



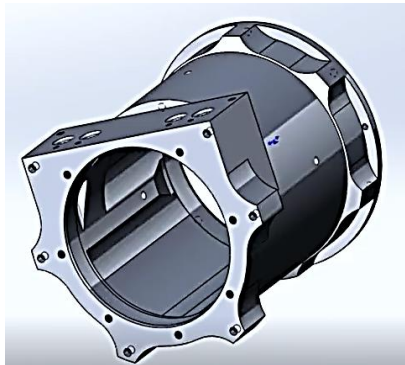
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
МУКАЧІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Кафедра інженерії, технологій та професійної освіти



**КОМП'ЮТЕРНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ТА МОДЕЛЮВАННЯ У
CAD/CAE/CAM СИСТЕМАХ**

ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ

для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної
форми навчання спеціальності 131 «Прикладна механіка»
Освітньо-професійної програми
«Ресурсо - та енергозберігаючі системи, пристрої та апарати»



Мукачево МДУ
2024

УДК 004.896 (076.5)

*Розглянуто та рекомендовано до друку науково-методичною радою
Мукачівського державного університету
протокол №__ від _____ 2024 р.*

*Розглянуто та схвалено на засіданні кафедри машинобудування,
природничих дисциплін та інформаційних технологій
протокол № 7 від 31 січня 2024 р.*

Укладачі: Габовда О.В., Рейс Т.Т.

Рецензент:

Комп'ютерне проектування та моделювання у CAD/CAE/CAM системах: лабораторний практикум для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної форми навчання спеціальності 131 «Прикладна механіка» Освітньо-професійної програми «Ресурсо - та енергозберігаючі системи, пристрої та апарати» / укладачі: О.В. Габовда, Т.Т. Рейс. – Мукачево: МДУ, 2024. – 44с. (1,4 др.арк.)

Лабораторний практикум призначений для виконання лабораторних робіт, містить короткі теоретичні відомості завдання та порядок виконання лабораторних робіт, а також контрольні питання для самоперевірки. Практикум служить для ознайомлення з принципами параметричного тривимірного твердотілого моделювання та інженерного аналізу, отримання практичних навичок роботи в системах CAD/CAE/CAM, за допомогою яких в сучасних умовах відбувається проектування машин.

© МДУ, 2024

ЗМІСТ

	<u>Стор.</u>
Передмова	4
Лабораторна робота №1 Інтерфейс програмного комплексу SolidWorks. Створення ескізу плоскої деталі....	5
Лабораторна робота №2 Створення тривимірної моделі деталі в SolidWorks.....	9
Лабораторна робота №3 Створення тривимірної моделі деталі методом виділення контурів в ескізі.....	12
Лабораторна робота №4 Застосування рівнянь при створенні моделей	14
Лабораторна робота №5 Створення циліндричної пружини стиску у SOLIDWORKS.....	21
Лабораторна робота №6 Створення збірок у SOLIDWORKS.....	23
Лабораторна робота №7 Створення робочих креслень за 3D–моделлю у SOLIDWORKS.....	27
Лабораторна робота №8 Дослідження руху механізмів в SolidWorks Motion	30
Лабораторна робота №9 Інженерний аналіз конструкцій в SolidWorks Simulation.....	36
Список рекомендованої літератури	42

ПЕРЕДМОВА

Мета дисципліни «Комп'ютерне проектування та моделювання у CAD/CAE/CAM системах» - навчити здобувачів проектувати виробу машинобудування за допомогою систем автоматизованого проектування шляхом застосування CAD - систем автоматизованого параметричного моделювання деталей і зборок з подальшою генерацією асоціативної конструкторської документації виробу, CAE – систем інженерного аналізу, CAM - систем підготовки виробництва з генерацією керуючих програм для верстатів з ЧПК.

Лабораторні роботи виконуються в САПР SolidWorks, розробленою американською корпорацією SolidWorks Corporation у 1993 році, яка є незалежним підрозділом компанії Dassault Systèmes (Франція). SolidWorks – перша САПР, яка почала підтримувати твердотільне моделювання для платформи Windows і склала конкуренцію таким продуктам як AutoCAD, Autodesk Mechanical Desktop, Autodesk Inventor та ін.

SolidWorks – програмний комплекс САПР для автоматизації на етапах конструкторської і технологічної підготовки виробництва, який забезпечує розробку виробів будь-якої складності і призначення.

Він вміщує такі додатки:

- SolidWorks Simulation - розрахунки на міцність деталей і зборок, частотний аналіз, розрахунки на стійкість, тепловий аналіз; лінійний статичний аналіз; визначення власних частот; розрахунки критичних сил і форм втрати стійкості; тепловий аналіз, спільний термостатичний аналіз; розрахунки зборок із використанням контактних елементів; нелінійні розрахунки; оптимізація конструкції;

- SolidWorks Motion - динамічний аналіз складних механізмів, визначення швидкостей, прискорень і взаємних впливів елементів системи;

- SolidWorks Flow Simulation - моделювання потоку рідин і газів, різноманітні фізичні моделі рідин та газів; комплексні теплові розрахунки; гідро-, газодинамічні та теплові моделі технічних пристроїв; стаціонарний і нестаціонарний аналізи та ін.

Основні результати навчання:

PH5. Виконувати геометричне моделювання деталей, механізмів і конструкцій у вигляді просторових моделей і проєкційних зображень та оформлювати результат у виді технічних і робочих креслень;

PH12. Навички практичного використання комп'ютеризованих систем проектування (CAD), підготовки виробництва (CAM) та інженерних досліджень (CAE).

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

Тема: Інтерфейс програмного комплексу SolidWorks.
Створення ескізу деталі.

Мета: Ознайомитися з інтерфейсом SolidWorks. Розглянути основні принципи та способи побудови ескізів. Закріпити навички роботи з командами «Дзеркально відобразити об'єкти», «Лінійний масив» та «Круговий масив», способи додавання заокруглень та фасок.

Теоретичні відомості

Інтерфейс програмного комплексу SolidWorks надано на Рис. 1.

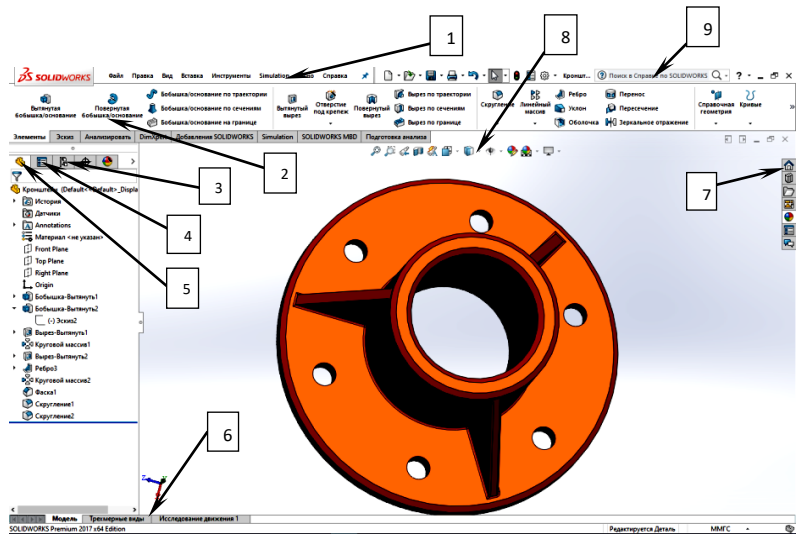


Рис.1. Інтерфейс SolidWorks

(1 – рядок меню; 2 – менеджер команд; 3 – менеджер конфігурацій; 4 – менеджер властивостей; 5 – дерево конструювання; 6 – рядок стану; 7 – панель завдань; 8 – панель інструментів керованого перегляду; 9 – пошук в SolidWorks; 10 – графічна область

