвору кронштейна

рис. 1.3.

Щоб прикласти тиск:

4.1. Натисніть на стрілку вниз у розділі **Зовнішні навантаження**  (Simulation Commandmanager) і виберіть **Тиск**  або натисніть правою кнопкою миші на **Зовнішні навантаження**  у дереві дослідження Simulation і виберіть **Навантаження** .

4.2. В Propertymanager на вкладці **Тип** виберіть **Перпендикулярно до обраної грані**.

4.3. У графічній області виберіть показану поверхню для **Грані для тиску** .

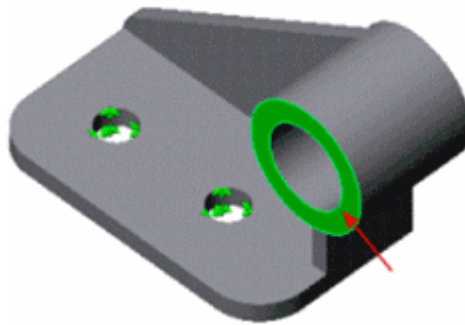


Рис. 1.3. Додаток тиску на деталь

4.4. У вікні Значення тиску виберіть $\text{H}/\text{мм}^2$ у меню Одиниці виміру , потім введіть $6,8948 \text{ H}/\text{мм}^2$ у поле Значення тиску .

 Якщо необхідно змінити одиниці виміру тиску, то програмне забезпечення перетворить значення в нові одиниці виміру.

4.5. Натисніть кнопку .

Програмне забезпечення прикладає тиск $6,8948 \text{ H}/\text{мм}^2$ і створить значок, названий **Тиск-1**  у папці **Зовнішні навантаження**  дерева дослідження Simulation.

5. Настроювання параметрів формування сітки.

Створення сітки залежить від активних параметрів формування сітки.

Щоб задати параметри формування сітки:

5.1. У дереві дослідження Simulation натисніть правою кнопкою миші значок **Сітка**  і виберіть **Створити сітку** , або натисніть на стрілку вниз на **Виконати**  (диспетчер команд Simulation) і виберіть **Створити сітку** .

5.2. В Propertymanager (Менеджерові властивостей) потрібно встановити **наступні параметри**:

У більшості досліджень використовуються наступні настроювання у вікні **Параметри сітки** й **Додатково** в Менеджерові властивостей **Сітки**.

У полі **Параметри сітки** необхідно встановити наступні значення:

- **Стандартна сітка:** вибрано
- **Глобальний розмір:** обчислено програмою
- **Допуск:** обчислено програмою
- **Автоматичний перехід:** не вибрано

У вікні групи **Додатково:**

- **Меню перевірки Якобіана:** встановити на **4 точки**.
- **Сітка чорнової якості:** не вибрано
- **Автоматичні спроби для твердих тіл:** вибрано
- **Число спроб:** 3

6. Створення сітки деталі й запуск аналізу.

При створенні сітки програмне забезпечення використовує активні параметри створення сітки. Щоб створити сітку деталі й запустити статичне дослідження, необхідно:

6.1. Виберіть  , щоб прийняти величини. Починається створення сітки й відкриється вікно **Процедура створення сітки**. Після завершення створення сітки модель із сіткою з'явиться в графічній області (рис. 1.4).

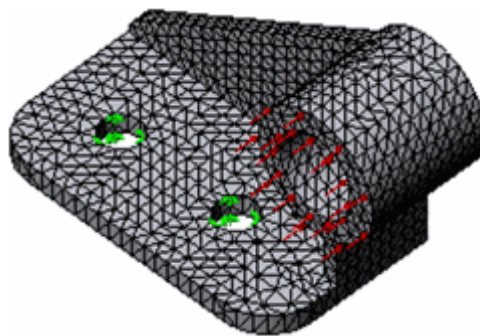


Рис. 1.4. Створення сітки деталі

6.2. Натисніть **Виконати**  (диспетчер команд Simulation). Аналіз запуститься, а папка **Результати**  з'явиться в дереві дослідження Simulation.

7. Відображення інформації про сітку.

Для відображення інформації про сітку, необхідно:

7.1. У дереві дослідження Simulation натисніть правою кнопкою миші значок **Сітка**  і виберіть **Відомості**.

7.2. Закрийте вікна списку **Відомості про сітку**.

Щоб сховати або показати сітку натисніть **Відобразити/Сховати сітку**  на панелі інструментів Simulation.

8. Перегляд напруг по Мізесу (еквівалентних).

Щоб побудувати епюру напруг по Мізесу, потрібно:

8.1. У дереві дослідження Simulation відкрити папку **Результати** .

8.2. Двічі натиснути кнопкою миші на команду **Напруга (-von Mises-)** для відображення епюри. Якщо епюра не існує, створіть цю епюру (рис. 1.5).

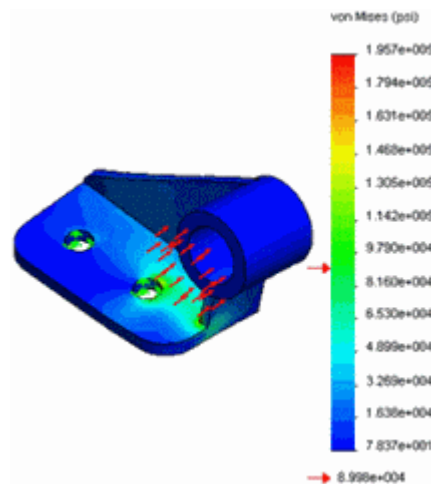


Рис. 1.5. Перегляд напруг деталі

Епюра напруг створюється на деформованій формі. Щоб показати деформовану форму, програмне забезпечення масштабує максимальну деформацію на 10% діагоналі граничної рамки моделі. У цьому випадку шкала деформації приблизно рівна 12.

Щоб переглянути епюри напруг у різних системах одиниць виміру, натисніть правою кнопкою миші значок епюри й клацніть **Редагувати визначення**. У розділі **Відобразити** задайте **Одиниці виміру**  бажаної системи одиниць і натисніть .

9. Перегляд результуючого переміщення.

Щоб побудувати графік результуючого переміщення, необхідно:

9.1. У дереві дослідження Simulation відкрити папку **Результати** .

9.2. Двічі натиснути **Переміщення (Розташування результату)** для відображення епюри. Якщо епюра не існує, створіть цю епюру (рис.1.6).

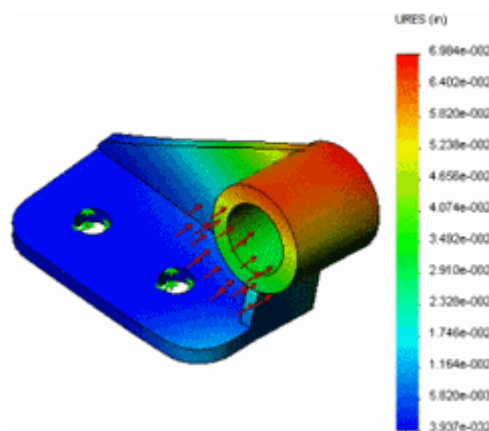


Рис. 1.6. Перегляд переміщень деталі

Щоб виконати анімацію епюри результуючого переміщення, треба:

9.3. Натиснути кнопкою мишки на **Інструменти епюри**



(Simulation

Commandmanager) і виберіть **Анімувати** .

За замовчуванням, анімація відтворюється повторно й безупинно. Вона буде відтворюватися від початку до кінця, потім з кінця до початку й повторення будуть тривати.

9.4. Натисніть кнопку , щоб зупинити анімацію.

9.5. Натисніть **Цикл** , потім натисніть  для запуску анімації.

Анімація відтворюється з безперервною циклічністю.

9.6. Натисніть кнопку , щоб зупинити анімацію.

9.7. Натисніть кнопку .

10. Перегляд еквівалентних деформацій елементів.

Щоб побудувати графік еквівалентних деформацій елементів, потрібно:

10.1. У дереві дослідження Simulation відкрити папку **Результати** .

10.2. Двічі натиснути **Деформація (еквівалентна)** для відображення епюри. Якщо епюра не існує, створіть цю епюру (рис.1.7).

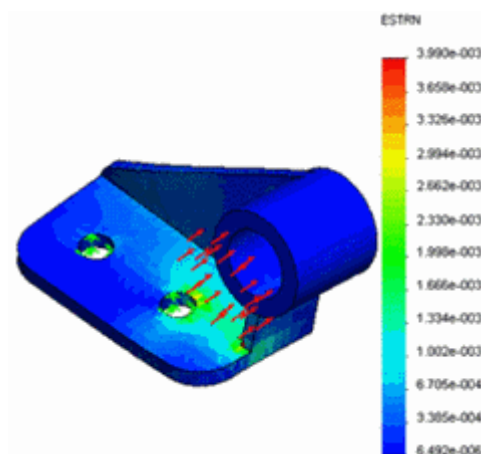


Рис. 1.7. Перегляд деформацій деталі

11. Оцінка міцності конструкції.

Коефіцієнт запасу міцності проектування допоможе оцінити міцність досліджуваної конструкції. Щоб переглянути розподіл у моделі коефіцієнта запасу міцності (FOS), треба:

11.1. У дереві дослідження Simulation натиснути правою кнопкою миші на папку **Результати**  і вибрати **Визначити епюру перевірки запасу міцності**. З'явиться вікно Propertymanager **Запас міцності**.

11.2. У вікні Propertymanager у розділі **Крок 1 з 3** виберіть **Максимальну напругу von Mises у Критеріях** .

11.3. Натисніть кнопку **Далі** .

11.4. У розділі **Крок 2 з 3** виберіть **Для межі текучості**. Зверніть увагу, що відображені пружні властивості матеріалу деталі й максимальна напруга по Мізесу.

11.5. Натисніть кнопку Далі .

11.6. У розділі **Крок 3 з 3**, виберіть **Розподіл запасу міцності**.

11.7. Натисніть кнопку .

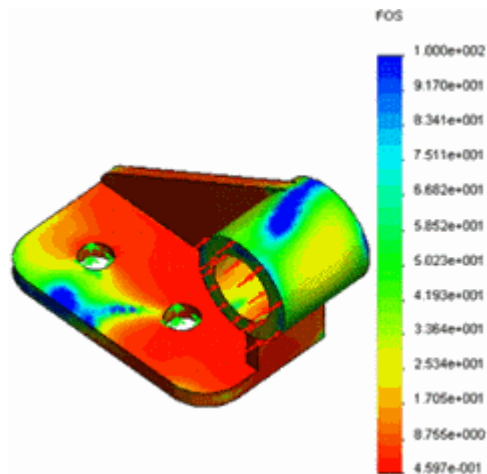


Рис. 1.8. Оцінка міцності конструкції деталі

Щоб побудувати графік критичних областей деталі, необхідно:

11.8. Натиснути стрілку вниз поруч із параметром **Результати**  (Simulation Commandmanager) і вибрати **Напругу, Запас міцності** .

11.9. У вікні Propertymanager у розділі **Крок 1 з 3** виберіть **Максимальну напругу von Mises у Критеріях** .

11.10. Натисніть кнопку Далі .

11.11. У розділі **Крок 2 з 3** виберіть **Для межі текучості**.

11.12. Натисніть кнопку Далі .

11.13. У розділі **Крок 3 з 3**:

а. Виберіть **Області нижче запасу міцності**.

б. Уведіть **1** у поле **Запас міцності**.

11.14. Натисніть кнопку .

Області із запасом міцності менше 1 (небезпечні області) відображаються червоним кольором. Області з більш високим коефіцієнтом запасу міцності (міцні області) відображаються синім кольором (рис. 1.9).

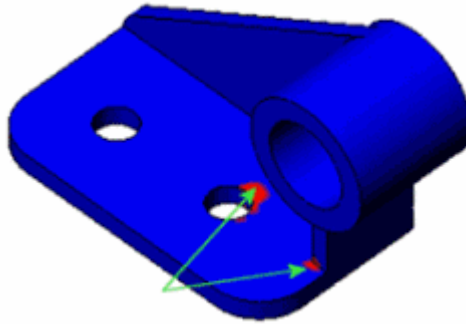


Рис. 1.9. Графік критичних областей деталі

 Щоб краще бачити критичні області моделі, може знадобитися сховати позначення обмежень і тиску. Натисніть правою кнопкою миші на папки **Кріплення** й **Зовнішні навантаження** й виберіть **Сховати все**. Двічі натисніть на значок **Запас міцності** в розділі **Результати**, щоб знову відобразити епюру запасу міцності.

12. Створення звіту дослідження.

Утиліта звіту генерує веб-документ, зручний для перегляду колегами й керівниками.

Для створення звіту дослідження, треба:

12.1. Натиснути **Звіт**  (Simulation Commandmanager).

12.2. У діалоговому вікні вибрати **Визначення з'єднувачів** у області **Включені розділи** й натиснути кнопку , щоб перемістити це в **Наявні розділи**.

12.3. Повторіть крок 2 для **Результати досліджень** і **Результати датчиків** для видалення деяких інших невикористовуваних перерізів зі звіту.

12.4. Виберіть **Опис** у вікні **Включені перерізи**.

12.5. У списку **Характеристики перерізу**:

а. Виберіть **Замітки**.

б. Уведіть у поле **Перший звіт**.

12.6. У вікні **Настроювання документа**:

а. Уведіть **Перший звіт** у поле **Назва звіту**.

б. Виберіть **Опублікувати звіт**.

с. Виберіть **HTML** або **Опублікувати як**.

12.7. Виберіть **Опублікувати**.

Звіт відобразиться у веб-оглядачі за замовчуванням. Можна переходити в різні розділи звіту, натискаючи на посилання зверху.

12.8. Для закриття вікна звіту натисніть .

Щоб зберегти модель і аналітичну інформацію в документі деталі: Натисніть **Файл, Зберегти**.

Контрольні запитання:

1. Що розуміють під статичними дослідженнями?
2. Які припущення використовуються при лінійному статичному аналізі?
3. На чому ґрунтується критерій максимальної напруги по Мізесу?
4. Що розуміють під терміном границя текучості?
5. Що розуміють під терміном коефіцієнт запасу міцності.
6. Назвіть порядок проведення статичного аналізу деталі в системі SolidWorks Simulation.
7. Як оцінити міцність конструкції деталі в системі SolidWorks Simulation.

Лабораторна робота №2

Відстеження тенденцій в результатах досліджень в системі SolidWorks

Мета роботи: навчитися виконувати відстеження тенденцій в результатах досліджень: накладати обмеження на деталь, виявляти тенденції, налаштовувати базову лінію, додавати графік відстежених даних, створювати журнал тенденцій, змінювати форму і запускати дослідження, відновлювати модель, створювати графіки та галереї.

Короткі відомості

Наукове дослідження - вивчення різними науковими методами того чи іншого явища або процесу.

Мета наукового дослідження - одержання ще невідомих знань про явище або процес і подальше корисне використання цих знань у практичній діяльності.

Тенденція – виявлені в результаті аналізу, спостережувані стійкі співвідношення, властивості, ознаки, властиві досліджуваному процесу, явищу.

Виявлення тенденції – це процедура призначена для збереження, обробки та візуалізації результатів декількох розрахунків, виконаних на базі одного і того ж статичного аналізу. Функція «Виявити тенденцію» допоможе виявити тенденції в результатах різних повторів статичного дослідження. Результати представлені таким чином, щоб порівнювати базову лінію з подальшими повторами.

Графіки відстеження даних необхідні для перегляду додаткових результатів. Можна відслідковувати напругу, переміщення і властивості кріпильних елементів (штифт, болт) для зборок і величини сили вільного тіла. Графіки включають поточну ітерацію і повтори. Ітерація – це повторне застосування математичної операції (із зміненими даними) при розв'язанні обчислювальних задач, яке дає можливість поступово наблизитися до правильного результату.

Журнал тенденцій - документ Microsoft Word, який відображає список відомостей про базову лінію (повторення 1) і наступні повторення. Журнал тенденцій з'являється тоді, коли задіюється функція «Виявити тенденцію». Програма оновить журнал тоді, коли користувач встановить базову лінію або створить повтор. Журнал за замовчуванням знаходиться в папці «Результати».

Галерея функції **Виявити тенденцію** фіксує певне переміщення і епюру напружень для базової лінії (повторення 1) і наступних повторів.

Ім'я галереї зображень за умовчанням: modelname-studyname-plotname-iterationname_
Папка для галереї зображень за умовчанням: resultsfolder\Gallery.

Галерея підтримує:

- VON: Напруга по Мізесу;
- P1: 1-а головна напруга;
- P2: 2-я головна напруга;

- PЗ: 3-я головна напруга;
- URES: Результируюче переміщення;
- UX: Переміщення (Напряг X);
- UY: Переміщення (Напряг Y);
- UZ: Переміщення (Напряг Z).

Порядок виконання роботи

Модель деталі створена в САПР SolidWorks з ім'ям TrendTracker.SLDPRT (файл знаходиться в папці C:\Program Files\SolidworksCorp\Solidworks\Simulation\Examples\).

Дослідження виконуємо в наступній послідовності:

1. Запуск початкового дослідження.

1.1. Дослідження назвати **Ready**. Воно включає:

- Статичний аналіз (перейменувати його у **Ready**)
- Матеріал - легована сталь
- **Тиск** $6,9 \text{ Н/мм}^2$ (МПа) на поверхні, як показано на рис.2.1.
- Обмеження **Нерухома** (немає переміщень) на двох циліндричних поверхнях (отворах), як показано на рис.2.1.

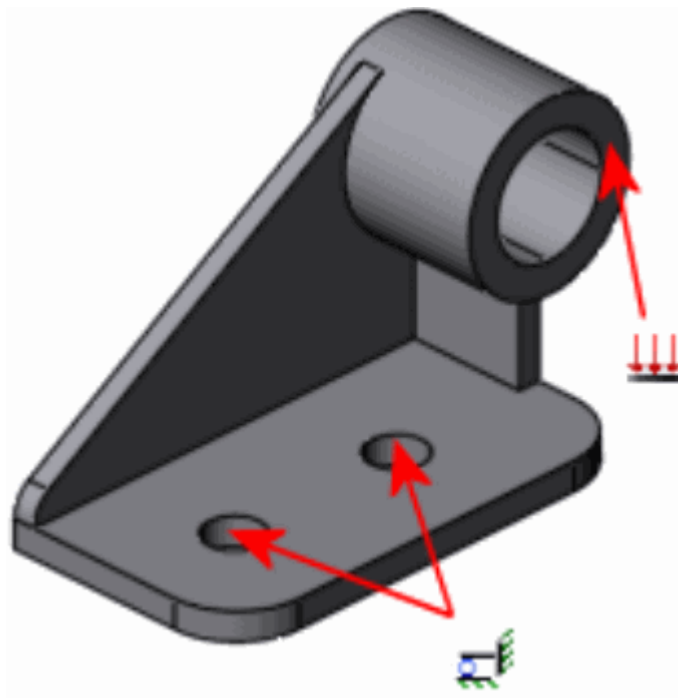


Рис. 2.1. Обмеження і тиск у деталі

1.2. В дереві дослідження Simulation натисніть правою кнопкою миші значок Ready  і виберіть Виконати .

1.3. Після завершення аналізу визначте епюру напружень по Мізесу та епюру переміщення URES (результиуюче переміщення) (рис. 2.2).

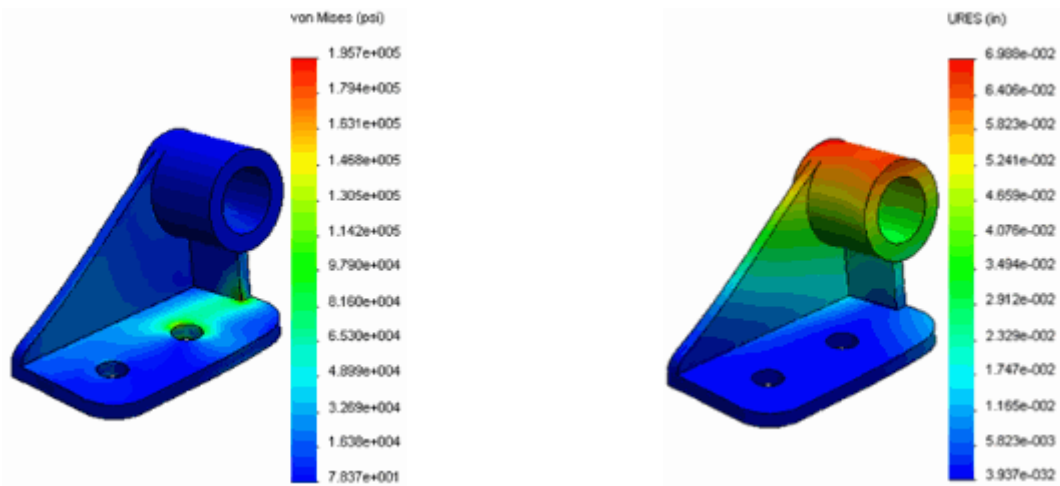


Рис. 2.2. Результати дослідження: епюри напружень і переміщень в деталі

2. Відстеження тенденції в існуючому статичному дослідженні. Запуск виявлення тенденції та налаштування базової лінії.

Після успішного запуску статичного дослідження, задайте базову лінію в якості бази порівняння з майбутніми результатами.

2.1. Натисніть правою кнопкою миші на дослідження **Ready**  і виберіть **Виявити тенденцію**.

Це дає можливість Виявити тенденцію і додає значки **Виявити тенденцію**  і **Журнал тенденцій**  в дерево дослідження Simulation.

2.2. Натисніть правою кнопкою миші **Виявити тенденцію**  і виберіть **Встановити базу**.

Відбудеться наступне:

- Епюри vonMises і URES ненадовго з'являться в графічній області, коли програмне забезпечення додає їх в галерею зображень результатів.
- В папці **Виявити тенденцію**  з'являться графіки. За замовчуванням з'явиться графік **Маса**. З'являться графіки **Напруги** і **Переміщення**, так, як епюри vonMises і URES визначені в папці **Результати** .

3. Додавання графіка відстежених даних.

Додавання датчика для моніторингу зміни 1-ої головної напруги.

3.1. Натисніть правою кнопкою миші на папку **Датчики**  в дереві конструювання FeatureManager і виберіть **Додати датчик**.

3.2. У вікні PropertyManager (Менеджер властивостей), в розділі **Тип датчика**, виберіть **Дані моделювання**.

3.3. У вікні **Кількість даних**:

1. Переконайтеся, що в **Результатах** вибрано **Напруга** .
2. Виберіть **P1: 1-а головна напруга** в **Компонент** .

3.4. У вікні **Властивості**:

1. Виберіть **Н/мм²** в меню **Одиниці виміру** .
 2. Виберіть **Макс. моделі** у полі **Критерій** .
- 3.5. Натисніть кнопку .

Новий датчик з'явиться в папці **Датчики** .

3.6. Натисніть правою кнопкою миші папку **Виявити тенденцію**  в дереві дослідження **Simulation** і виберіть **Додати графік відстежених даних**. Далі виберіть **Напруга2**, у **Списку датчиків** .

- 3.7. Натисніть .

Новий графік з'явиться в папці **Виявити тенденцію** .

 Також можна додати датчики для відстеження переміщення, сил коннектора і сил вільно падаючого тіла.

4. Перегляд журналу тенденцій.

Спочатку змініть ширину фланця в дереві конструювання FeatureManager. Потім перегляньте **Журнал тенденцій** , щоб побачити зміни в результуючих величинах.

4.1. Перейдіть на вкладку **Модель** і у дереві конструювання FeatureManager розгорніть елемент **Boss-Extrude3 (Бобишки-Витянуть3)** і виберіть **Sketch4 (Ескіз4)**. Виберіть розмір **8** в графічному вікні. Він називається **D1@Sketch4**.

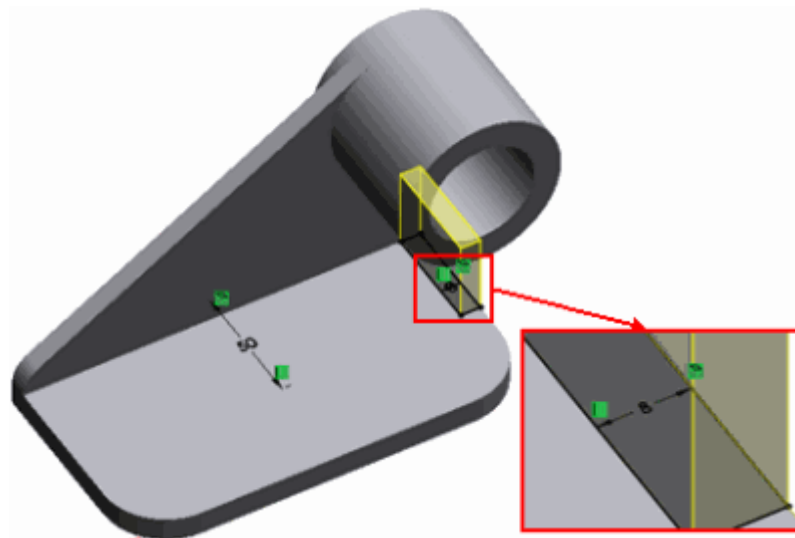


Рис. 2.3. Зміни, що вносяться в елемент конструкції деталі

- 4.2. Введіть значення **10** в позиції, яка відображається в графічному вікні.
- 4.3. У дереві дослідження Simulation натисніть правою кнопкою миші значок **Ready**  і виберіть **Виконати** .
- 4.4. Повторіть кроки 4.1-4.3 двічі, але змініть розмір моделі на 12 і 14 відповідно.

4.5. Натисніть правою кнопкою миші **Журнал тенденцій**  та оберіть **Відкрити**.

4.6. Зверніть увагу на кількість та значення простежених даних для базової лінії і наступних повторів.

4.7. Прокрутіть до низу журналу, щоб переглянути інформацію про **Повтор 4**.

4.8. Загальна вага збільшилася приблизно на 102% від базового значення. Напруга по Мізесу, URES-переміщення і 1-а головна напруга P1 зменшилися приблизно на 78%, 85% і 81%, відповідно.

4.9. Закрийте документ.

5. Зміна форми і запуск дослідження.

5.1. Перейдіть на дерево конструювання FeatureManager.

5.2. Натисніть правою кнопкою миші **Витянуты1**, **Скруглення1**, і **Скруглення2** і виберіть **Висвітлити**.

Ця операція видаляє геометрію з фланця і додає скруглення на деяких кромках, як показано (рис. 2.4):



Рис. 2.4. Додавання заокруглень на кромках

5.3. У дереві дослідження Simulation натисніть правою кнопкою миші дослідження **Ready**  і виберіть **Виконати** .

Програмне забезпечення створює нову сітку для зміненої форми і запускає аналіз.

6. Перегляд галереї.

У галереї містяться зображення епюр деформацій і напруг базової лінії і наступних повторів.

6.1. Натисніть правою кнопкою миші папку **Виявити тенденцію** і виберіть  **Перегляд Галереї**.

Програма перегляду малюнків і факсів Windows відкриває зображення епюри переміщення (деформації) від базової лінії.

6.2. Перегляньте інші зображення галереї.

Два останніх зображення з напругою по Мізесу також відображаються в ілюстрації.

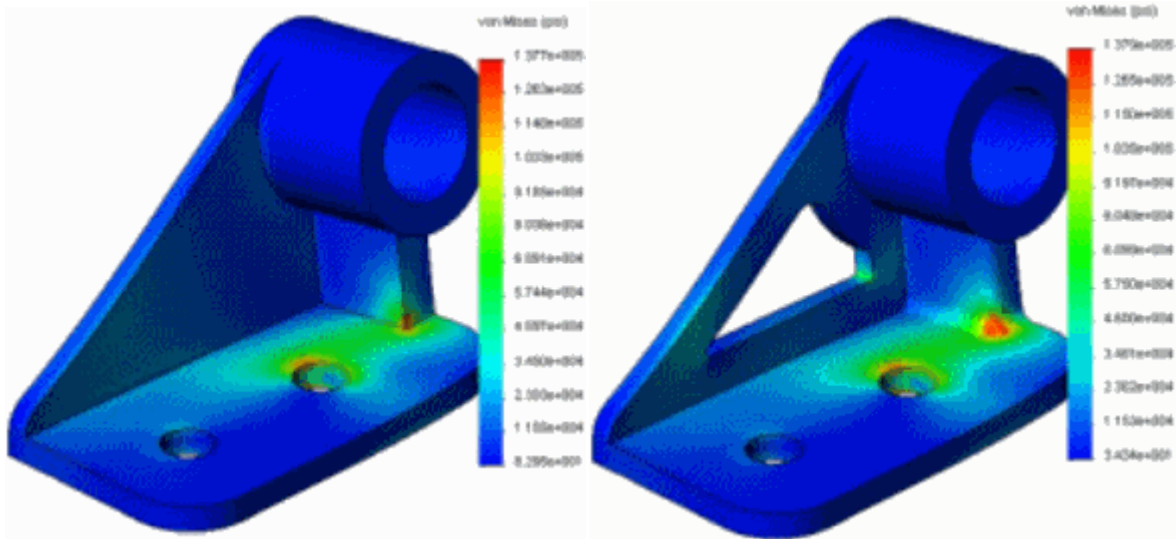


Рис. 2.5. Перегляд галереї

6.3. Закрийте програму перегляду малюнків і факсів Windows.

7. Виконання інших змін форми.

7.1. Перейдіть на дерево конструювання FeatureManager.

7.2. Виправте **Ескіз7 Виріз-Витягнуть1**, клацнувши правою кнопкою миші елемент і виберіть **Редагувати ескіз**.

7.3. Двічі клацніть на розмір діаметра 42 мм і змініть його на 30 мм.

7.4. Натисніть **Ctrl+B**, щоб закрити ескіз і перебудувати модель.



Рис. 2.6. Зміна діаметра отвору

7.5. У дереві дослідження Simulation натисніть правою кнопкою миші дослідження **Ready** і виберіть **Виконати**.

Програмне забезпечення створює нову сітку для зміненої форми і запускає аналіз.

На цьому етапі, відслідковуються тенденції змін форми і розміру моделі. Також можна відстежувати зміни навантажень, закріплення, матеріалів, розмірів клітинок сітки, і т. д.

8. Перегляд графіків.

8.1. Двічі клацніть **Масу** в папці **Виявити тенденцію**.

На графіку видно, що вага збільшується при зміні розмірів деталі. Значення маси показані в кг.

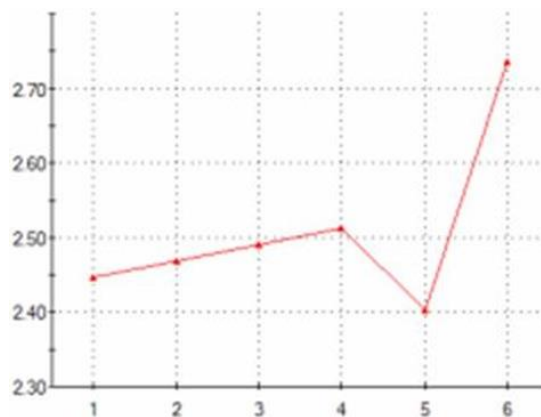


Рис. 2.7. Графік залежності маси від розмірів деталі

8.2. Двічі натисніть на **Напругу**, відповідну напрузі по Мізесу.

На графіку видно, що максимальне напруження по Мізесу також збільшено. В дійсності, значення майже дорівнює початковому значенню базової лінії (повторення 1). Значення напруг відображені в фунтах на кв. дюйм.

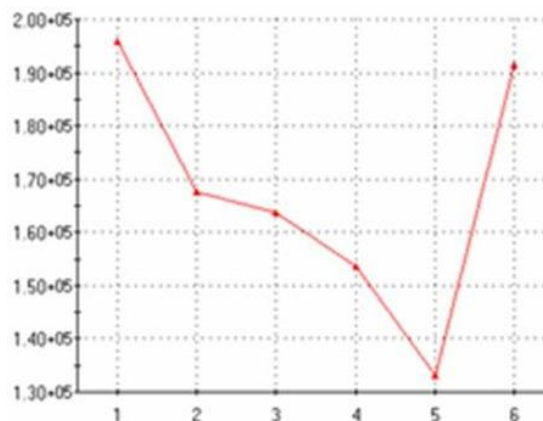


Рис. 2.8. Графік залежності напружень від діаметра отвору

8.3. Закрийте обидва графіка.

9. Відновлення моделі в стан повтору (ітерації).

Як видно з графіків, остання зміна форми не дала бажаних результатів. Вага та максимальне напруження по Мізесу виросли в результаті зміни. Можна відновити модель до попереднього повторення, щоб повернутися до стану моделі з кращими результатами.

9.1. Натисніть правою кнопкою миші папку **Виявити тенденцію** і виберіть 
Відновити модель до ітерації.

9.2. У діалоговому вікні виберіть: **Повтор 5** і натисніть **ОК**.

9.3. Натисніть **Так** при запиті видалити всі наступні повтори.

Модель повертається в стан, в якому діаметр отвору дорівнює 42 мм.

9.4. У дереві дослідження Simulation в вкладці **Виявити тенденцію**  натисніть правою кнопкою миші **Журнал тенденцій**  і вибрати команду **Відкрити**.

9.5. Перегляньте відкритий документ.

Зверніть увагу, що загальна вага дорівнює приблизно 98% від початкової ваги, і що напруга по Мізесу, URES-переміщення, P1 1-а головна напруга приблизно рівні 68%, 89% і 76%, відповідно.

9.6. Для збереження документа, натисніть **Файл, Зберегти**.

Контрольні запитання:

1. Що розуміють під науковим дослідженнями? Яка його мета?
2. Що розуміють під терміном тенденція?
3. Що розуміють під терміном ітерація?
4. Для чого призначена процедура виявлення тенденції?
5. Для чого необхідні графіки відстеження даних?
6. Що розуміють під терміном журнал тенденцій?
7. В чому заключається суть функції «Виявити тенденцію»?
8. Назвіть порядок проведення відстеження тенденцій в результатах досліджень.