До основних етапів тривимірного проектування в CAD системі програмного комплексу SolidWorks відносяться: побудова ескізу, створення об'ємної моделі, створення зборок і генерація креслень. Ескіз, який є основою для створення будь-якої деталі, може бути двомірним або тримірним. Зазвичай використовується двомірний ескіз, який, при створенні нової деталі, виконується на одній з трьох ортогональних площин, що проходять через початок координат, але в деяких випадках зручно використовувати тривимірний ескіз, коли треба, наприклад, побудувати зігнуту трубу, що змінює свій напрямок у просторі, або зварну конструкцію, яка складається з профілів

певного перерізу.

Виконання ескізу рекомендується починати з *Початкової точки*, яка відображається червоним кольором у відкритому ескізі і допомагає визначити координати його решти точок.

Ескіз має мати замкнений контур. Якщо контур незамкнений, то при витягуванні програма буде розглядати ескіз як тонкостінний елемент, тому потрібно буде вказувати його товщину. SolidWorks допускає в одному ескізі наявність декількох замкнених контурів; при цьому формується багатотільна деталь. У цьому випадку потрібно вказувати відповідний контур для виконання певної операції.

При створенні ескізів можна вирізати або копіювати і вставляти об'єкти ескізу, як з одного ескізу в інший, так й усередині ескізу. У процесі побудови ескізу з'являються лінії формування – пунктирні лінії, які працюють разом з вказівниками, прив'язками і взаємозв'язками, щоб показати, як об'єкти ескізу впливають один на одного.

У SolidWorks можна створювати такі документи як деталь, збірка, кресленник. Практично кожна команда у SolidWorks може бути викликана двома або трьома способами з списку:

- з рядка меню;
- за допомогою команд відповідної панелі інструментів;
- за допомогою Менеджера команд;
- комбінацією гарячих клавіш;
- за допомогою випадного меню правої кнопки миші.

Вкладка *Елементи* вікна Менеджера команд потрібна для створення тривимірної моделі. На початку роботи в ній доступні тільки дві команди: *Витягнута бобишка/основа* і *Повернута бобишка/основа*.

Щоб відобразити команди побудови ескізу треба клацнути кнопкою миші по вкладці *Ескіз* Менеджера команд. Також можна викликати панель інструментів *Ескіз* на екран (*Вид/Панель інструментів/Ескіз*).

При побудові ескізу поява значка двох концентричних кіл на жовтому фоні свідчить про захват попередньо створеного відрізка з новим та їх з'єднання. Якщо провести другий відрізок до появи значка, то з'єднання не буде і контур буде незамкнений.

Контур з відрізків можна будувати шляхом почергового позиціонування курсору в потрібному місці і клацання миші. Для завершення ланцюга необхідно виконати подвійне клацання миші.

Для накладення на ескіз додаткових взаємозв'язків елементів потрібно викликати команду *Додати взаємозв'язок*, натиснувши на кнопку *Відобразити/приховати взаємозв'язки* панелі Менеджера команд.

Біля елементів ескізу з'являться значки відповідних взаємозв'язків. Види взаємозв'язків: горизонтальний, вертикальний,

дотичний, колінеарний (розташований на одній лінії), рівність та ін.

Для нанесення розмірів треба викликати команду *Автоматичне нанесення розмірів* і клацнути клавішею миші на потрібному відрізьку для нанесення розміру, потім перемістити мишу трішки нижче. З'явиться динамічний зразок розміру, після чого клацнути по розміру. У діалоговому вікні *Змінити* ввести потрібний розмір, замість поточного. При нанесенні розміру між паралельними лініями необхідно виділити мишею спочатку одну лінію, потім другу та вказати місце динамічного зразка розміру.

Якщо в ескізі є блакитні лінії, це означає що ескіз невизначений, тобто недороблений і його треба завершити: у статусному рядку вказано *Недовизначений*. У визначеному ескізі всі лінії чорного кольору (*Визначений*). Якщо додати у ескіз зайвий розмір, в статусному рядку з'явиться зауваження *Перевизначений* або *Рішення не було знайдено* (жовтий колір). Розмір може бути «для довідки», для чого треба зробити його керованим.

Для переміщення об'єктів в графічній області зручно використовувати кнопки клавіатури Ctrl + стрілки управління (переміщення) Alt + стрілки управління (обертання в площині екрану); Shift+ стрілки управління (обертання перпендикулярно екрану).

У SolidWorks існують такі способи конструювання тривимірних деталей за допомогою панелі інструментів *Елементи*:

- **Витягування** – витягування ескізу в одному чи двох напрямках (команда *Витягнута бобишка/основа*);

- **Обертання** – обертання ескізу навколо осі на будь-який кут до 360⁰ (команда *Повернута бобишка/основа*);

- **Витягування бобишки по траєкторії** (команда *Бобишка/основа по траєкторії*);