Лабораторна робота №3

Статичний аналіз зборки в системі SolidWorks Simulation

Мета роботи: навчитися виконувати статичний аналіз зборки: призначати матеріал деталі; призначати фіксуючі обмеження, прикладати направлену силу, створювати сітку зборки, переглядати результати, виключати компонент з аналізу, задавати обмеження нової моделі, створювати сітку нової моделі і запускати дослідження, переглядати результати нової моделі, виводити список сил реакції, налаштовувати відображення кольору епюри, створювати епюри напруги перерізу, управляти епюрою перерізу, виконувати зондування результуючих напружень на епюрі перерізу.

Короткі відомості

Статичні дослідження дозволяють уникнути руйнувань, викликаних високими навантаженнями. Статичні дослідження дають можливість обчислити переміщення, сили реакції, навантаження, напруги й розподіл запасу міцності.

При роботі зі зборками слід мати на увазі, що для статичного, нелінійного і частотного досліджень, а також для досліджень втрати стійкості, доступна функція фіксації поверхонь деталей. Тверде тіло не можна ні перемістити ні деформувати. Оскільки все тіло не можна рухати, воно, по суті, також є жорстким. Зафіксоване тіло все ж має контактний взаємозв'язок з дотичними деталями. Цей параметр переключається на параметр **Переміщуючийся**.

Щоб зафіксувати поверхню тіла, використовуйте параметр **Зафіксована геометрія** в PropertyManager **Кріплення**.

У дослідженнях зборок сили, моменти або крутний момент з рівномірним розподілом можуть бути прикладені до граней, кромок, довідкових точок, вершин і балок в будь-якому напрямку.

При прикладанні сили до грані або кромки вказане значення представляє тільки величину. Наприклад, у випадку прикладання сили, яка направлена по нормалі до повністю циліндричної грані, сума вектора прикладеної сили становить «нуль».

Користувач має можливість прикладати нерівномірні сили тільки до граней, кромок оболонок і балок. Нерівномірна сила вказується у значеннях сили і розподілі ваги. Значення сили встановлюється рівним сумі абсолютних значень сил, прикладених до кожної грані.

Параметр PropertyManager **Сила/Крутний момент** використовується в дослідженнях конструкцій для прикладання зусиль, моментів або крутних моментів з рівномірним розподілом до граней, кромок, довідкових точок, вершин і балок в будь-якому напрямку.

Прикладати **Силу** можна до граней, кромок, площини або вісі.

Для завдання **Крутного моменту** можна вибрати довідкову вісь, кромку або циліндричну грань.

У збірці можна використовувати довідкову геометрію зі зборки або її компонентів (деталей або вузлів зборки).

При створенні сітки зборки з твердотільними елементами програма створює один з наступних типів елементів на основі активованих для дослідження параметрів створення сітки:

- сітка чорнової якості - автоматично створюється сітка на основі лінійних тетраедральних (багатокутних) твердотільних елементів;
- сітка високої якості - автоматично створюється сітка на основі параболічних тетраедральних твердотільних елементів.

Тетраедр – багатокутник, гранями якого є чотири трикутника.

Лінійні елементи також називаються елементами першого або нижчого порядку. Параболічні елементи також називаються елементами другого або вищого порядку.

Лінійний тетраедральний елемент являє собою чотири кутових вузла, з'єднаних шістьма прямими кромками (рис. 3.1 а). Параболічний тетраедральний елемент являє собою чотири кутових вузла, шість середніх вузлів і шість кромок (рис. 3.1 б).

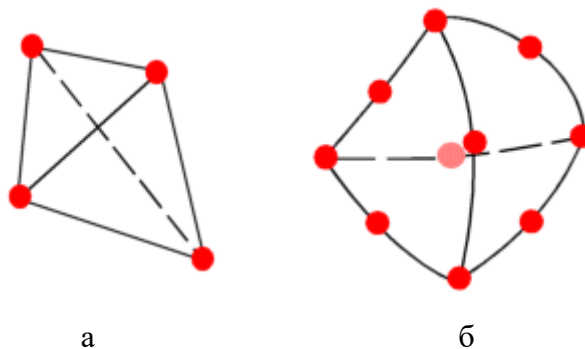


Рис. 3.1. Тетраедральні елементи

Загалом, при однаковій щільності (кількості елементів) сітки параболічні елементи дають кращі результати, ніж лінійні елементи, так як:

- вони представляють вигнуті границі більш точно;
- вони роблять найкращі математичні апроксимації (наближення). Однак, параболічні елементи вимагають більшу кількість обчислювальних ресурсів, ніж лінійні елементи.

Апроксимація - наближене вираження одних математичних об'єктів іншими, простішими. Наприклад, кривих ліній - ламаними.

Для структурних завдань кожен вузол в твердотільному елементі має три ступені свободи, які являють собою переміщення в трьох ортогональних напрямках. Програма використовує напрямки X, Y і Z глобальної декартової системи координат при постановці завдання.



Рис. 3.2. Модель зборки САПР

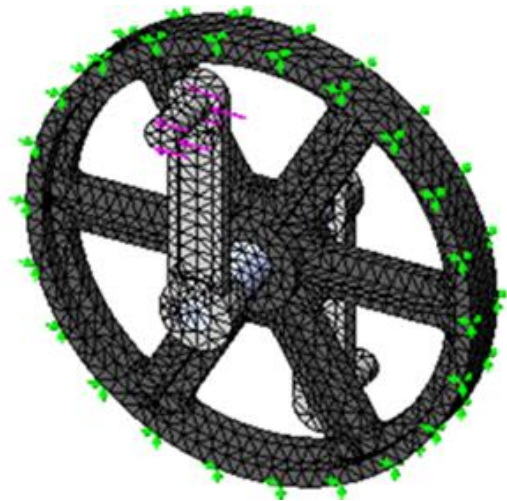


Рис. 3.3. Модель, сітка якої створена тетраедральними елементами

Порядок виконання роботи

Зборка створена в САПР Solidworks з ім'ям Crank.sldasm (файл знаходиться в папці C:\Program Files\Solidworks Corp\Solidworks\Simulation\Examples\).

Дослідження виконуємо в наступній послідовності:

1. Створення статичного дослідження:

1.1. Виберіть **нове дослідження**  (Simulation CommandManager).

1.2. У вікні PropertyManager в розділі **Ім'я** виберіть **Static-2**.

1.3. У вікні **Тип** натисніть **Статичний** .

1.4. Натисніть кнопку .

2. Призначення матеріалів.

Щоб призначити матеріали компонентам зборки:

2.1. У дереві дослідження Simulation розгорніть папку зборки де знаходяться чотири компоненти зборки.

2.2. Натисніть правою кнопкою миші на **CrankPulley-1** і оберіть **Застосувати/редагувати матеріал** .

2.3. В діалоговому вікні:

а. Розгорніть **Матеріали SolidWorks**.

б. Розгорніть **Залізо** і виберіть **Сірий чавун**.

2.4. Натисніть **Застосувати**.

Сірий чавун застосований до компонента **CrankPulley-1**.

2.5. Повторюйте вище зазначену процедуру для призначення наступних матеріалів інших компонентів зборки:

Компонент	Матеріал
-----------	----------

CrankArmAxle-1

Хромова нержавіюча сталь в папці **Сталь** з бібліотеки **Матеріалів SolidWorks**.

CrankArm-1 і CrankArm-2

Легована сталь в папці **Сталь** з бібліотеки **Матеріалів SolidWorks**.

3. Застосування фіксованих обмежень.

Зафіксуйте зовнішню поверхню шківів. Для цього необхідно:

3.1. В дереві дослідження Simulation натисніть правою кнопкою миші **Кріплення**  та виберіть **Зафіксована геометрія**.

З'явиться PropertyManager (Менеджер властивостей) **Кріплення**.

3.2. У графічній області виберіть зовнішню циліндричну поверхню шківів, показану на рис. 3.4.

Грань <1> з'явиться у вікні **Грані, Кромки, Вершини для Кріплення** .

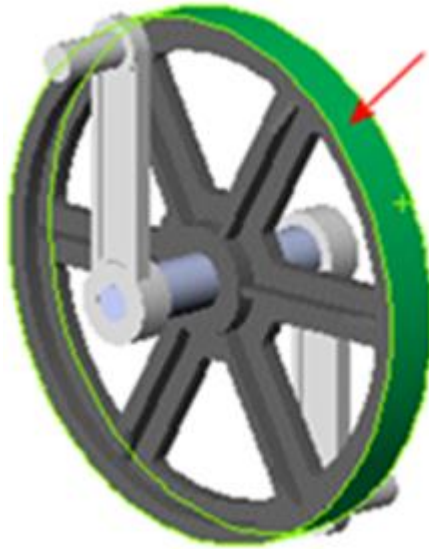


Рис. 3.4. Вибрана грань <1>

3.3. Натисніть кнопку .

4. Прикладення направленої сили.

Прикладіть силу 200 фунтів (890Н, 91 кгс) на поверхню передньої педалі. Для цього необхідно:

4.1. В дереві дослідження Simulation натисніть правою кнопкою миші на **Зовнішні навантаження**  і виберіть **Сила** .

З'явиться вікно PropertyManager **Сила/Крутний момент**.

4.2. На вкладці **Тип** в розділі **Сила/Крутний момент**:

а. Виберіть **Сила**.

б. Виберіть вікно **Грані, кромки, вершини та довідкові точки для сили** , потім виберіть поверхню верхньої шпильки CrankArm (плеча кривошипа), як показано на рис. 3.5.

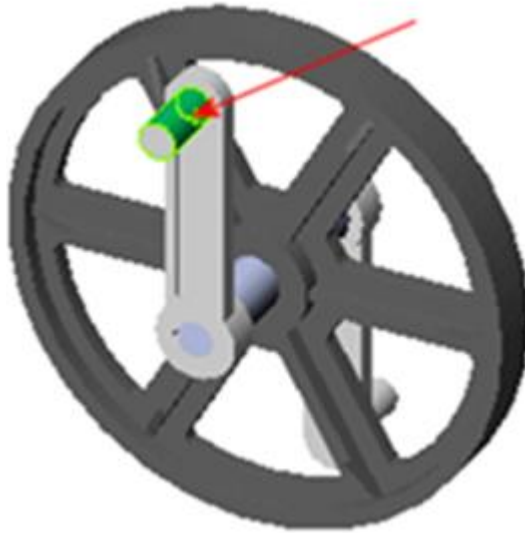


Рис. 3.5. Вибір поверхні верхньої шпильки

с. Виберіть **Обраний напрямок**.

d. Натисніть всередині вікна **Грань, кромка, площина, вісі для направлення** , потім виберіть **Площина1** зборки в плаваючому дереві конструювання.

4.3. У розділі **Одиниці виміру**  виберіть необхідні одиниці виміру.

4.4. В списку **Сила**:

a. Клацніть **Вздовж площини - напрямок 1** .

b. Введіть **890N** в якості величини сили.

с. Виберіть **Реверс напрямку**.

4.5. Натисніть кнопку .

Програмне забезпечення прикладає силу 890N на обрану поверхню, як показано на рис.

3.6.

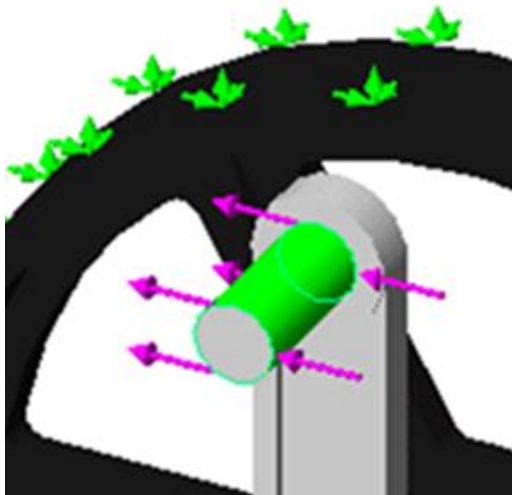


Рис. 3.6. Схема прикладання сили на обрану поверхню

5. Створення сітки зборки.

За замовчуванням програмне забезпечення припускає, що компоненти пов'язані в початкових зонах контакту. Тип контакту за замовчуванням з'явиться в папці **З'єднання**  в якості **Глобального контакту: Пов'язані**.

Щоб створити сітку зборки:

5.1. В дереві дослідження Simulation натисніть правою кнопкою миші значок **Сітка**  і виберіть **Створити сітку**.

5.2. У PropertyManager (Менеджері властивостей) встановіть необхідні параметри.

5.3. В розділі **Параметри** виберіть **Запуск (рішення) аналізу**.

5.4. Виберіть , щоб прийняти величини.

Запускається процес створення сітки. Після завершення створення сітки аналіз запускається автоматично (рис. 3.7).

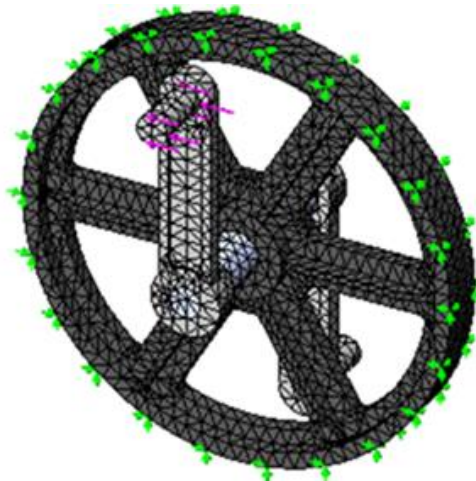


Рис. 3.7. Створена сітка зборки

6. Перегляд результатів.

Щоб переглянути напруги по Мізесу:

6.1. В дереві дослідження Simulation, натисніть правою кнопкою миші **Кріплення**  та виберіть **Сховати все**, щоб приховати позначення обмежень. Натисніть правою кнопкою миші **Зовнішні навантаження**  і виберіть **Приховати все**, щоб приховати позначення навантажень.

6.2. Відкрити папку **Результати** .

6.3. Двічі клацніть **Напруга (-von Mises-)** для відображення епюри. Якщо епюра не існує, створіть цю епюру.

6.4. Натисніть правою кнопкою миші значок епюри і виберіть **Редагувати визначення**.

6.5. У вікні PropertyManager в розділі **Відобразити** встановіть **Одиниці виміру**  на **Н/м²** і клацніть .

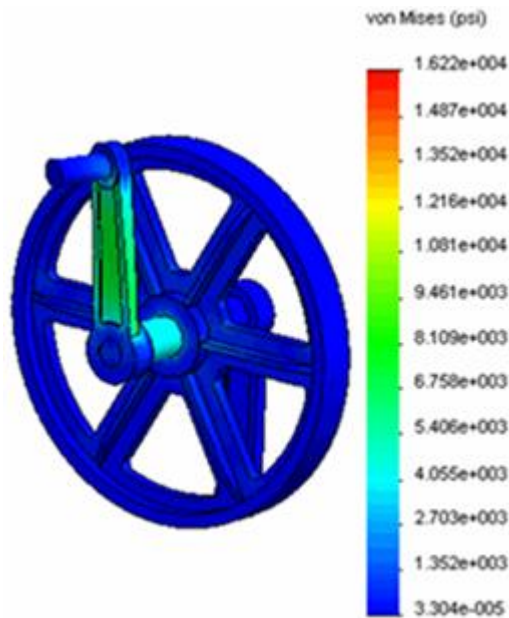


Рис. 3.8. Результат розрахунку напруг по Мізесу

7. Виключення компонента з аналізу.

Епюра напружень показує, що в деталі CrankPulley-1 низькі напруги. Далі виключіть деталь CrankPulley-1 з аналізу та перезапустіть дослідження.

Щоб виключити компонент CrankPulley:

7.1. Натисніть стрілку вниз поруч із кнопкою **Результати**  (Simulation CommandManager) і виберіть **Тільки модель (Без результатів)**.

7.2. У дереві дослідження Simulation правою кнопкою миші натисніть на **CrankPulley<1>** та виберіть **Виключити з аналізу**.

Зверніть увагу на попередження  в дереві дослідження Simulation.

7.3. У дереві дослідження Simulation натисніть правою кнопкою миші на значок дослідження та виберіть **Що невірно?**, щоб визначити причини відображення попереджень, виберіть **Закрити**.

Елемент **Fixed-1** відображений сірим кольором, тому необхідна грань елемента **CrankPulley** виключена з аналізу.

7.4. Натисніть правою кнопкою миші на **Fixed-1** і виберіть **Видалити**. Натисніть **Так** для підтвердження.

Попередження все ще існують, тому що сітка і епюри є застарілими.

7.5. В дереві конструювання FeatureManager правою кнопкою миші натисніть на **CrankPulley<1>** і виберіть **Приховати компоненти**.

Поточна зборка стане такою, як показано на рис. 3.9.



Рис. 3.9. Поточний вид зборки

8. Завдання обмежень новій моделі.

Обмежте одну поверхню компонента CrankArmAxle.

Щоб обмежити модель:

8.1. В дереві дослідження Simulation натисніть правою кнопкою миші **Кріплення** та виберіть **Зафіксована геометрія**.

З'явиться PropertyManager (Менеджер властивостей) **Кріплення**.

8.2. У графічній області виберіть поверхню, показану на рис. 3.10.