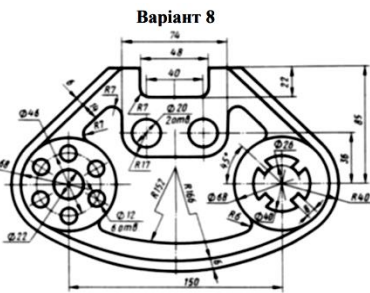
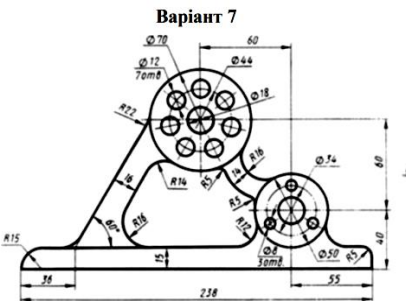
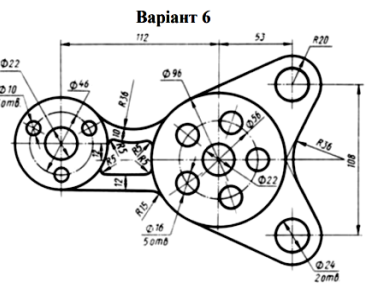
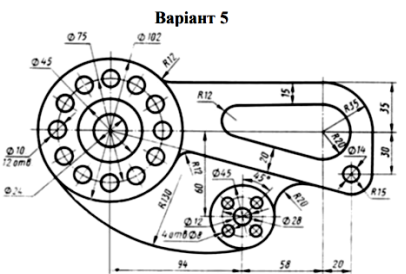
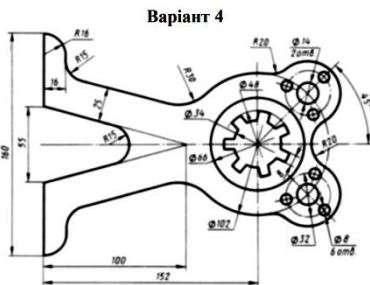
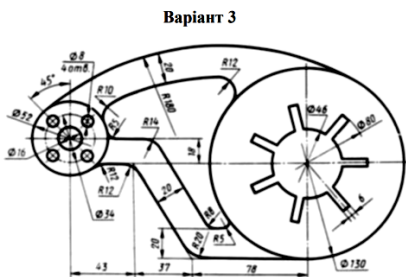
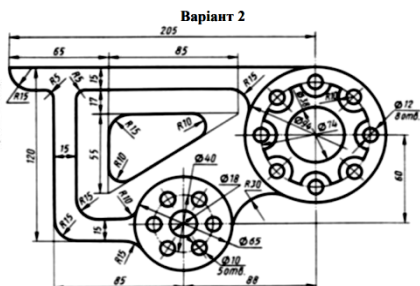
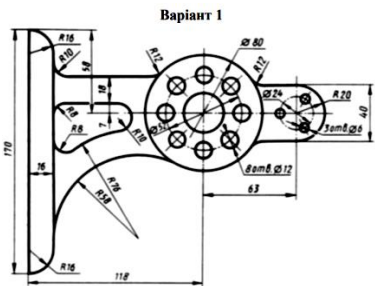
- **Витягування елемента по перерізах** (команда *Бобишка /основана по перерізах*);

- **Оформлення вирізів**. Розрізняють такі основні види вирізів: *Витягнутий виріз*; *Обернений виріз*; *Виріз по траєкторії*; *Виріз по перерізах*.

Крім того, в SolidWorks можна формувати окремі елементи деталей: фаски, заокруглення, ухили, оболонку. Є також команди, що значно прискорюють процес побудови деталей: масиви (лінійний, круговий та ін.), дзеркальне відображення та ін.

Завдання

Виконати ескіз за варіантами, виконуючи елементи деталі, що повторюються, за допомогою кругового масиву, або дзеркального відображення, а також використовувати взаємозв'язки між елементами (вертикальність, горизонтальність, концентричність, колінарність, дотичність та ін.).



Контрольні питання

1. Опишіть основні елементи інтерфейсу програмного комплексу SolidWorks та вкажіть їх місцезнаходження за замовчуванням.

2. Перерахуйте основні елементи формування ескізу?
3. Які статуси ескізу існують? Чим вони відрізняються?
4. Взаємозв'язки в SolidWorks. Як додати взаємозв'язки елементів ескізу
5. Сформулюйте основні етапи створення лінійного та кругового масивів?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2

Тема: Створення тривимірної моделі деталі в SolidWorks

Мета: Розглянути основні методи та команди побудови тривимірної моделі деталі. Ознайомитися з інструментами створення тривимірної геометрії в SolidWorks.

Теоретичні відомості

В загальному випадку тривимірна модель деталі в SolidWorks складається з безлічі «сконструйованих» елементів, або елементарних об'ємів. Для побудови об'ємів зручнішим є аналітичний спосіб: формоутворюючі поверхні є результатом руху направляючих відрізків уздовж одного або декількох твірних. До основних типів елементів в SolidWorks відносяться:

- Витягування (рух по прямій лінії);
- Обертання (рух по колу);
- По траєкторії (рух уздовж довільної кривої);
- По перетинах (рух декількох довільних твірних уздовж декількох довільних направляючих).

Операцію *Витягування* можна представити як процес переміщення нарисованого в ескізі контуру уздовж деякого відрізка. Щоб активізувати операцію, необхідно виконати команду на панелі інструментів *Витягнута Бобишка/Основа* (для створення основи) або *Витягнутий Виріз* (для створення вирізу в побудованому твердому тілі). При побудові елемента методом *Витягування* в *Менеджері властивостей* відображаються три складові у вигляді трьох панелей:

- початкова умова для створення елемента;
- граничні умови;
- модифікації команди.

Як початкова умова для створення елемента можуть бути задані (Рис.1):

- базова площина для ескізу;
- поверхня, грань, площина;
- площина з Довідкової геометрії;
- вершина 3D моделі;
- зміщення та ін.

Всього є вісім *Граничних умов*:

1. *На задану відстань* – визначає межу витягнутого елемента шляхом явної вказівки глибини витягування (значення можна задавати

в чисельному вигляді або перетягуванням мишкою стрілки-напряму.

2. *Через все* – ескіз витягується через всю існуючу геометрію.

3. *До наступної* – витягується елемент від площини ескізу до наступної поверхні, що заступає весь профіль.

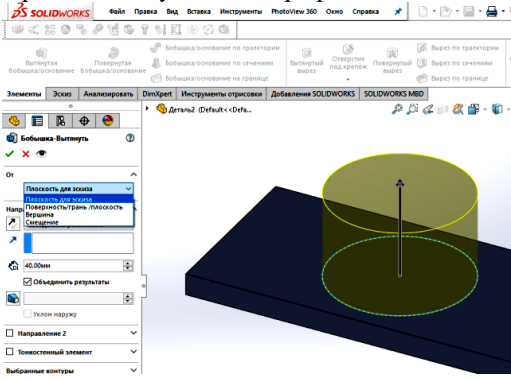


Рис.1. Вікно Бобишка - Витягти

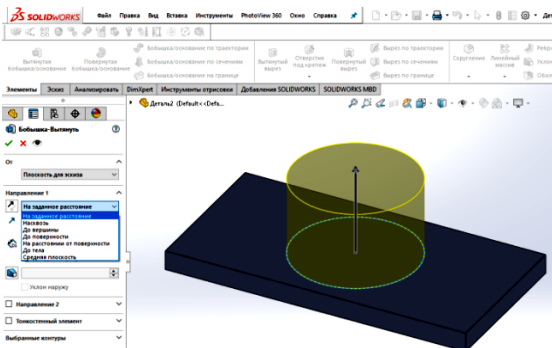


Рис.2. Завдання граничних умов при витягуванні бобишки

4. *До вершини* – ескіз витягується до розташованої паралельно площини, що проходить через задану вершину.

5. *До поверхні* – елемент заповнює область від площини ескізу до вибраної поверхні.

6. *На відстані від поверхні* – елемент заповнює область від площини ескізу до поверхні, рівновіддаленої від вибраної.

7. *До тіла* – будується елемент від площини ескізу до заданого тіла (використовується в багатотільних деталях, збірках, ливарних формах).