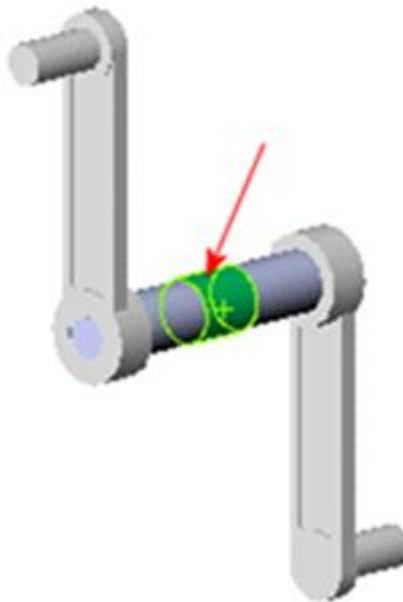


Рис. 3.10. Поверхня для кріплення

8.3. Натисніть кнопку .

9. Створення сітки нової моделі і запуск дослідження.

Оскільки форма моделі була змінена, необхідно повторно створити сітку моделі.

Перед створенням сітки моделі необхідно відмінити погашення контакту компонента, який був погашений при виключенні компонента **CrankPulley<1>**. Щоб скасувати погашення контакту, натисніть правою кнопкою миші на **Глобальний контакт (Зв'язаний)** і виберіть **Висвітлити**.

Щоб створити сітку моделі і запустити дослідження:

9.1. В дереві дослідження Simulation натисніть правою кнопкою миші значок **Сітка**  і виберіть **Створити сітку** .

З'явиться попередження про те, що створення сітки заново видалить існуючі результати.

9.2. Натисніть **ОК**.

З'явиться вікно PropertyManager **Сітка**.

9.3. У PropertyManager в розділі **Параметри** виберіть **Запуск (рішення) аналізу**.

9.4. Натисніть кнопку .

 Якщо ви хочете виконати точне порівняння результатів, використовуйте той же глобальний розмір, який ви використовували у попередньому розрахунку.

10. Перегляд результатів нової моделі.

Щоб переглянути напруги по Мізесу:

В дереві дослідження Simulation натисніть правою кнопкою миші **Напруга (-vonMises-)** в папці **Результати**  та виберіть **Показати**.

Відобразиться епюра напружень по Мізесу (рис. 3.11).

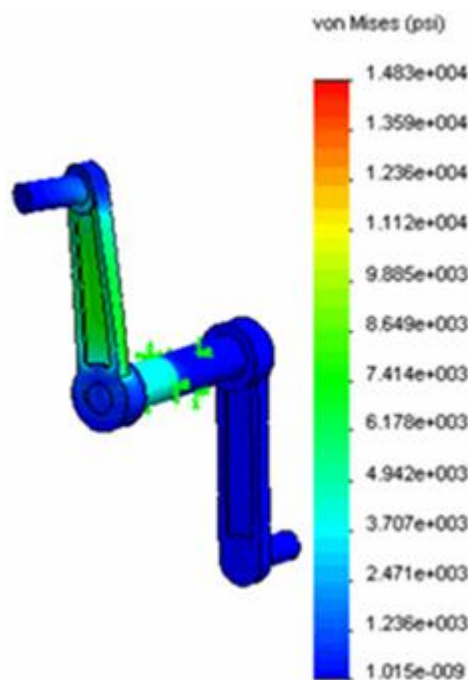


Рис. 3.11. Епюра напружень по Мізесу

Порівняння з попередніми результатами показує невеликі зміни.

11. Виведення списку сил реакції.

Ви отримаєте список сил реакції в моделі.

Для виведення списку сил реакції необхідно:

11.1. У дереві дослідження Simulation правою кнопкою миші клацніть на папку

Результати  та виберіть **Вивести результуючі сили** .

11.2. У вікні PropertyManager (Менеджер властивостей), в розділі **Вибір**:

a. Встановіть **Одиниці виміру**  (SI).

b. Виберіть показану нижче поверхню для **Грані, Кромки або Вершини** .

c. Натисніть **Оновити**.

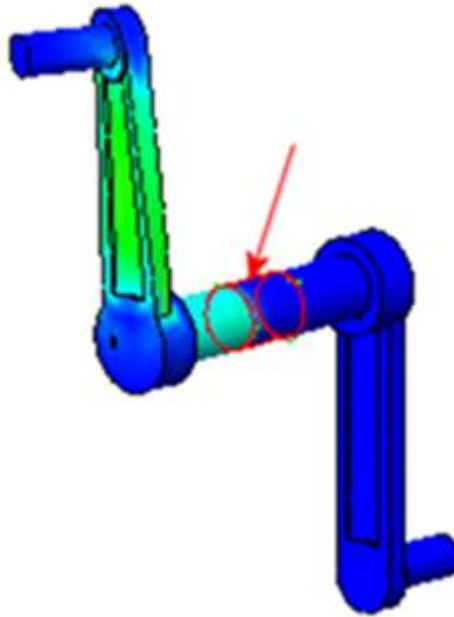


Рис. 3.12. Сили реакції

11.3. У вікні **Сила реакції** перегляньте сили реакції на обраній поверхні, а також у всій моделі.

У списку показано, що X-складова сила реакції є домінуючою і рівна за величиною і протилежна за знаком прикладеній силі (-890N).

11.4. Натисніть кнопку .

12. Налаштування відображення кольору епюри.

Налаштуйте відображення кольору епюри напруги. Для цього:

12.1. Натисніть правою кнопкою миші **Напруга (-vonMises-)** в папці **Результати**  та виберіть **Параметри графіка** або двічі клацніть по значку епюри.



Також можна двічі клацнути символи навантажень і обмежень, щоб отримати доступ в PropertyManager (Менеджер властивостей) до цих навантажень і обмежень.

12.2. У вікні PropertyManager (Менеджер властивостей), в розділі **Положення/Формат**  натисніть на вертикальний центр значка епюри на правій стороні вікна епюри. В якості альтернативи, можна перетягнути значок епюри в бажане місце.

12.3. У вікні **Параметри кольору**:

a. Виберіть **Визначаємі користувачем** у випадаючому меню.

b. Встановіть **Кількість кольорів графіка**:  на **3**.

c. Встановіть **Основний колір**  на **3**.

d. Натисніть на крайню праву палітру (перед білими полями), виберіть червоний з кольорової палітри та натисніть **ОК**.



Крайній правий колір використовується для найбільшого значення напруги.

12.4. Натисніть кнопку .

Епюра напружень (рис. 3.13) буде створена з новим відображенням кольору.

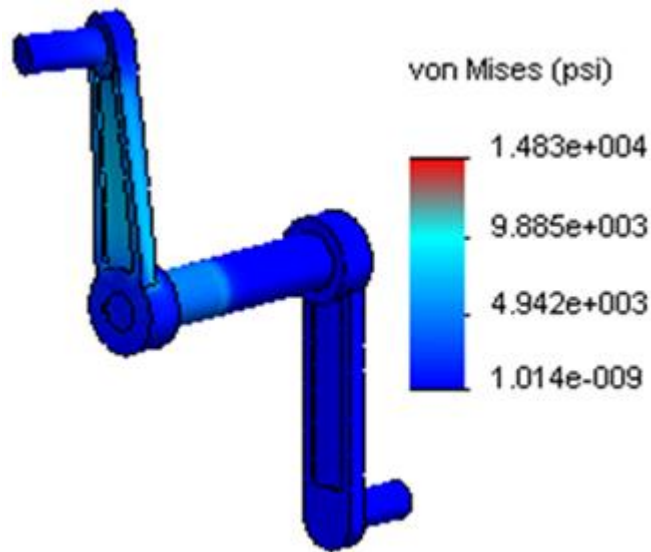


Рис. 3.13. Епюра напружень

13. Створення епюри напруги перерізу.

Для створення епюри напруги з кольором за замовчуванням:

13.1. В дереві дослідження Simulation натисніть правою кнопкою миші на папку **Результати**  та виберіть **Визначити епюру напруги** .

13.2. У вікні PropertyManager (Менеджер властивостей) у розділі **Відобразити**:

a. Виберіть **VON: напруга по Мізесу** в списку **Компонент** .

b. Виберіть **Н/м²** в меню **Одиниці виміру** .

13.3. Натисніть кнопку .

Зараз, ви створюєте епюру перерізу для епюри напруги по Мізесу.

Для створення епюри перерізу:

1. В дереві дослідження Simulation натисніть правою кнопкою миші **Напруга2 (-vonMises-)** в папці **Результати**  та виберіть **Обмеження перерізу** .

2. У плаваючому дереві конструювання FeatureManager натисніть **Площина3**:

Площина3 з'явиться у вікні вибору, у списку PropertyManager **Переріз 1**.

3. У розділі **Параметри**, зніміть прапорець **Відобразити площину перерізу**.

4. Натисніть кнопку .

Відобразиться наступна епюра напруги перерізу (рис.3.14).

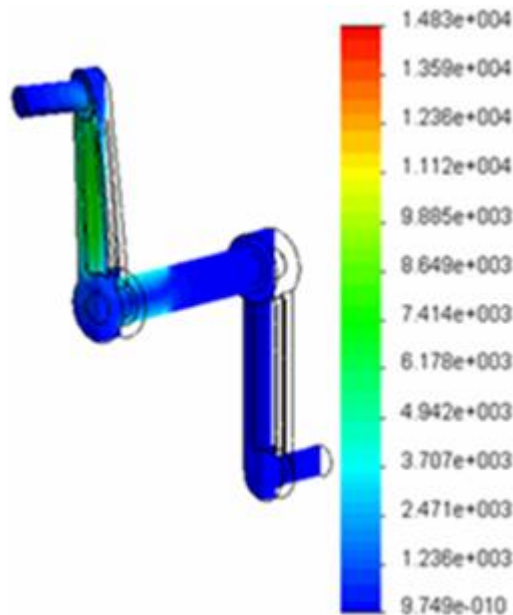


Рис. 3.14. Епюра напруги перерізу

14. Управління епюрою перерізу.

Управляти видом епюри перерізу можна через PropertyManager **Налаштування**.

Для управління епюрою перерізу:

14.1. В дереві дослідження Simulation натисніть правою кнопкою миші **Напруга2 (-vonMises-)** в папці **Результати**  та виберіть **Налаштування**.

14.2. У PropertyManager (Менеджері властивостей):, в списку **Параметри границі**, виберіть **Ні**.

14.3. У вікні **Параметри деформованої епюри**:

а. Виберіть **Помістити модель на деформовану форму**.

б. Переконайтеся, що вибрано **Напівпрозорий (один колір)** і перемістіть повзунок на середину шкали.

14.4. Натисніть кнопку .

Відобразиться наступна епюра перерізу (рис. 3.15).

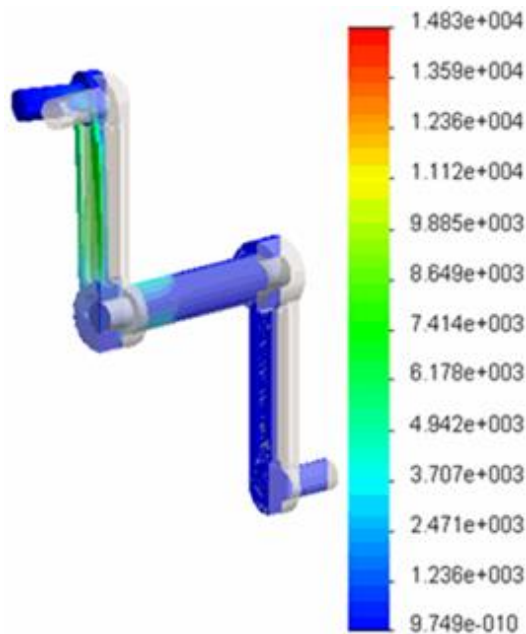


Рис. 3.15. Епюра перерізу

15. Зондування результуючих напружень на епюрі перерізу.

Використовуйте інструмент **Зонд**, щоб вивести список значень напруг в обраних місцях розташування на епюрі.

15.1. У дереві дослідження Simulation натисніть правою кнопкою миші на **Stress2 (-vonMises-)** і виберіть **Зонд**  або натисніть на **Інструменти епюри**  (Simulation CommandManager) і виберіть **Зонд** .

15.2. В графічній області кладніть по епюрі перерізу в різних місцях.

Значення напруг і координати x, y, z з'являться в PropertyManager в списку **Результати**.

15.3. В списку **Параметри звіту** натисніть **Епюра** .

Створюється епюра напруги по Мізесу щодо вибраних розташувань. На графіку не показані фактичні відстані між вузлами.

15.4. Закрийте вікно графіка.

15.5. Натисніть кнопку .

15.6. Збережіть вашу роботу і закрийте збірку.

Контрольні запитання:

1. До яких поверхонь в системі SolidWorks Simulation можна прикласти силу?
2. Для яких елементів збірки (деталі) можна задати крутний момент?
3. Що являє собою сітка збірки?
4. Які існують типи сіток?
5. Назвіть порядок проведення статичного аналізу збірки.

Лабораторна робота №4

Оптимізація форми за допомогою дослідження проектування в системі SolidWorks Simulation

Мета роботи: навчитися виконувати оптимізаційне дослідження проектування: призначати змінні обмеження і цілі; переглядати результати процесу оптимізації; створювати графіки локальної тенденції.

Короткі відомості

Оптимізаційні дослідження проектування автоматизують пошук оптимального проектування, яке засновується на геометричній моделі. Програма оснащена технологією для швидкого виявлення тенденцій і визначення оптимального рішення з використанням мінімальної кількості прогонів. Оптимізаційні дослідження проектування вимагають визначення наступного: мети, змінних та обмежень.

Спочатку необхідно визначити мету дослідження. Наприклад, мінімальна витрата матеріалу. Якщо не визначити мету, програма проводить дослідження проектування без оптимізації.

Далі потрібно задати змінні, тобто вибрати розміри, які можуть змінюватися і задати їх діапазони. Наприклад, товщина стінки може варіюватися від 10 мм до 25 мм.

Після цього задати обмеження, тобто задати умови, яким повинна відповідати оптимальна конструкція. Наприклад, напруження, відхилення, температури не повинні перевищувати певні значення, а власна частота повинна бути в зазначеному діапазоні.

Використовуючи дослідження проектування, можна вирішити широке коло проблем. Можна виконати наступне:

- визначити кілька змінних, використовуючи будь-який параметр моделювання або керуючі глобальні змінні;
- визначити множинні обмеження з використанням датчиків;
- визначити множинні цілі з використанням датчиків;
- виконати аналіз моделей без результатів моделювання, наприклад, можна звести до мінімуму масу деталі (зборки), в якості змінних використовуючи густину і розміри моделі, а як обмеження – об'єм;
- оцінити варіанти проектування, визначивши в якості змінної параметр, що задає тіла для використання різних матеріалів.

У дослідженні проектування є цілий ряд датчиків, які можна використовувати в дослідженнях проектування. Набір цих датчиків залежить від типу запускаемого дослідження: оціночного дослідження або дослідження оптимізації.

При оціночному дослідженні проектування необхідно вказати дискретні (переривчаті) значення для кожної змінної і використовувати датчики в якості обмежень. Програма запускає

дослідження з використанням різних комбінацій значень і виводить результати для кожної комбінації.

При дослідженні проектування з оптимізацією необхідно вказати значення для кожної змінної, або дискретної або з використанням діапазону. Використовуються датчики в якості обмежень або цілей. Програма запускає ітерації значень і виводить оптимальну комбінацію значень для вказаної мети.

В даній роботі розглядається консольний кронштейн, ліва грань якого зафіксована, і навантажена, як показано на рис. 4.1. Необхідно виконати оптимізацію для зміни розміру центрального вирізу. Мета - мінімізувати об'єм без перевищення максимальної напруги і значення деформацій. Також, найнижча власна частота повинна бути в межах встановленого діапазону.

Дослідження проектування дозволяє автоматизувати процес оптимізації, використовуючи параметричні і моделюючі функції програми, а також її здатності автоматичної регенерації.

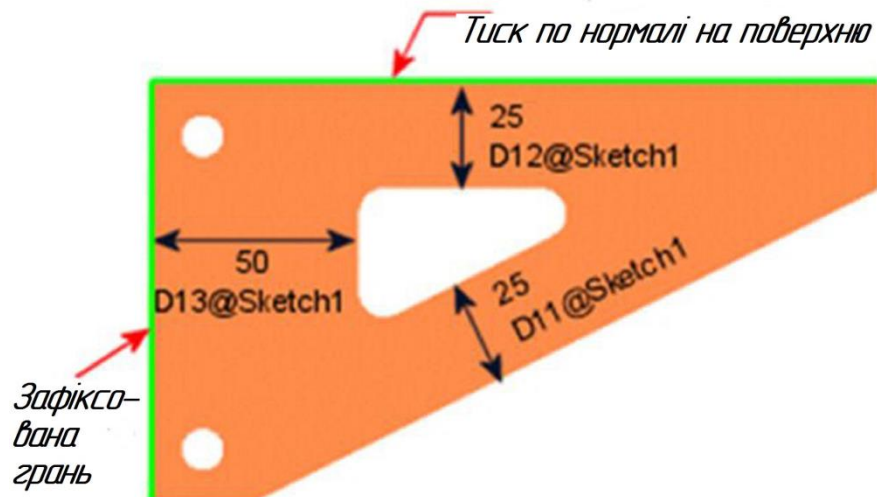


Рис. 4.1. Кронштейн для проведення оптимізації

Порядок виконання роботи

3D-модель деталі створена в САПР Solidworks з ім'ям Cantilever_Bracket.SLDPRT (файл знаходиться в папці C:\Program Files\Solidworks Corp\Solidworks\Simulation\Examples\Optimization\).