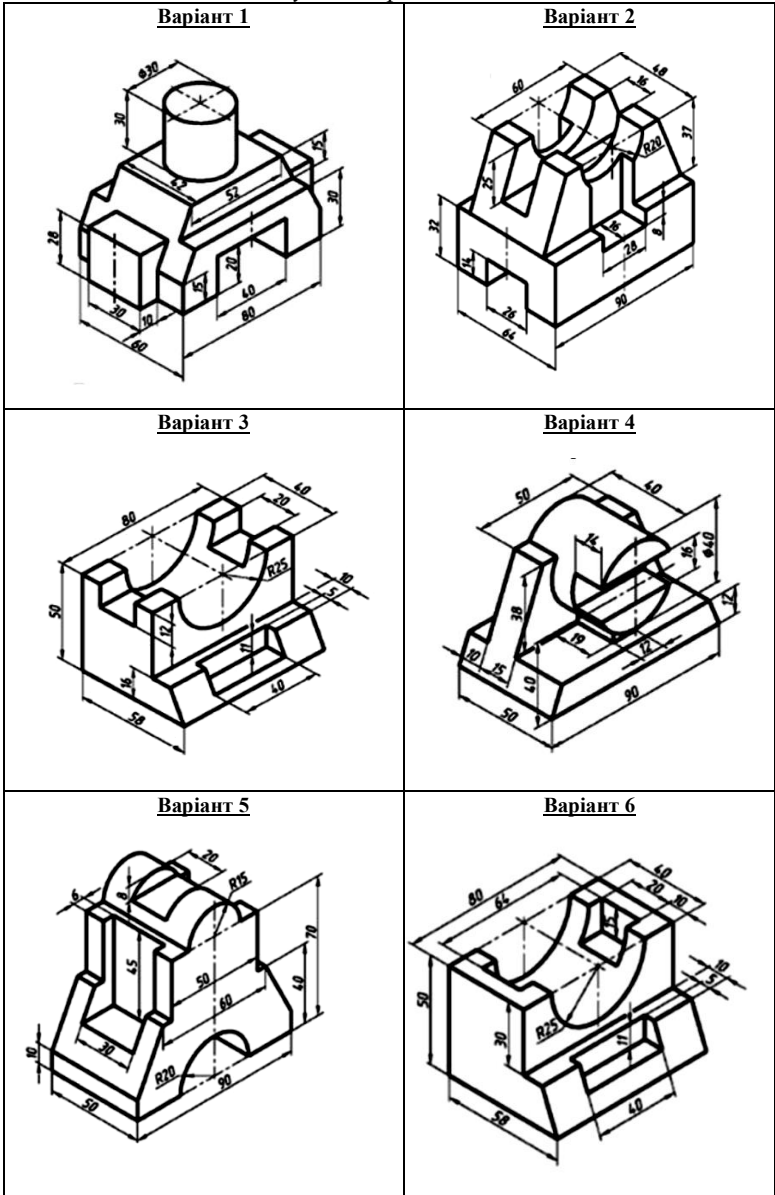
8. *Від середньої поверхні* – елемент створюється шляхом витягування ескізу на рівні відстані в обох напрямках від площини побудови ескізу.

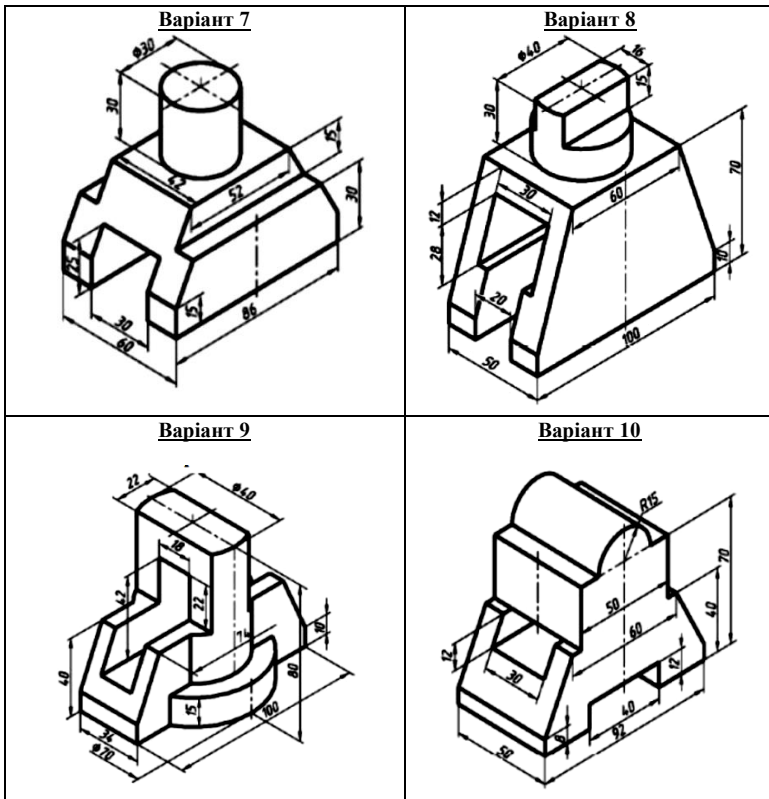
Оскільки ескіз щодо площини побудови дозволяється витягувати в двох взаємно протилежних напрямках, застосовуються дві панелі інструментів *Напрямок 1* і *Напрямок 2*. Змінити напрям витягування

на протилежний можна, натиснувши кнопку *Реверс напрямлення*, яка розташована зліва від списку, що розкривається.

ЗАВДАННЯ №1

Побудувати модель з використанням операцій *Витягнута Бобишка/Основа* та *Витягнутий Виріз*.





ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3

Тема: Створення тривимірної моделі деталі методом виділення контурів в ескізі.

Мета: Засвоїти основні прийоми створення ескізів в SolidWorks.

Теоретичні відомості

Для використання процедури моделювання методом виділення контуру треба створити декілька контурів в ескізі, не виходячи з ескізного середовища, і по черзі їх витягувати, виконуючи всі вимоги до створення ескізів та встановлюючи відповідні взаємозв'язки. При виділенні ескізу загалом і зверненні до операції «Витягнута бобика» наступним кроком виділяється контур на ескізі, видавлюється елемент моделі і завершується операція. Ім'я виділеного контуру відображається в області виділення розсувної панелі Обрані контури. Після чого знову виділяється ескіз, вибирається наступний контур і так далі. Цей спосіб пришвидшує побудову моделі.

Завдання

1. Побудувати модель деталі методом виділення контурів в ескізі за Рис.2, використовуючи роз'яснення у прикладі його виконання, та за Рис.3 самостійно.