Дослідження виконуємо в наступній послідовності:

1. Запуск вихідних досліджень Simulation.

1.1. Створіть статичне дослідження і назвіть його **ReadyStatic**.

Воно включає матеріал з легованої сталі, тиск $5,6 \text{ Н/м}^2$, і обмеження **Фіксований**, як показано на рис. 4.2.

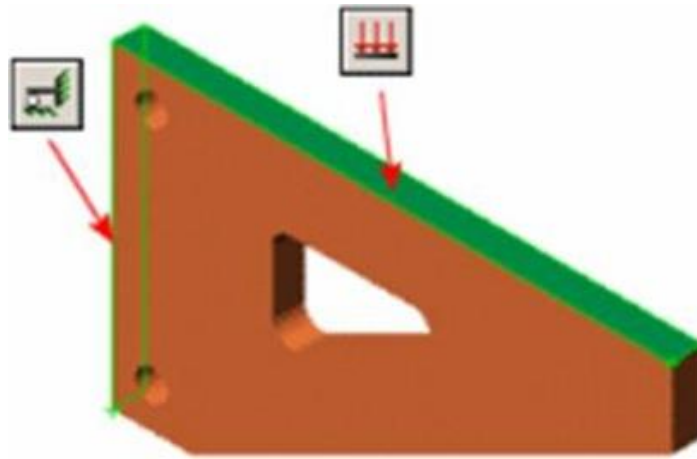


Рис. 4.2. Створення статичного дослідження

1.2. Створіть дослідження **Частота** і назвіть його **ReadyFrequency**. Воно включає матеріал з легированої сталі і обмеження **Фіксований**, як показано вище.

 **Оптимізаційні дослідження проектування** вимагають наявності вихідних досліджень, якщо датчики використовуються в якості обмежень або цілей. Необхідні вихідні дослідження залежать від обраних цілей і обмежень. Наприклад, для мінімізації значення резонансних частот необхідно визначити вихідне частотне дослідження.

1.3. Виберіть вкладку **ReadyStatic**, у дереві дослідження Simulation натисніть правою кнопкою миші на **ReadyStatic**  і виберіть **Запуск** .

1.4. В дереві конструювання **FeatureManager** виберіть **Sensors** і створіть датчики:

Volume1 - для відстеження об'єму: тип датчика «масові характеристики», властивості «об'єм»;

Stress1 - для відстеження напруг: тип датчика «дані моделювання», властивості «напруга», компонент «напруга по Мізесу», одиниці виміру - н/мм^2 , критерій - «Макс моделі»;

User - для відстеження переміщень: тип датчика «дані моделювання», властивості «переміщення», компонент «результуюче переміщення», одиниці виміру - мм, критерій - «Макс моделі»;

Frequency - для відстеження частоти: тип датчика «дані моделювання», властивості «частотний», одиниці виміру - Hz, критерій - «Макс моделі», форма коливань - «1».

Необхідно визначити датчики для їх використання в якості обмежень в **Дослідженні проектування**. Дослідження проектування (буде створено нижче) запускає відповідне вихідне дослідження **Simulation** для поновлення значення датчика. Наприклад, воно запускає частотне дослідження для відстеження значень резонансних частот.

2. Створення оптимізаційного дослідження проектування.

Для створення оптимізаційного дослідження проектування, необхідно:

2.1. Натисніть правою кнопкою миші на вкладку **ReadyFrequency** і виберіть **Створити нове дослідження проектування**.

💡 Також можна використовувати інші вкладки дослідження для створення Дослідження проектування.

2.2. Натисніть правою кнопкою миші вкладку Дослідження проектування та виберіть **Перейменувати**. Назвіть дослідження - **MinVolume (MinОб'єм)**.

2.3. На вкладці **MinVolume**, натисніть **Параметри дослідження проектування** .

2.4. У PropertyManager в розділі **Якість дослідження проектування** виберіть **Висока якість (повільніше)**.

💡 Програма знаходить оптимальне рішення, використовуючи безліч ітерацій і відображає вихідний сценарій, оптимальний сценарій і всі ітерації.

2.5. Натисніть кнопку .

3. Визначення параметрів.

Необхідно визначити розміри моделі, які можуть змінюватися як параметр. Необхідно визначити параметри, щоб використовувати їх в якості змінних для Дослідження проектування. Можна визначити будь-які параметри **Simulation** і керуючі глобальні змінні в якості змінних.

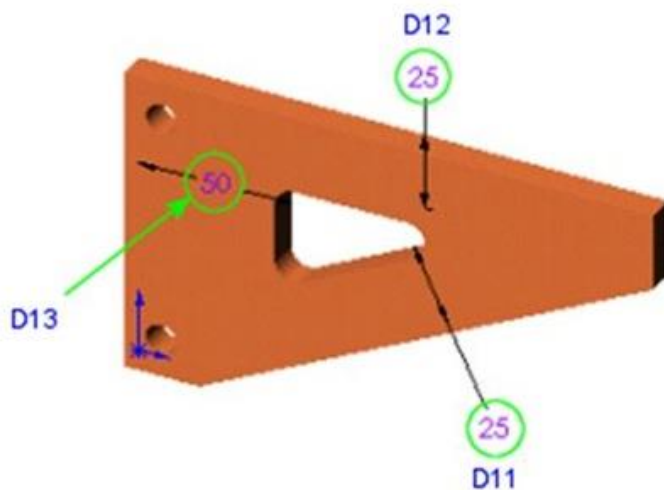


Рис. 4.3. Визначення параметрів

💡 Параметр, назовемо його **DV1**, визначений у файлі прикладу. Щоб слідувати нижченаведеній процедурі, видаліть попередньо визначений параметр у діалоговому вікні **Параметри**.

Щоб визначити параметр DV1:

3.1. На вкладці **Вид змінної** вкладки дослідження **MinVolume (MinОб'єм)** у розділі **Змінні** виберіть **Додати параметр**.

а. Відображається діалогове вікно **Додати параметри**.

3.2. У діалоговому вікні **Додати параметри** в полі **Ім'я** введіть **DV1**.

3.3. Встановіть **Фільтр** на **Розміри моделі**.

3.4. У графічній області виберіть розмір **D11**, показаний на рис. 4.3.

3.5. Натисніть кнопку **ОК**, щоб закрити діалогове вікно **Додати параметри**.

а. **DV1** з'явиться у вікні списку **Параметри**.

3.6. Клацніть **ОК**, щоб закрити діалогове вікно **Параметри**.

Параметри **DV2** і **DV3** визначені в файлах прикладів з використанням схожої процедури.

4. Визначення змінних.

Визначте три параметри - **DV1**, **DV2** і **DV3** в якості змінних.

4.1. На вкладці **Вид змінної** вкладки дослідження **MinVolume (МінОб'єм)** у розділі **Змінні** виберіть **DV1** (D11@Sketch1 в ескізі).

а. Обрана змінна відобразиться в розділі **Змінні**.

4.2. Для змінної **DV1** виберіть **Діапазон**.

а.  Програма визначає параметр як безперервну змінну для оптимізації. Безперервна змінна - це змінна, яка може приймати будь-яке значення всередині меж. Наприклад, 14,1567 мм є припустимим значенням між мінімальним значенням 10 мм і максимальним значенням 25 мм.

4.3. У полі **Мін** введіть **10 мм** і в полі **Макс** - **25 мм**.

а. Програма варіює розміри моделі між 10 мм і 25 мм для знаходження оптимального значення для змінної.

4.4. Повторіть кроки 4.1-4.3 для додавання параметра **DV2** (D12@Sketch1 в ескізі) в якості змінної. Використовуйте ті ж мінімальні і максимальні значення, як для **DV1**.

4.5. Повторіть кроки 4.1-4.3 для додавання параметра **DV3** (D13@Sketch1 в ескізі) в якості змінної. Введіть 20 і 50 для параметрів **Мін** і **Макс**, відповідно.

Розділ **Змінні** містить три змінних проекту.

5. Визначення датчика за допомогою Дослідження проектування.

Необхідно визначити датчики для їх використання в якості обмежень в **Дослідженні проектування**. Дослідження проектування запускає відповідне вихідне дослідження Simulation для поновлення значення датчика. Наприклад, воно запускає частотне дослідження для відстеження значень резонансних частот.

Визначте датчик для відстеження напруги по Мізесу:

5.1. На вкладці **Вид змінної** вкладки дослідження **MinVolume (МінОб'єм)** у розділі **Обмеження** виберіть **Додати датчик**.

5.2. У вікні PropertyManager в розділі Тип датчика  , виберіть **Дані моделювання**.

5.3. У розділі **Дані кількісної величини** в поле Результати  виберіть **Напруга**.

5.4. У компоненті  виберіть **VON: напруга по Мізесу**.

5.5. У розділі Властивості в поле Одиниці виміру  виберіть Н/мм² (МПа).

5.6. У розділі **Критерій**  виберіть **Макс моделі** та натисніть на .

5.7. У дереві конструювання FeatureManager  розділі **Датчики**  назвіть датчик **Мізес**.

Перегляньте датчики **URES, Frequency, Volume1 і Stress1** які відстежують **результуюче переміщення, найнижчу власну частоту і Об'єм кронштейна**.

Аналогічно, можна створити будь-які датчики.

6. Визначення обмеження напруги по Мізесу.

Обмеження застосовується до максимального напруження по Мізесу, яке не повинно перевищувати значення 300 МПа. Для визначення обмежень у дослідженні проектування «оптимізація» можна використовувати будь-який датчик або будь-яку керовану глобальну змінну.

6.1. На вкладці дослідження проектування **MinVolume**, в розділі **Обмеження**, виберіть значення **Напруга 1**.

У розділі **Обмеження** відобразиться відповідний датчик.

6.2. У полі **Напруга по Мізесу** виберіть значення **Менше, ніж**.

6.3. У полі **Макс.** введіть 300 Н/мм².

Програма автоматично вибирає дослідження **ReadyStatic**, що використовується для запуску і відстеження значення датчика, оскільки визначено тільки одне статичне дослідження.

7. Визначення обмеження на деформацію.

Максимальна результуюча деформація не повинна перевищувати 0,21 мм.

7.1. На вкладці Дослідження проектування **MinVolume** в розділі **Обмеження** в списку виберіть **URES**.

а. Датчик відобразиться в розділі **Обмеження**. Цей заздалегідь визначених датчик відстежує значення результуючого переміщення.

7.2. У полі **URES** виберіть значення **Менше, ніж**.

7.3. У полі **Макс** введіть значення **0,21** мм.

Програма автоматично вибере дослідження **ReadyStatic** для запуску і відстежить значення датчика.

8. Визначення обмеження на частоту.

Найнижча власна частота повинна бути в діапазоні від 260 Гц до 400 Гц.

8.1. На вкладці Дослідження проектування **MinVolume** в розділі **Обмеження** в списку виберіть **Частота**.

а. Датчик відобразиться в розділі **Обмеження**. Цей датчик відстежує значення найнижчої власної частоти.

8.2. Для параметра **Частота** виберіть значення **У діапазоні**.

8.3. В параметрі **Мін** введіть **260** Гц, а в параметрі **Макс** - **400** Гц.

Програма автоматично вибере дослідження **ReadyFrequency** для запуску і відстежить значення датчика. Ви визначили три обмеження.

9. Визначення мети.

Метою цього оптимізаційного дослідження проектування є мінімізація об'єму деталі.

9.1. На вкладці Дослідження проектування **MinVolume** в розділі **Цілі** в списку виберіть датчик **Volume1**. Датчик відобразиться в розділі **Цілі**.

9.2. У полі **Volume1** виберіть **Мінімізувати**.



Можна також визначити кілька цілей в оптимізаційних дослідженні проектування. Можна присвоїти значимість кожній з цілей. Чим вище значимість мети, тим більш важливо оптимізувати цю мету. Програма змінює кінцеву значимість мети наступним чином: (введена Вами значимість мети)/(сума значимостей введених Вами цілей).

10. Запуск оптимізаційного дослідження проектування.

На вкладці Дослідження проектування **MinVolume** виберіть **Запуск**.

Програма виконує 13 ітерацій (включаючи вихідний і оптимальний сценарії) після визначення дослідження **Високої якості** та трьох розрахункових змінних. Після виконання експериментів програма розраховує оптимальні розрахункові параметри шляхом створення функції відгуку, що стосується мети змінних.

11. Перегляд результатів.

На вкладці **Перегляд результатів** дослідження проектування **MinVolume** виконайте такі дії.

11.1. Виберіть стовпчик **Початкове**.

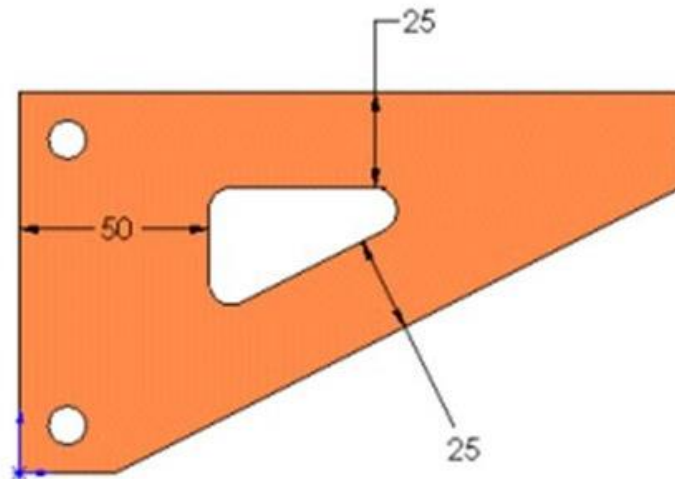


Рис. 4.4. Початкові параметри моделі

У графічному вікні до моделі будуть застосовані початкові розміри.

11.2. Погляньте на стовпчик **Повтор 4** (рис. 4.5). Цей стовпчик виділений червоним кольором, оскільки порушені обмеження, що стосуються напруги по Мізесу і переміщення.

	Iteration 4
DV1	10mm
DV2	10mm
DV3	35mm
Stress1	692.98 N/mm ²
Displacement1	0.81315mm
Frequency1	315.76682 Hz
Volume1	64022.28483mm ³

Рис. 4.5. Стовпчик Повтор 4

💡 Можна вибрати будь-який повтор і переглянути відповідний проект в графічному вікні.

11.3. Погляньте на стовпчик **Оптимальне** (рис. 4.6). Цей стовпчик виділений зеленим кольором, оскільки оптимізація виконана успішно.

	Optimal
DV1	10.15358mm
DV2	21.91673mm
DV3	20.22934mm
Stress1	265 N/mm ²
Displacement1	0.20565mm
Frequency1	275.0127 Hz
Volume1	70744.73193mm ³

Рис. 4.6. Стовпчик Оптимальне

11.4. Виберіть стовпчик **Оптимальне**.

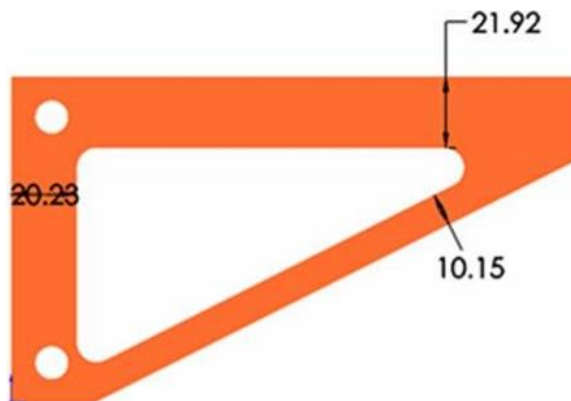


Рис. 4.7. Оптимальні параметри моделі

У графічному вікні до моделі будуть застосовані оптимальні розміри.

12. Графік локальної тенденції.

Можна створити графіки локальної тенденції для перегляду варіацій обмеження або цілі та розрахункового параметра.

12.1. У лівій рамці вкладки Дослідження проектування натисніть правою кнопкою миші на папку **Результати та графіки**  і виберіть **Визначити графік локальної тенденції**.

Примітка: Не допускається створення графіка локальної тенденції для оптимізаційного дослідження проектування з безперервними змінними.

12.2. У вікні PropertyManager в розділі **Вісь X** виберіть **DV2**.

12.3. У PropertyManager в розділі **Вісь Y** виберіть **Обмеження** і в **Обмеженнях** виберіть **По Мізесу**.

12.4. У розділі **Графік локальної тенденції** виберіть **Оптимальний**.

Програма створює графік (рис. 4.8) варіації максимального напруження по Мізесу в порівнянні з розрахунковою змінною **DV2**. Тенденція відображається з двома іншими розрахунковими параметрами, встановленими на оптимальні значення, як показано в стовпці **Оптимальний**. Одиниці виміру - МПа і мм для вісей Y і X, відповідно.