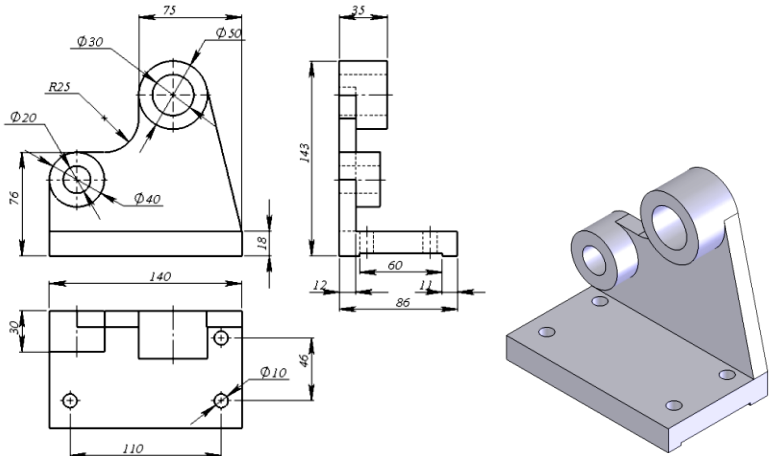


Рис.2. Кресленник деталі і побудована модель

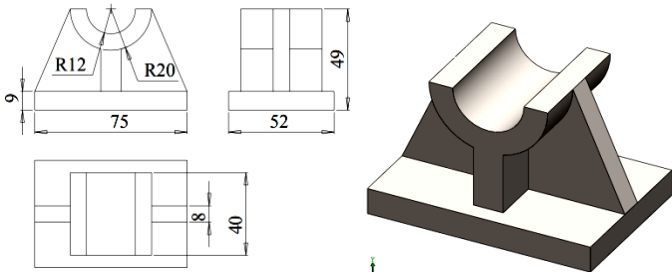


Рис.3. Кресленник заданої деталі і побудована модель

Порядок виконання роботи (Рис.2).

1. Побудувати ескіз (на основі виду спереду кресленника) на базовій площині *Спереду*, використовуючи стандартні інструменти побудови.

2. Задати необхідні взаємозв'язки й розміри, щоб повністю визначити ескіз (Рис.4).

3. У менеджері команд перейти на вкладку *Елементи*, натиснути кнопку *Витягнута бобишка/основа*, щоб викликати менеджер властивостей *Витягнута* (для зручності сприйняття зображення можна вибрати поточний вигляд ізометрії). Використовуючи покажчик виділення контурів, виділити область усередині нижнього прямокутника (Рис.5).

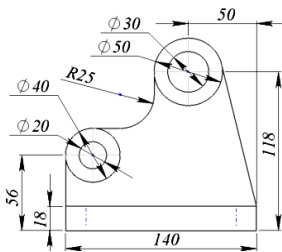


Рис.4. Повністю визначений ескіз

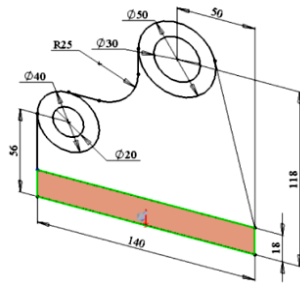


Рис.5. Прямокутник, виділений як контур

4. Встановити в полі значення 86мм і клацнути на кнопці ОК у менеджері властивостей *Витягнути*. Основа, створена шляхом витягування виділеного контуру, зображена на Рис.6.

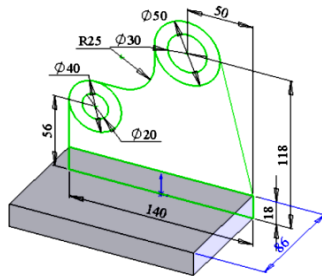


Рис.6. Витягнутий базовий елемент

5. Використовуючи інструмент виділення контурів і витягування, створити інші елементи.

6. Паз внизу основи витягнути звичайним способом, вибравши відповідну площину для створення ескізу пазу.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

Тема: Застосування рівнянь при створенні моделей

Мета: Ознайомлення з інтерфейсом рівнянь, набуття навичок побудови моделі з застосуванням засобів цього методу на прикладі створення моделі параметричного колеса.

Теоретичні відомості

При використанні рівнянь задаються розміри за допомогою глобальних змінних і математичних функцій, а також встановлюються математичні відносини між двома або більше вимірами в деталях і збірках. Такий прийом зручно використовувати при створенні бібліотечних елементів, коли всі розміри деталі залежать від одного чи декількох розмірів і можливо створення типових деталей з розмірами, які є основними, у якості аргументів.

Можна використовувати такі змінні в рівняннях:

- найменування розмірів;
- глобальні змінні;

- інші рівняння;
- математичні функції;
- властивості файлів;
- значення вимірювань.

У діалоговому вікні *Рівняння* можна вибрати кілька рядків, щоб застосувати до всіх рівнянь одну й ту саму дію, наприклад, для *погашення*, *скасування погашення* або *видалення кількох рівнянь відразу*.

Завдання

Створити параметричну модель циліндричного зубчастого колеса.

Порядок виконання роботи

Створюємо файл деталі. В меню Інструменти вибираємо рядок **Рівняння**. У вікні **Рівняння, глобальні змінні і розміри** (Рис.1). задаємо наступні змінні за замовчуванням: торцевий модуль зубців $m=4$, число зубців $z=15$, кут зачеплення $\alpha=20^\circ$, коефіцієнт зміщення $x=0$, кут нахилу зубця $\beta=10^\circ$ (приймаємо одиницю вимірювання кутового параметра **Градуси**).

Имя	Значение / Уравнение	Равняется	Заметки
Глобальные переменные			
m	= 4	4	
z	= 15	15	
alpha	= pi / 9	0.349066	
коэффициент зміщення	= 0	0	
df	= m * z	60	
da	= m * (z + 2)	68	
df	= m * (z - 2.5)	50	
db	= m * z * cos(alpha)	56.3816	
b	= m * z	24	
beta	= 10	10	
Добавить глобальную переменную			
Элементы			
Добавить погашение элемента			
Уравнения			

Рис.1. Вікно для введення змінних і рівнянь, які їх з'єднують

1. Для обчислення решти параметрів вводимо необхідні рівняння. Складання наступних рівнянь відбувається через виклик списку глобальних змінних при натисканні правої клавіші миші. Основні формули наведені нижче:

Діаметр діляльного кола $d = m * z$

Діаметр вершин зубців $da = m * (z + 2)$

Діаметр западин зубців $df = m * (z - 2.5)$

Діаметр основного кола $db = m * z * \cos(\alpha)$

Ширина зубчастого колеса $b = 8 * m$

Ширина впадини по діляльному діаметру колеса $s = (m * \pi * 0.5) + (-2) * m * (x) * \tan(\alpha)$. Розділовий знак між цілою і дробовою частинами – тільки крапка.

Закриваємо вікно **Рівняння, глобальні змінні і розміри** і розпочинаємо побудову колеса.

2. Вибираємо базову площину **Спереду**, на якій будуємо чотири окружності з початкової точки, використовуючи для постановки розмірів глобальні змінні у полі розмірів (починається введення із знаку дорівнює у полі розміру, після чого вказується відповідна глобальна змінна зі списку). Діаметрам ділильного, основного кіл та кола впадин встановлюємо статус **Допоміжна геометрія** і виходимо з ескізу. Побудуємо отвір під вал, задавши його в залежності від діаметра вершин зубців. Рівняння діаметру (" $da/5$ "), наприклад, записуємо як глобальну змінну безпосередньо у полі завдання розмірів.

3. Виконуємо операцію **Витягнута бобишка** від **середньої площини** на відстань b , вказуючи контур вершин зубців, завершуємо операцію. Отримуємо заготовку колеса (Рис.2).

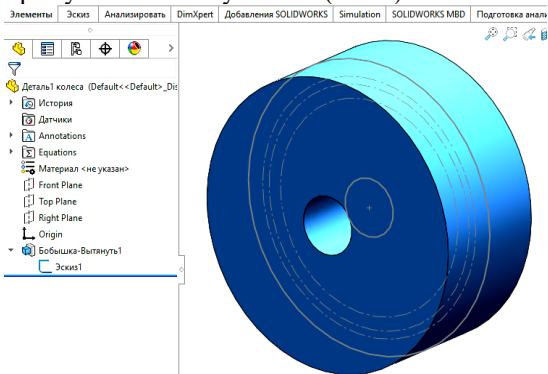


Рис.2. Результат операції витягнута бобишка

На площині **Зверху** будуємо ескіз прямої, що з'єднає кромки діаметрів вершин з двох боків. Пряма має проходити через початкову точку. Проставляємо кут нахилу зубців β між прямою і площиною **Справа** і виходимо з ескізу (Рис.3).

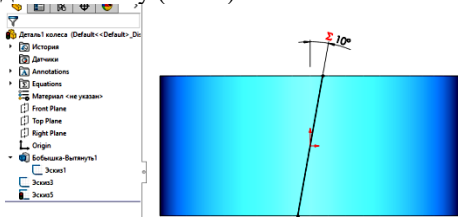


Рис.3. Побудова ліній нахилу зубців

Проеціюємо цю пряму на циліндричну грань. Для того вибираємо елемент **Криві - Spreциювати криву**. У відповідному вікні вказуємо ескіз прямої і поверхню вершин зубців (Рис.4) і натискаємо ОК.

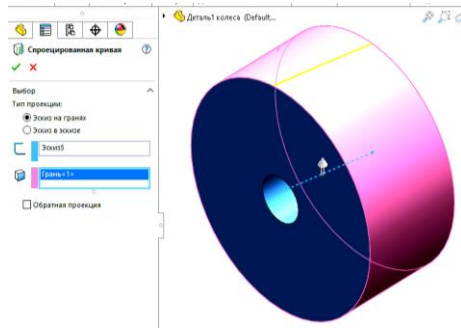


Рис.4. Проеціювання прямої на циліндричну поверхню

Для побудови профілю зубця, створюємо ескіз на площині **Спереду**. Натискаємо елемент **Перетворення об'єктів**. У відповідному вікні вказуємо діаметри: ділильний і основного кола і робимо їх допоміжною геометрією. Далі проводимо осьову вертикальну лінію, на якій проставляємо довільно точку.

Задамо розмір від кола вершин зубців до цієї точки. Первинно він задасться від центра кола до точки. Треба перейти на вкладку **Виноски**. Знизу знайти розділ **Умови для дуги** і покласти **Мін**. Розмір відобразиться той, що треба. Виразимо його через змінні у розмірному полі **Змінити**. Вводимо $=("da" - "df")/6$ (Рис.5).

Від побудованої точки проводимо осьову, дотичну до основного кола. Відсікаємо частину осьової лінії за точкою дотику. Далі довільно будуємо дугу через три точки. Нижню точку дуги доводимо до діаметра впадин. Центр дуги має лежати на осьовій лінії (встановити взаємозв'язок **Збіг**) як показано на рисунку 6. Далі встановлюємо взаємозв'язок **Збіг** дуги з точкою на осі. Будуємо осьовою лінією довільну пряму на ділильному діаметрі. Це буде ширина впадини по ділильному діаметру. Ліву точку прямої, дугу і діаметр ділильної окружності виділяємо і задаємо їх взаємозв'язок **Перетин**, після чого проставляємо розмір ширини впадини, для чого у розмірному полі **Змінити** записуємо рівняння:

$$("m" * \pi * 0.5) + (-2) * "m" * ("x") * \tan ("alpha")$$

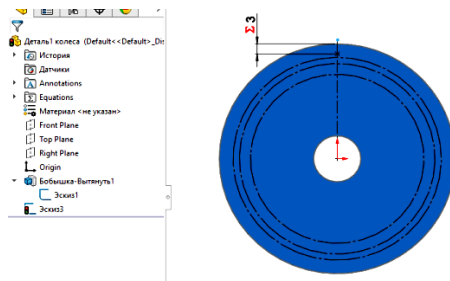


Рис.5. Проставлення розміру від точки до вершин зубців

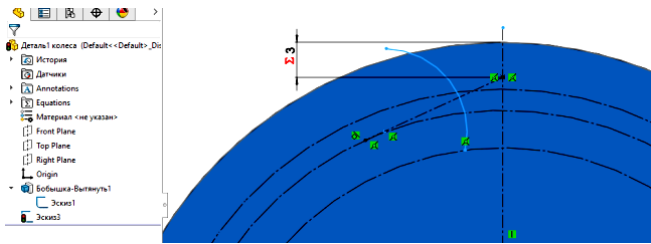


Рис.6. Перший крок побудови евольвенти

Проводимо осьову лінію, від центру до діаметра вершин зубців, перпендикулярно лінії ширини впадини (Рис.7). Проставляємо керований розмір дотичної прямої і ще один розмір від точки дотику до центру дуги за допомогою формули, яка представлена у вікні **Змінити** (покласти знак рівняння, вказати розмір 12,89 і поділити його на 4.

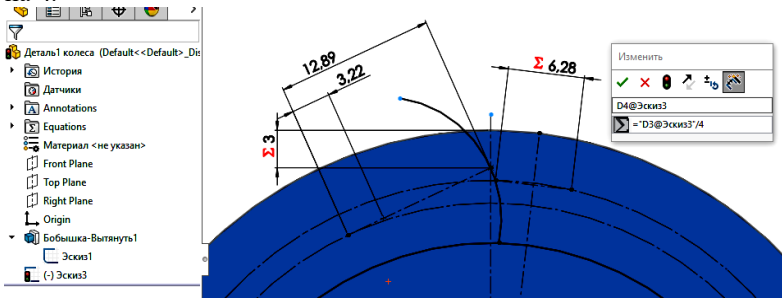


Рис.7. Евольвента готова до відзеркалення

Наступний крок – відзеркалення евольвенти і підготовка ескізу впадини до побудови самої впадини колеса. Для того виконуємо відзеркалення, далі зміщення на 2мм відносно вершин зубців майбутнього контуру ескізу, верхні точки евольвент суміщаємо з новим діаметром і відсікаємо все зайве, відміняємо **Вертикальність** першої вісі, задаємо вертикальність осьової лінії впадини і виходимо з ескізу (Рис.8).

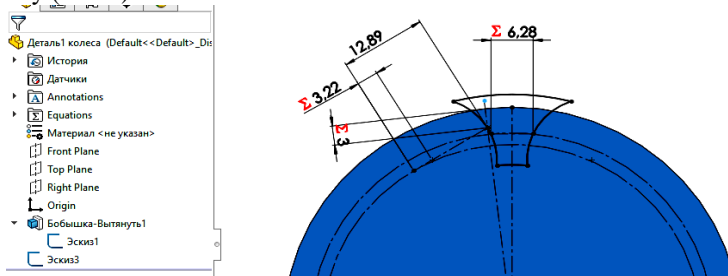


Рис.8. Побудований контур впадини зубця на площині Спереду.