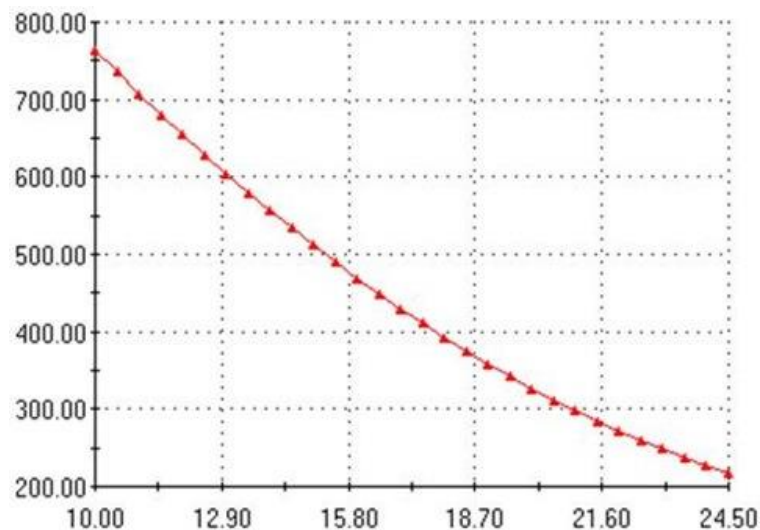


Рис. 4.8. Графік локальної тенденції

12.5. Закрийте графік.

13. Оптимізація дискретних змінних.

Для цілей виробництва при визначенні безперервних розрахункових параметрів слід округлити до найближчого числа, яке може бути виміряна з точністю процесу виготовлення.

Для остаточних креслень округлити розрахункові параметри, перебудувати модель, створити сітку і запустити статичне дослідження.

В якості альтернативи можна використовувати дискретні значення для змінних, які повинні відповідати стандартам процесу виготовлення, і виконати оптимізацію.

Контрольні запитання:

1. Що розуміють під оптимізаційним дослідженням проектування?
2. Які існують критерії оптимізаційного дослідження проектування?

3. Які задачі можна вирішити за допомогою дослідження проектування?
4. Які типи досліджень проектування Ви знаєте?
5. Які датчики використовувались в якості вихідних? Яке їх призначення?
6. Назвіть порядок проведення оптимізації форми за допомогою дослідження проектування в системі SolidWorks Simulation.
7. Як створити графік локальної тенденції в системі SolidWorks Simulation.

Лабораторна робота №5

SolidWorks Motion. Дослідження руху складальної одиниці

Мета роботи: навчитися створювати дослідження SolidWorks Motion для моделей з пружинами і двигунами; створювати епюри результатів; дублювати дослідження руху за допомогою змінених параметрів моделювання; використовувати результати для зміни проекту моделі.

Короткі відомості

Для розрахунків руху компонента в Solidworks Motion застосовується повне кінематичне моделювання. Програму Solidworks Motion можна використовувати для обчислення сил у моделях із пружинами, демпферами, двигунами та фрикційними муфтами.

Дослідження руху є графічним моделюванням руху моделей зборки. У дослідженні руху можна включити властивості видимості (такі як висвітлення й перспектива камери).

Дослідження руху не змінюють модель зборки або її властивості. Вони моделюють і анімують рух, зазначений для моделі. Можна використовувати спраження Solidworks для обмеження руху компонентів у збірці при моделюванні руху моделі.

При виконанні дослідження руху можна використовувати MotionManager, інтерфейс на базі тимчасової шкали, який включає такі інструменти дослідження руху: **анімація, базовий рух, аналіз руху**.

Функцію **Анімація** можна використовувати для анімації руху зборок (можна додати двигуни, щоб створювати рух для однієї або декількох деталей у збірці; призначити позиції для компонентів зборки в різні моменти часу, використовуючи ключові положення). При анімації використовується інтерполяція для визначення руху компонентів зборки між ключовими положеннями.

Базовий рух можна використовувати для створення приблизних ефектів двигунів, пружин, контактів і сили ваги в збірках. Basic Motion враховує масу при розрахунках руху. Basic Motion розраховується досить швидко, щоб ця функціональність могла використовуватися для створення презентаційних анімацій на основі фізичного моделювання.

Аналіз руху можна використовувати для точного моделювання та аналізу ефектів руху елементів (включаючи сили, пружини, демпфери й тертя) у збірці. Аналіз руху використовує потужні програми кінематичних розрахунків і враховує в розрахунках властивості матеріалів, а також масу та інерцію. Також можна використовувати Аналіз руху для створення епюри результатів моделювання для подальшого аналізу.

Порядок виконання роботи

1. Відкриття моделі та дослідження руху.

1.1. Виберіть **Інструменти, Додатки**.

1.2. Виберіть **Solidworks Motion** і натисніть **OK**.

1.3. Відкрийте файл прикладу зборки з ім'ям Valve_Cam.sldasm (файл знаходиться в папці C:\Program Files\Solidworks Corp\Solidworks\samples\tutorial\motionstudies\).

У нижній лівій частині графічної області відобразяться дві вкладки. Вкладка з назвою **1200** містить дослідження руху. Можна запустити дослідження руху із вкладки дослідження руху, продублювати дослідження руху або створити нове дослідження руху.



Якщо вкладку **1200** не видно, виберіть **Вид, Motionmanager**.

1.4. Виберіть вкладку **1200** (рис. 5.1).

Motionmanager відобразиться під графічною областю.

1.5. Виберіть **Аналіз руху** в списку **Тип дослідження**.

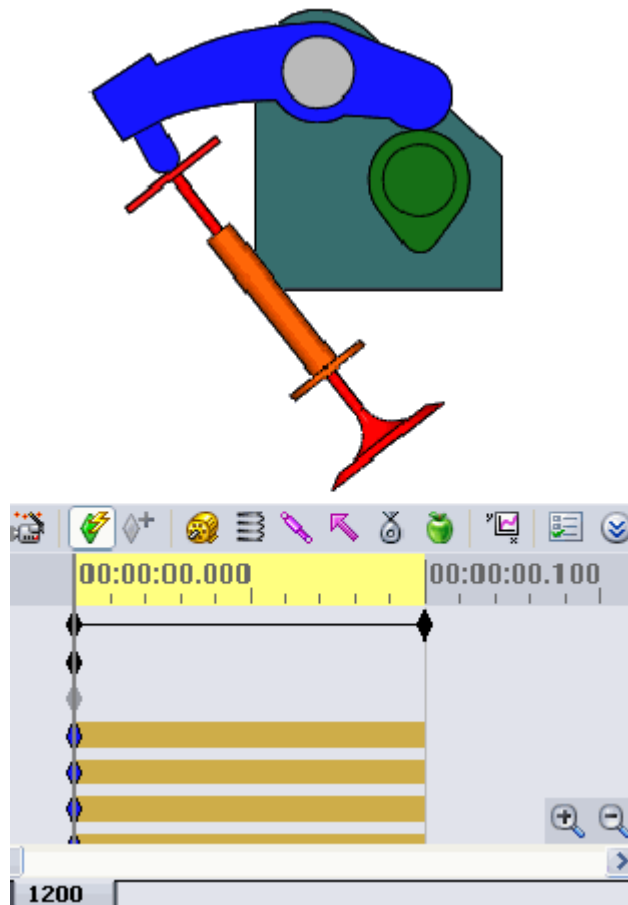


Рис. 5.1. Вкладка 1200

2. Розрахунок руху.

Можна розрахувати рух у збірці залежно від обраного типу дослідження.

Натисніть **Обчислити**  (панель інструментів Motionmanager), щоб запустити моделювання Motion Analysis.

3. Відображення контактуючих граней.

Після розрахунків руху можна створити епюру результатів. Перед цим можна обертати модель для відображення точок контакту. Це спрощує процес вибору контактуючих граней для створення епюри сил, що діють на них.

3.1. Виберіть **Обертати вид**  і поверніть модель (рис. 5.2) для відображення контакту між стержнем кулачка та гранями шатуна.

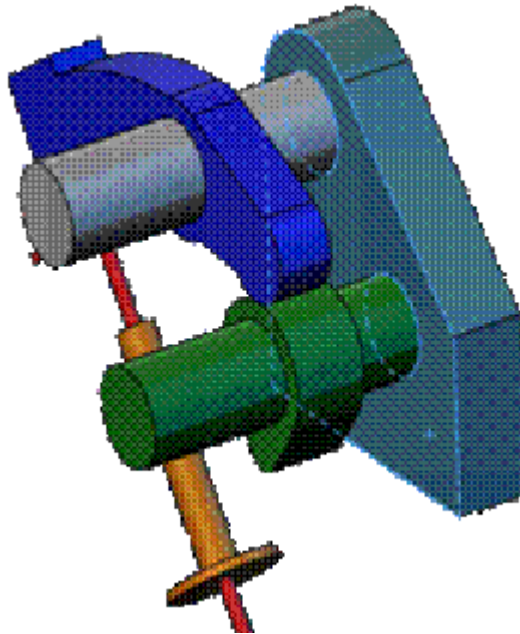


Рис. 5.2. Обертання моделі

3.2. Виберіть **Обертати вид**  ще раз, щоб припинити обертання моделі.

4. Створення епюри сил контакту в Дослідженні руху.

Можна вибрати точки контакту на моделі та створити епюру різних результатів моделювання руху. У даній роботі необхідно створити епюру сил контакту між стержнем кулачка і шатуном.

4.1. Виберіть **Результати та епюри**  (панель інструментів Motionmanager).

Відобразиться вікно **Propertymanager Результати**.

4.2. У вікні Propertymanager **Результати** виберіть:

- а. **Сили** як Категорії.
- б. **Сила контакту** в полі Підкатегорія.
- с. **Величина** в полі Результируючий компонент.

4.3. Виберіть контактуючі компоненти:

- а. Натисніть в полі **Вибір компонентів**  (Propertymanager Результати):
- б. Виберіть грань на шатуні і грань на стержні кулачка, де відбувається контакт (рис. 5.3) (графічна область).

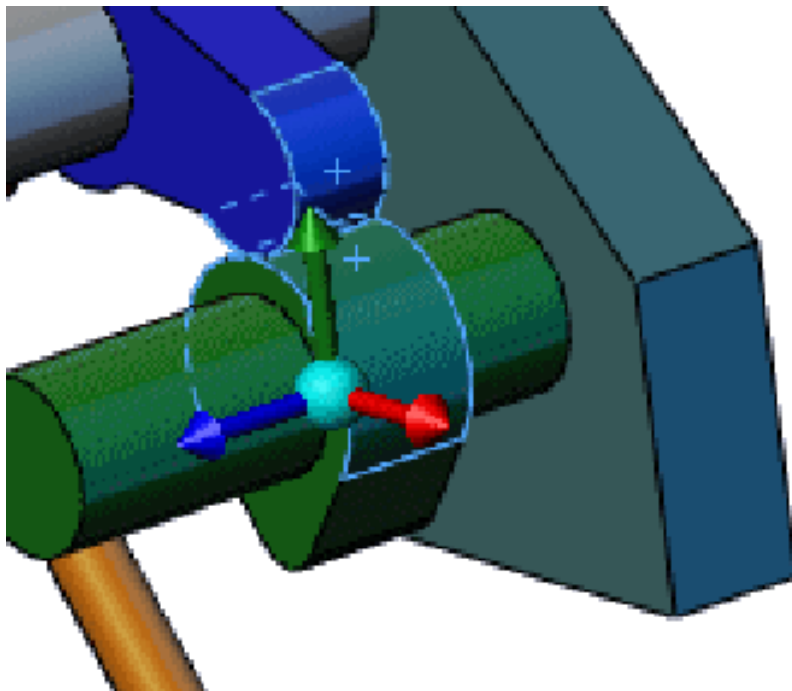


Рис. 5.3. Вибір області контакту шатуна і стержня

4.4. Натисніть .

У графічній області відобразиться епюра (рис. 5.4), і папка **Результати** додається в дерево конструювання Motionmanager.

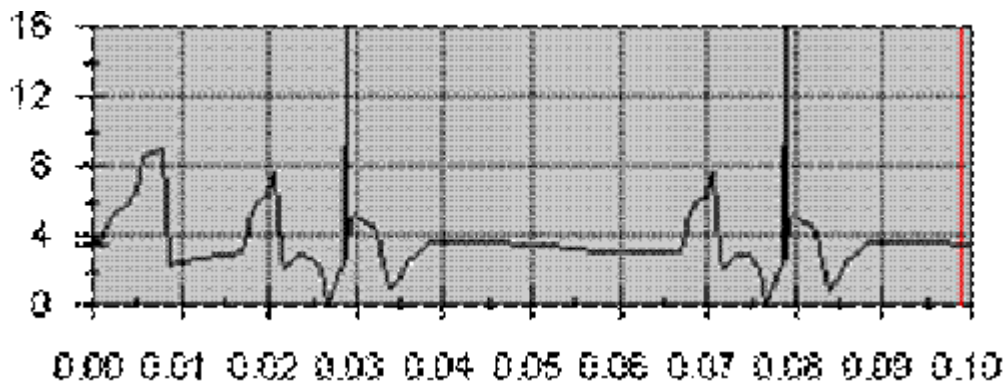


Рис. 5.4. Епюра величини сили контакту між шатуном і стержем кулачка (Н) на час (с)

5. Дублювання дослідження руху.

Можна аналізувати результати збільшення швидкості двигуна шляхом створення дослідження руху, подібного до щойно створеного, але зі зміненими параметрами моделювання.

5.1. Натисніть правою кнопкою миші на вкладку **1200** у лівій нижній частині графічного вікна і виберіть **Дублювати**.

5.2. Натисніть правою кнопкою миші на вкладку нового **Дослідження руху** та виберіть **Перейменувати**.

5.3. Привласніть новій вкладці ім'я **2000**.

6. Зміна налаштувань двигуна.

6.1. Якщо необхідно, перемістіть шкалу часу на відмітку 0.0 секунд.

6.2. Натисніть правою кнопкою миші на **Rotarymotor2 (Обертовий двигун2)** у дереві конструювання Motionmanager і виберіть параметр **Редагувати елемент**.

6.3. У вікні **Двигун Propertymanager (Менеджера властивостей)** у розділі **Рух** змініть швидкість двигуна  на **2000 об/хв**.

6.4. Натисніть кнопку .

7. Повторний розрахунок руху та результатів.

7.1. Виберіть **Збільшити вид**  (нижній правий кут Motionmanager) кілька раз, щоб збільшити вид тимчасової шкали.

7.2. Натисніть на кнопку **Обчислити**  (панель інструментів Motionmanager).

Моделювання розраховується для швидкості двигуна 2000 об/хв.

7.3. Епюра результату, створена для дослідження руху 1200, оновлена для дублюючого дослідження (рис. 5.5).

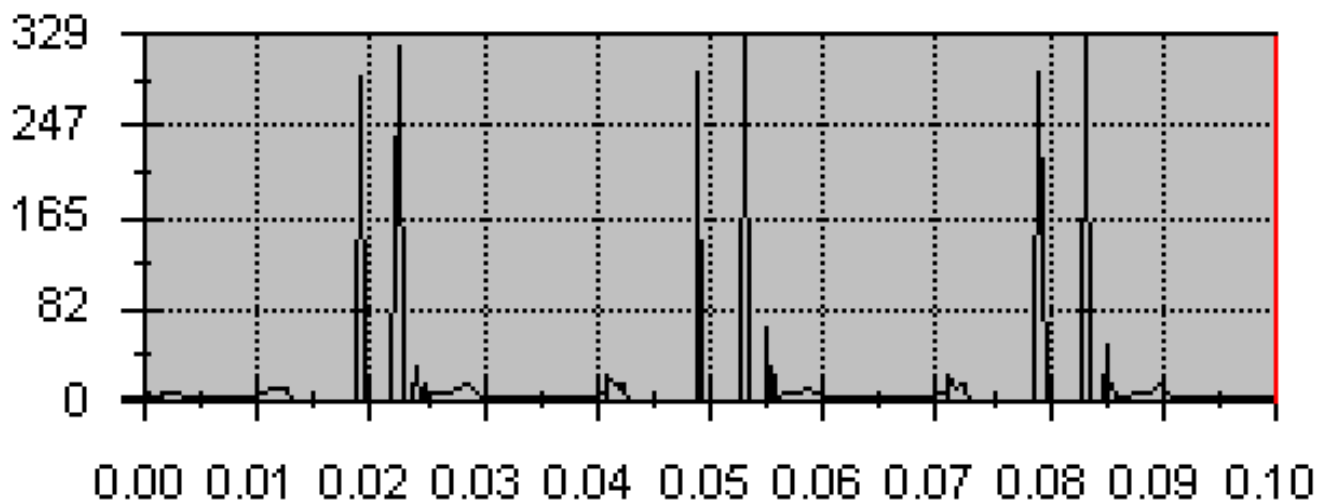


Рис. 5.5. Оновлена епюра величини сили контакту між шатуном і стержнем кулачка (H) на час (с)

Якщо сила контакту за певний час рівна нулю, епюра сигналізує, що пружина недостатньо міцна для підтримки більш високої швидкості руху (об/хв.).

Під час дослідження руху балансир втрачає контакт із кулачковим валом (рис. 5.6).

Двигун працює занадто швидко. Можна змінити пружину для контролю над двигуном.



Не закривайте епюру під час виконання наступних кроків.

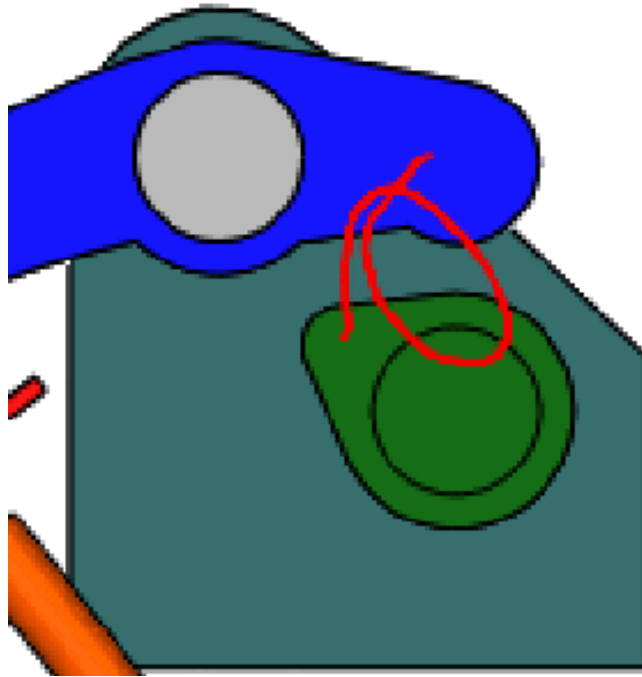


Рис. 5.6. Втрата контакту балансиру із кулачковим валом

8. Зміна пружини.

8.1. Натисніть правою кнопкою миші на **Linearspring2 (Лінійна пружина2)** (дерево конструювання Motionmanager) і виберіть **Редагувати елемент**.

8.2. Змініть **Коефіцієнт пружності пружини k** на **10,00 Н/мм**.

8.3. Натисніть **✓**.

8.4. Натисніть **Обчислити** .

8.5. Епюра сил контакту автоматично оновиться (рис. 5.7).

 Щоб відкрити епюру після її закриття, розгорніть папку **Результати** (дерево конструювання Motionmanager), натисніть правою кнопкою миші на епюрі та виберіть **Відобразити епюру**.

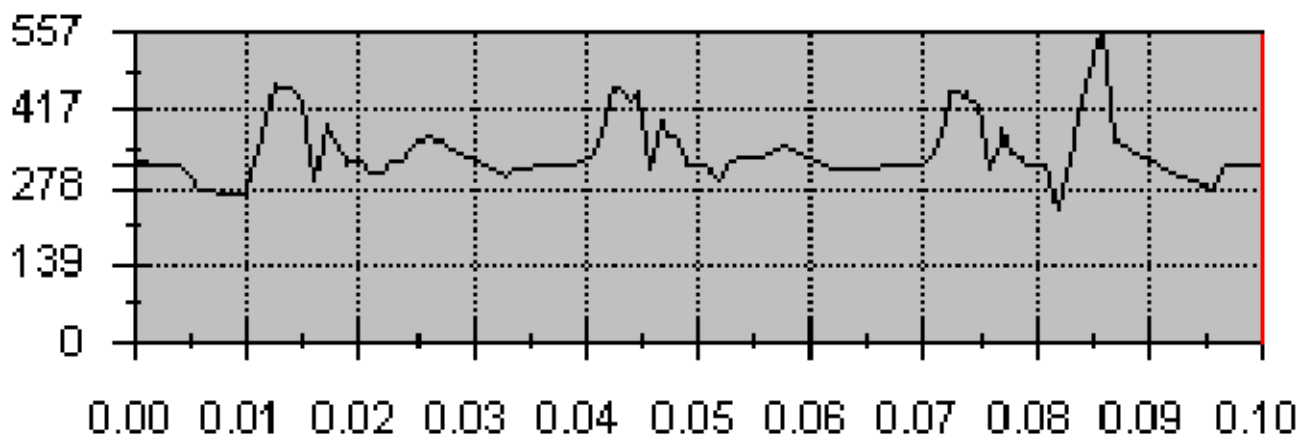


Рис. 5.7. Епюра величини сили контакту між шатуном і стержнем кулачка (Н) на час (с)

По епюрі швидкості та сили контакту можна визначити, чи контактує балансир з

кулачковим валом (рис. 5.8).

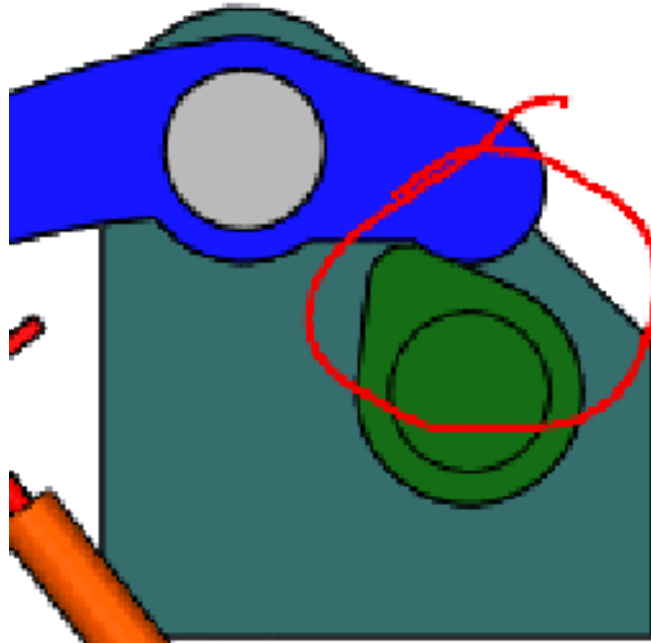


Рис. 5.8. Наявність контакту балансиру із кулачковим валом

8.6. Збережіть роботу і закрийте збірку.

Контрольні запитання:

1. Що розуміють під дослідженням руху?
2. Яку функцію виконує дослідження руху?
3. Що являє собою MotionManager?
4. Яке призначення функції анімація?
5. Яке призначення функції базовий рух?
6. Яке призначення функції аналіз руху?
7. Назвіть порядок проведення дослідження руху складальної одиниці в системі SolidWorks Motion.
8. З якою метою застосовують дублювання дослідження руху?
9. Назвіть порядок проведення дубльованого дослідження руху.

Лабораторна робота №6

Створення анімації роботи механізму та дослідження його руху

Мета роботи: Навчитися створювати анімацію роботи механізму та дослідження його руху в системі SolidWorks.

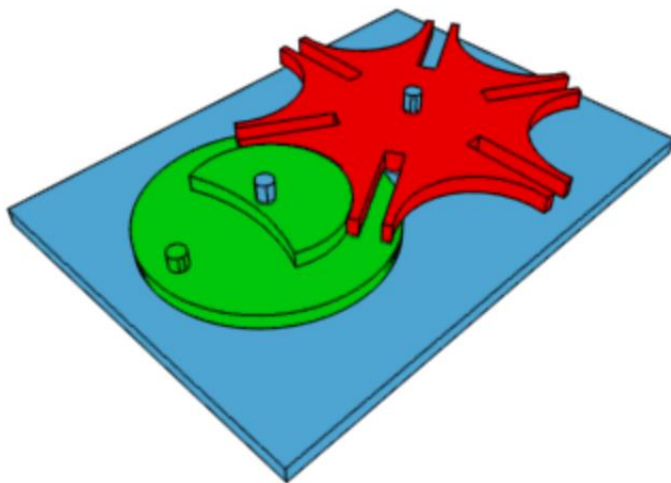
Короткі відомості

Анімація - це дослідження руху, яке моделює зміни положення й зовнішнього вигляду компонента в часі. Дослідження анімації можна створити для відображення рухів деталей у механізмі.

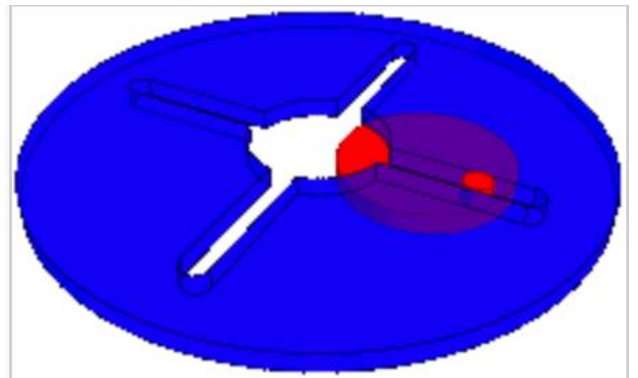
В даній роботі розглядається створення анімації роботи мальтійського механізму та дослідження його руху.

Мальтійський механізм - механізм *переривчастого руху*, що перетворює рівномірний обертний рух у переривчастий обертний рух.

Мальтійські механізми бувають із *зовнішнім* і *внутрішнім* зачепленням (рис. 6.1), і, як правило, із числом пазів від 3 до 12.



а.



б.

Рис. 6.1. Мальтійський механізм із:

а - зовнішнім зачепленням; б- внутрішнім зачепленням

Основне застосування механізм одержав у кінопроекторах у якості стрибкоподібного механізму для переривчастого переміщення кіноплівки на крок кадру. Механізм перетворює рівномірне обертання привідного вала в стрибкоподібне обертання веденого, на якому закріплений стрибкоподібний барабан, який безпосередньо здійснює переривчасте переміщення кіноплівки.

Різновид механізму з одним закритим пазом застосовувався у швейцарському годиннику для запобігання переазаведення (звідси англійське *Genevadrive*).

Назва «мальтійський механізм» походить від зовнішньої подібності веденої ланки пристрою з мальтійським хрестом ✱.

Порядок виконання роботи

1. Створення складання мальтійського механізму

1.1. Створення привідної деталі (поводок).

Засобами системи **SolidWorks** створіть ескіз 1в площині «Спереду» згідно рис. 6.2. і витягніть його на 10 мм.

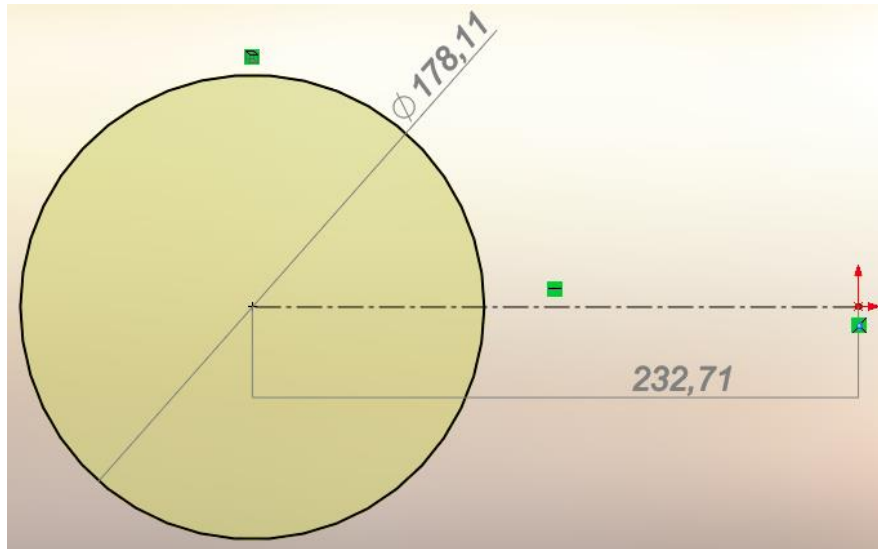


Рис. 6.2. Ескіз 1

На зворотній стороні деталі створіть ескіз 2 згідно рис. 6.3 і витягніть його на 20 мм.

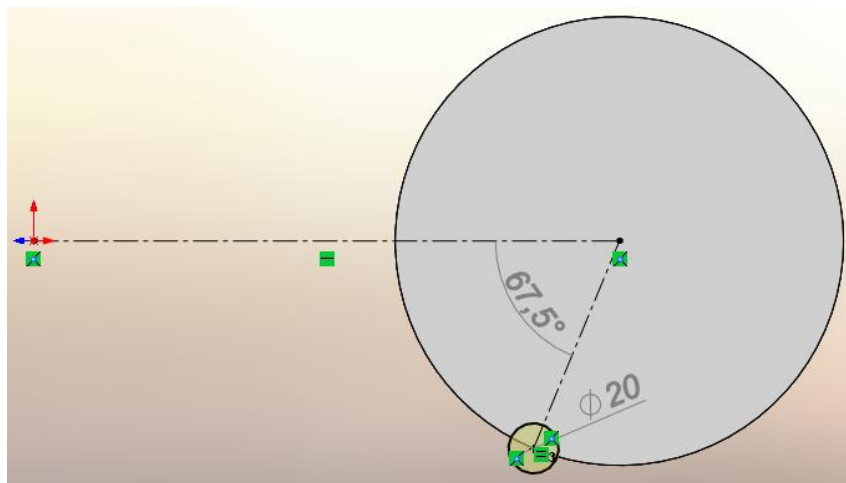


Рис. 6.3. Ескіз 2

На зворотній стороні деталі створіть ескіз 3 згідно рис. 6.4 і витягніть його на 10 мм.

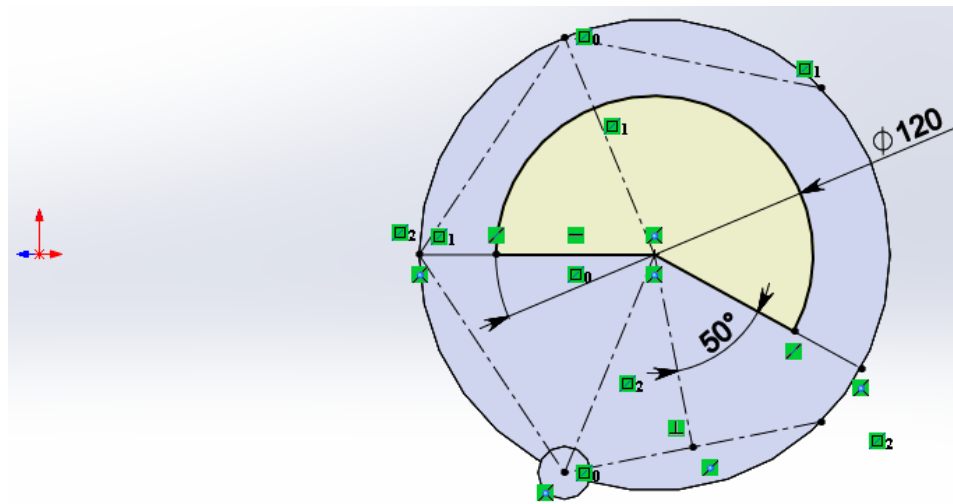


Рис. 6.4. Ескіз 3

1.2. Створення веденої деталі (зірка).

Засобами системи **SolidWorks** створіть ескіз 4 в площині «Спереду» згідно рис. 6.5. і витягніть його на 10 мм.

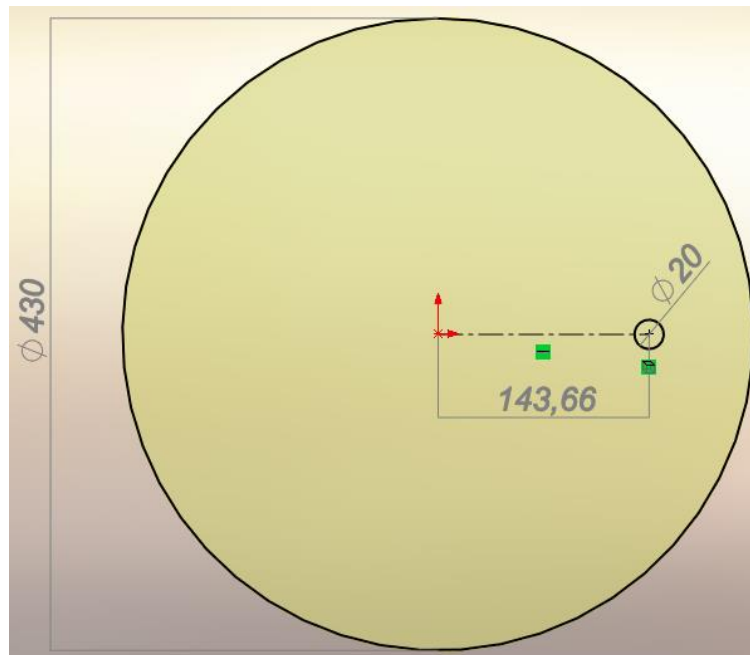


Рис. 6.5. Ескіз 4

На передній стороні деталі створіть ескіз 5 згідно рис. 6.6 і виріжте його наскрізь.