Тепер маємо виконати похідні ескізи впадини на торцях циліндру. Для того виділяємо у дереві ескіз впадини і торцевої

поверхні, утримуючи кнопку CTRL, після чого в меню **Вставка** вибираємо **Похідний ескіз** (Рис.9).

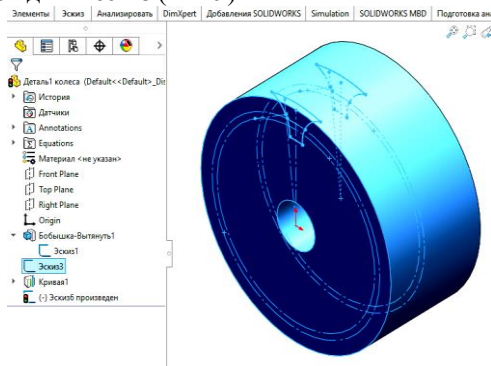


Рис.9. Побудова похідного ескізу

Встановлюємо взаємозв'язок **Збіг** між центральними точками первинного ескізу і похідного.

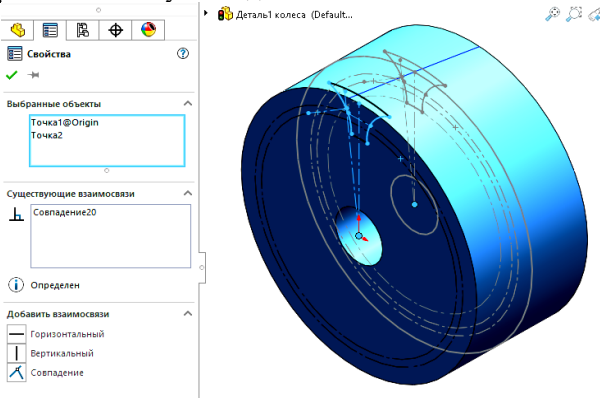


Рис.10. Встановлення взаємозв'язку Збіг

Встановлюємо взаємозв'язок **Точки проникання** між точкою осі впадини, що лежить на діаметрі вершин зубців і лінією, спроектованою на циліндричну грань і виходимо з похідного ескізу. Теж саме робимо для отримання контуру впадини з протилежного торця циліндра.

Виконуємо операцію **Виріз по перерізах**, вказуючи послідовно всі ескізи. Будуємо фаску на кромках циліндричної поверхні 1мм та заокруглення в основі впадини радіусом $m*0,3$.

Таким чином отримали одну впадину колеса. Залишилось використати круговий масив для відображення решти впадин зубця.

Вибираємо **Круговий масив**. У вікні в якості елементів копіювання вказуємо **Виріз по перерізах** і **Заокруглення** (Рис.11).

На основі параметричного колеса можна створювати колеса з різними параметрами за допомогою зміни глобальних змінних у

відповідному вікні. Далі можна змінювати конструкцію колеса за власним бажанням, додаючи окремі елементи (маточину, шпонковий паз отвори і заниження у тілі колеса та ін.), які теж можна зв'язувати з основними параметрами колеса (Рис.12).

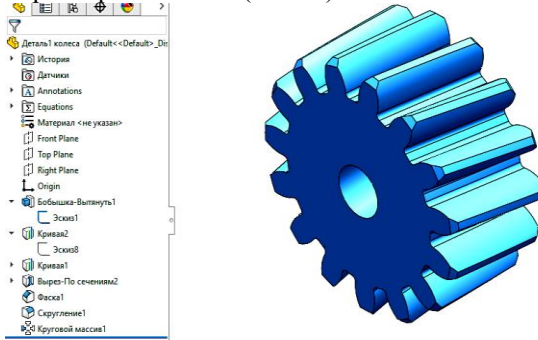


Рис.11. Результат побудови параметричного циліндричного колеса

На рисунку 12 показане колесо зі зміненими параметрами ($z=45$, $\beta=15^\circ$, коефіцієнт зміщення $x=0,367$).

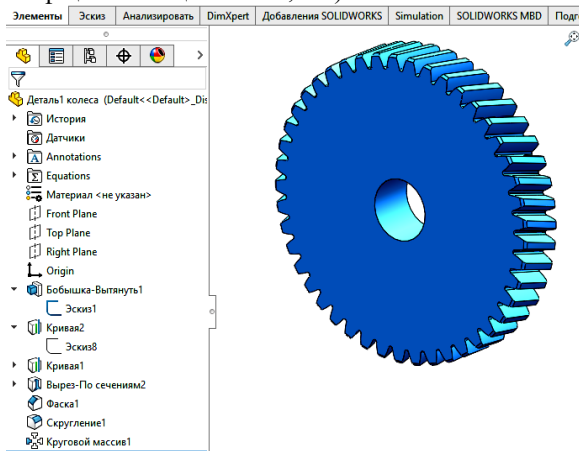


Рис.12. Приклад роботи з параметричним колесом

Контрольні питання

1. Особливості параметричного моделювання в SolidWorks.
2. Доступ до діалогового вікна Рівняння та призначення цього інструменту.
3. Які змінні використовуються у рівняннях

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5

Тема: Створення циліндричної пружини стиску у SOLIDWORKS

Мета: Ознайомитися з процесом створення тривимірної моделі пружини стиску

Теоретичні відомості

Циліндричні пружини стиску є найбільш розповсюдженими у техніці. Зазвичай в їх конструкції розрізняють робочі витки, підтиснуті та зашліфовані витки для кращого встановлення їх на опорних поверхнях.

Основними параметрами пружин стиску є діаметр дроту, з якого навивається пружина, середній діаметр пружини, крок та кількість робочих витків, їх загальна кількість та величина зашліфовування. Для силових пружин передбачено їх розрахунок та представлення графіку навантаження.

Способів проектування пружин є декілька. Просту пружину (з однаковим кроком) створюють за ескізом з використанням елементу **Криві-Гелікоїд і спіраль**. Відкривається вікно **Спіраль**, визначається, на основі яких параметрів будуватиметься спіраль (висота-крок, крок-обертання та ін.), встановлюються такі параметри як крок і висота, або крок і число обертів в пружині, також початковий кут. Після встановлення параметрів спіралі її закривають і звертаються до елементу **Бобишка по траєкторії** (Рис.1). В якості траєкторії вказується спіраль.

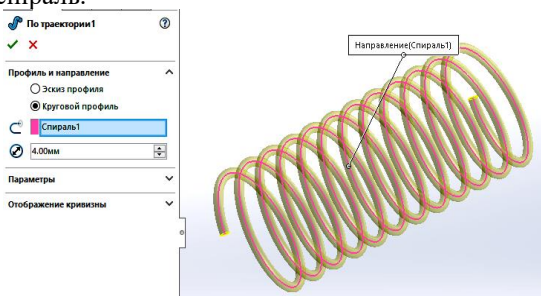


Рис.1. Вікно Бобишка по траєкторії

Задаються круговий профіль і діаметр дроту, після чого вікно закривається (Рис.2).