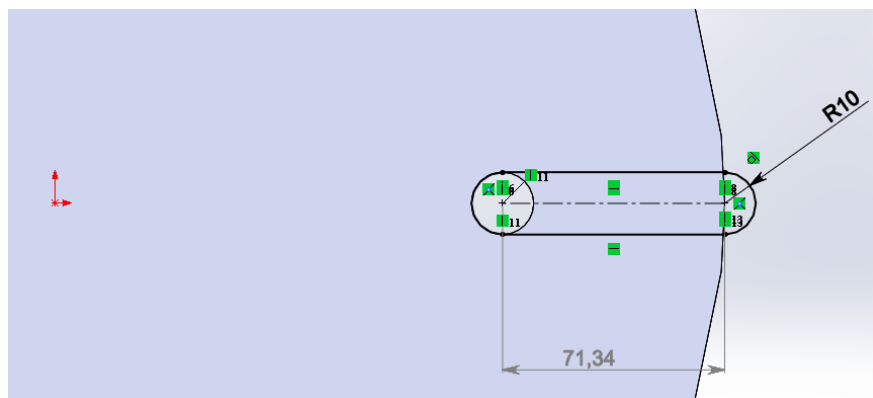


Рис. 6.6. Ескіз 5

За допомогою колового масиву створіть 8 пазів з рівномірним кроком в межах кута 360° , активізувавши команду геометричний масив і попередньо відобразивши в меню **Вид** тимчасові осі.

На передній стороні деталі створіть ескіз 6 згідно рис. 6.7 і виріжте його наскрізь.

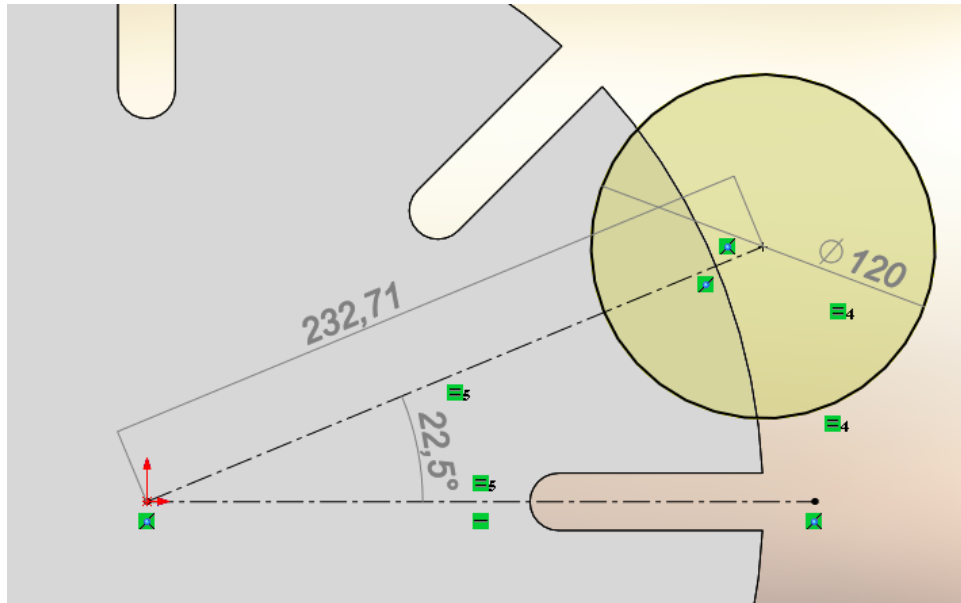


Рис. 6.7. Ескіз 6

За допомогою колового масиву створіть 8 вирізів з рівномірним кроком в межах кута 360° , активізувавши команду геометричний масив.

1.3. Створення складання.

Створіть новий документ «Складання» і в площині «Спереду» створіть ескіз 7 (рис. 6.8).

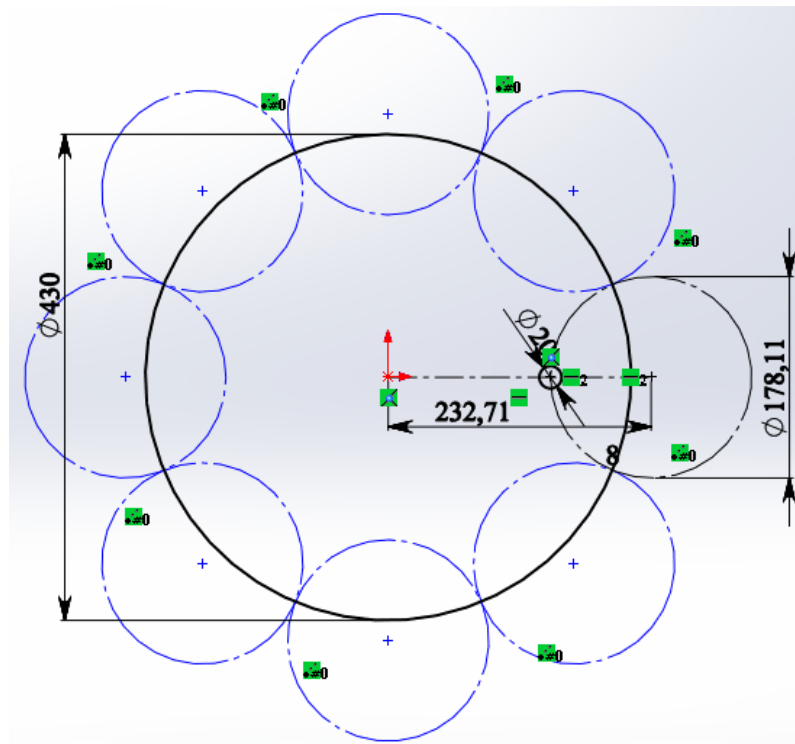


Рис. 6.8. Ескіз 7

За допомогою команди **Вставити компоненти** додайте деталь «Зірка» і деталь «Поводок» з розміщенням у початку координат.

1.4. Розфіксуйте деталь «Поводок» за допомогою команди **Звільнити** із контекстного меню.

2. Встановлення спряжень

2.1. Встановіть спряження **Співпадіння** для поверхонь деталей «Зірка» та «Поводок», як показано на рис. 6.9.

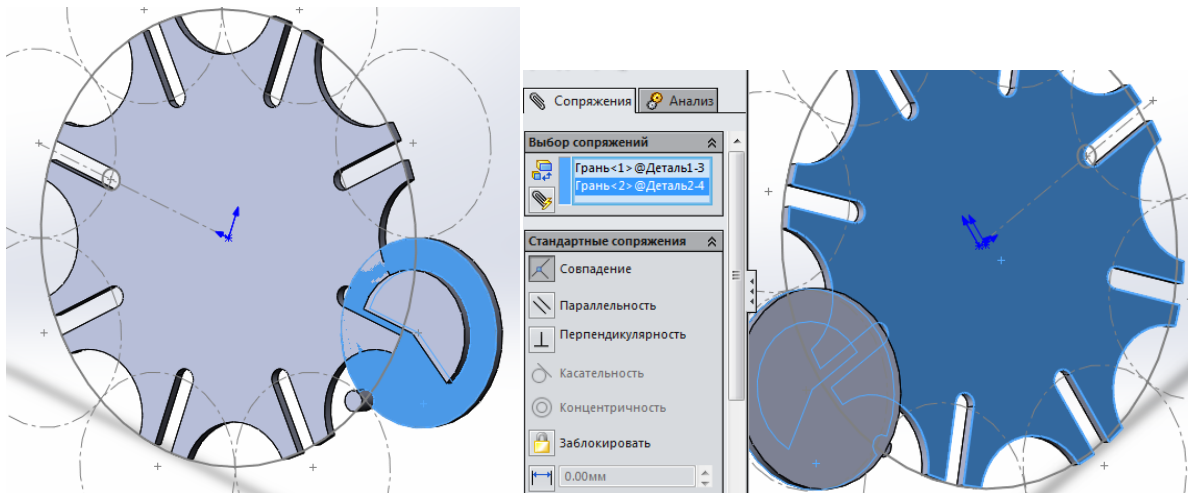


Рис. 6.9. Накладання спряження **Співпадіння**

2.2. Встановіть спряження **Концентричність** для поверхонь деталей «Зірка» та «Поводок», як показано на рис. 6.10.

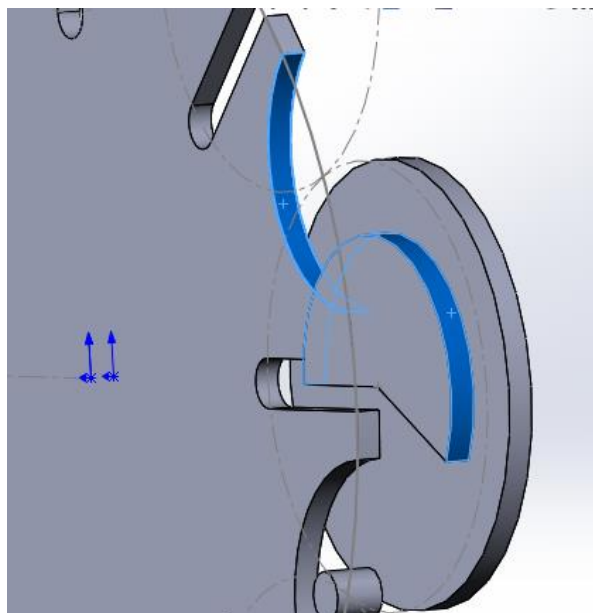


Рис. 6.10. Накладання спряження **Концентричність**

2.3. За допомогою команди **Обертати компонент**  поверніть приблизно деталь «Поводок» у положення згідно рис. 6.11.

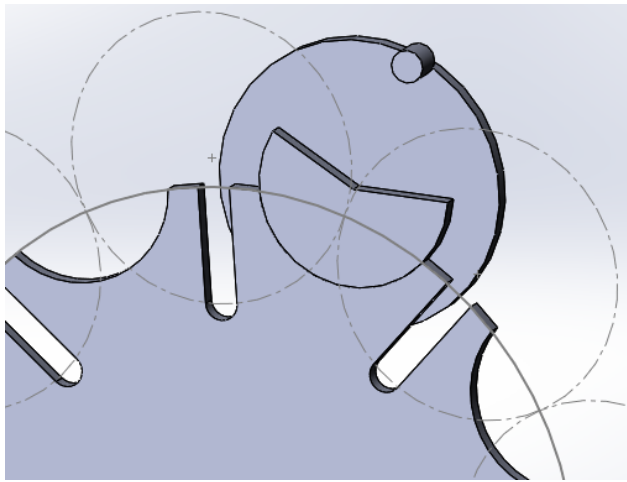


Рис. 6.11. Приблизна орієнтація деталей

2.4. Зафіксуйте деталь «Поводок» за допомогою команди **Зафіксований**.

2.5. Для того, щоб можна було виконати аналіз руху механізму треба додати ще раз деталі «Зірка» та «Поводок» у складання (рис. 6.12) і встановити спряження.

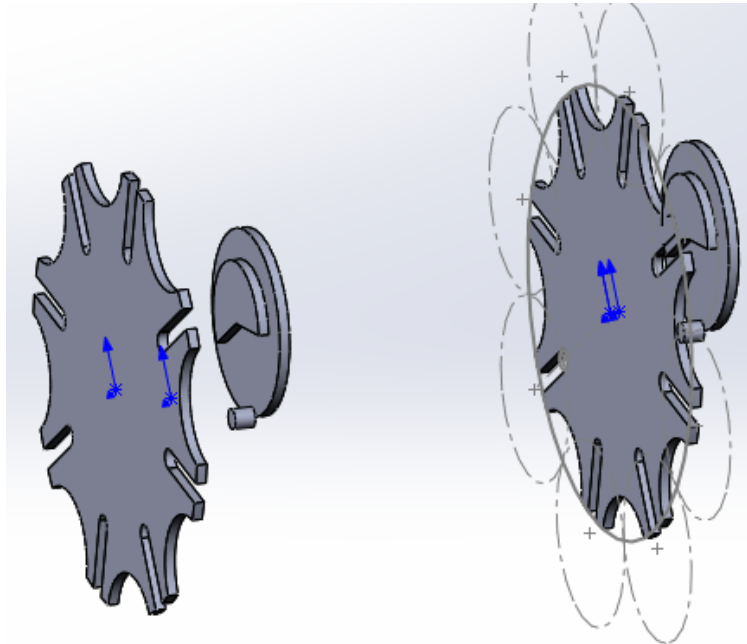


Рис. 6.12. Вставка деталей «Зірка» та «Поводок» у складання

2.6. Встановіть спряження **Співпадіння** для поверхонь деталей «Зірка» та «Поводок», по аналогії до рис. 6.9.

2.7. Встановіть спряження **Концентричність** для поверхонь деталей «Зірка» та «Поводок», як показано на рис. 6.13.

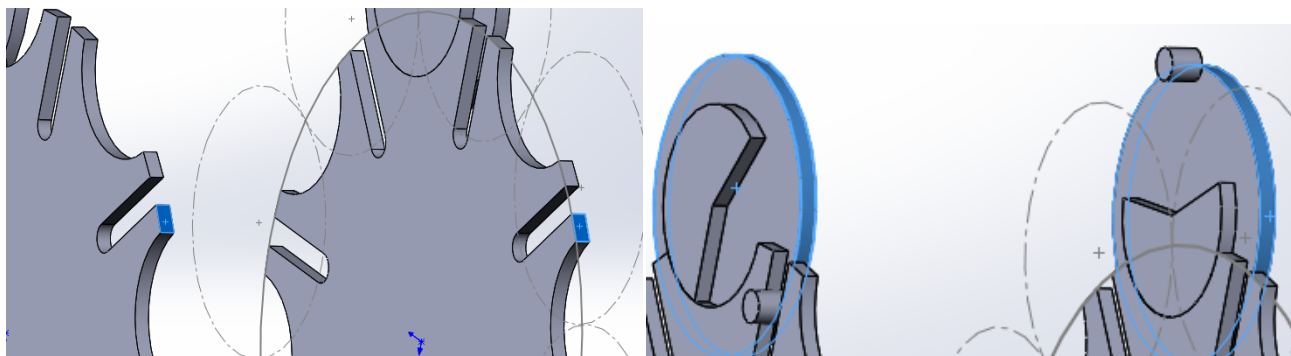
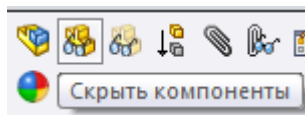


Рис. 6.13. Накладання спряжень **Концентричність**

2.8. За допомогою команди **Обертати компонент**  поверніть приблизно деталь «Поводок» у положення по аналогії з рис. 6.11.

2.9. Деталі «Зірка» та «Поводок», які додавалися до складання першими необхідно приховати. Для цього в дереві конструювання виберіть необхідну деталь і в контекстному меню

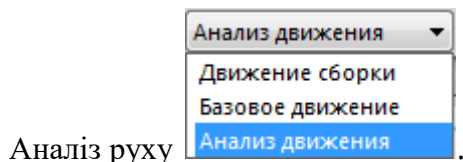
виберіть команду **Приховати компоненти**



2.10. Також приховуйте ескіз за допомогою команди **Приховати**  **Скрыть**.

3. Створення нового дослідження

3.1. Створіть нове дослідження руху із контекстного меню вкладки **Анімація** і виберіть



3.2. За допомогою команди **Контакт**  створіть контакт між деталями «Зірка» та «Поводок» та вкажіть матеріал деталей.

3.3. За допомогою команди **Двигун**  задайте на деталі «Поводок» двигун обертання (рис. 6.14) з частотою $60 \text{ об/хв.} = 1 \text{ об/хв.}$. Загальний час розрахунку встановіть 8 с. (по кількості зубців деталі «Зірка»).

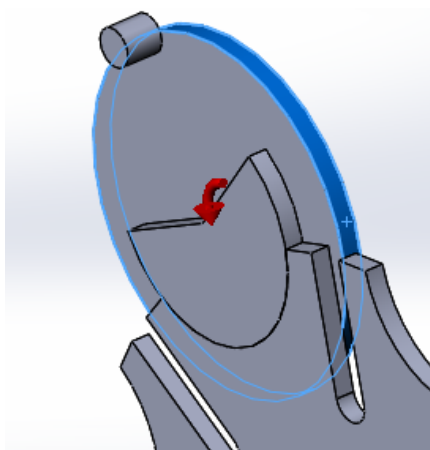


Рис. 6.14. Двигун обертання для деталі «Поводок»

3.4. Виконайте розрахунок.

3.5. Для збереження документа, натисніть **Файл, Зберегти**.

Контрольні запитання:

1. Що розуміють під анімацією?
2. Що розуміють під мальтійським механізмом?
3. В чому полягає принцип роботи мальтійського механізму?
4. В яких пристроях найчастіше застосовується мальтійський механізм?
5. Назвіть порядок створення анімації роботи механізму та дослідження його руху.

Література

1. Алямовский А.А. Инженерные расчеты в SolidWorks Simulation – М.: ДМК Пресс, 2010.
2. Алямовский А.А. и др. SolidWorks. Компьютерное моделирование в инженерной практике – СПб: БХВ- Петербург, 2005.
3. Пестрецов С.И. Компьютерное моделирование и оптимизация процессов резания - Тамбов.: ТГТУ, 2009.
4. Мережа Інтернет.

Навчально-методичне видання
Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт по курсу:
«Автоматизація інженерних розрахунків в машинобудуванні»
для студентів спеціальностей: 131 Прикладна механіка; 133 Галузеве машинобудування

Укладачі: Скібінський О.І., Селехова В.М.

м. Кропивницький