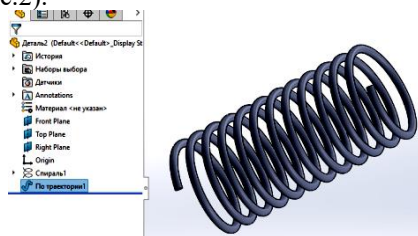


Рис.2. Результат побудови пружини стиску

В техніці застосовуються пружини із стиснутими витками та шліфованими на кінцях перпендикулярно осі.

Розглянемо саме такі пружини.

Завдання

Створити пружину стиску із стиснутими по одному витку на кінцях та зашліфованими. Середній діаметр пружини 50мм, робочий крок 15мм, кількість робочих витків 6, стиснутих витків 2, крок стиснутих витків 5мм.

Порядок виконання роботи

Створюємо на площині **Зверху** ескіз кола діаметром 50мм. Виходимо з ескізу і відкриваємо вікно **Спіраль** елемента **Криві-гелікоїд і спіраль**. У вікні вибираємо **Крок-обертання і Змінний крок**. При цьому в параметрах області треба заповнити таблицю з колонками крок, поворот, висота, діаметр (Рис.3).

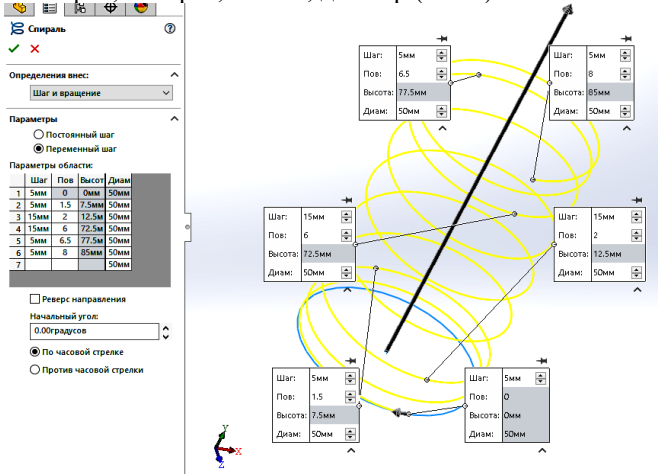


Рис.3. Встановлення параметрів спіралі

Як видно з таблиці при вибраних поворотах стиснутих витків загальна кількість витків дорівнює 8, висота пружини 85мм.

Виконуємо операцію **Бобишка по траєкторії**. У вікні встановлюємо круговий профіль і діаметр дроту і завершуємо операцію. Результат представлений на рисунку 4.

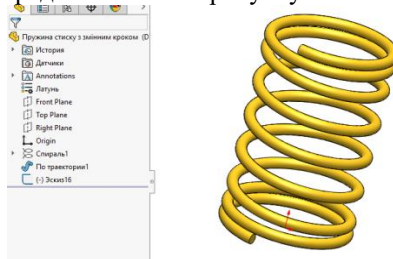


Рис.4. Результат побудови пружини стиску

Тепер виконаємо зашліфовування кінців пружини. Вибираємо площину **Спереду** та виконуємо ескіз (Рис.5). Виходимо з ескізу і виконуємо операцію **Витягнутий виріз**. Результат показаний на рисунку 6.

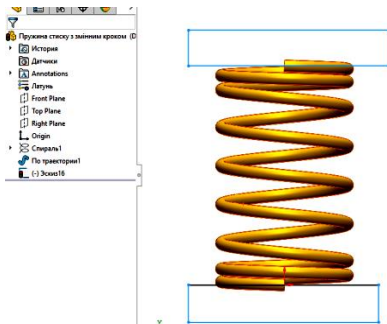


Рис.5. Побудова ескізу для зашліфовування

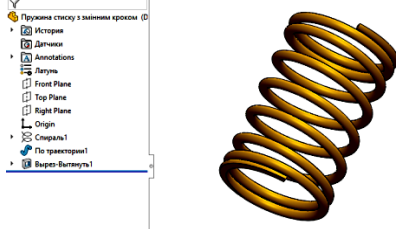


Рис.6. Результат побудови пружини стиску

Контрольні питання

1. Як викликати вікно Спіраль?
2. Які параметри спіралі потрібно заповнювати і які варіанти параметрів є у цьому вікні?
3. Чим відрізняється побудова пружини постійним кроком від побудови зі змінним?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №6

Тема: Створення збірок у SOLIDWORKS

Мета: Ознайомитися з процесом створення тривимірної моделі зборки способом «знизу уверх» та роботою з бібліотекою проектування стандартних виробів.

Теоретичні відомості

Існує два способи проектування збірок:

- Проектування «знизу уверх»;
- Проектування «зверху вниз».


Проектування «знизу уверх» є проектування з вже готових деталей, які збережені в окремих файлах. Така зборка аналогічна збірці вузла в реальних умовах.

При проектуванні зборки «зверху вниз» спочатку створюється

компонувальний ескіз зборки, а вже на його основі будуються окремі деталі. Ці деталі відразу є вбудованими у загальну зборку. Такий тип зборки зручний тим, що при зміні компонентів ескізу зборки автоматично змінюються розміри і конфігурації її складових деталей.

В цій лабораторній роботі розглянуто проектування «знизу уверх», яке починається зі створення нового документа за шаблоном *Збірка*. У *Дереві Конструювання* з'являється рядок *Спряження*. Перед роботою треба налагодити панель інструментів (команда меню *Інструменти/Налагодження/Панелі інструментів*) і встановити прапорець *Збірка*. Відкриється панель інструментів *Збірка*, де можна вибрати спосіб створення зборки.

У тривимірний простір графічної області вводяться деталі зборки (Команда меню *Вставка/Компонент/З файлу...* або активізація кнопки *Вставити компоненти* панелі інструментів *Зборка*). Перша деталь зборки автоматично фіксується. Деталь можна зафіксувати чи звільнити, клацнувши правою кнопкою миші по назві деталі в *Дереві Конструювання* і в розділі *Компоненти* відмінити команду *Зафіксований* або *Звільнити*. Незафіксовані деталі можна переміщати, натискаючи кнопку *Перемістити компонент*, або обертати, натискаючи кнопку *Обертати компонент* на панелі *Зборка*.

Для збирання конструкції необхідно активізувати кнопку  - *Умови спряження*. У вікні *Спряження* у розділі *Вибір спряжень* треба вказати об'єкти спряжень і їх тип. Тип спряження вибирається у розділах *Стандартні спряження*, *Додаткові спряження* та *Механічні спряження*. До стандартних спряжень відносяться *Збіг*, *Паралельність*, *Концентричність*, *Перпендикулярність*, *Дотичність*, *Заблокувати*, *Відстань*, *Кут*.

В розділі *Додаткові спряження* доступні шість типів спряжень: *Симетричність*, *Ширина*, *Спряження шляху*, *Лінійний / Лінійна муфта*, *Відстань*, *Кут*.

В розділі *Механічні спряження* доступні такі спряження: *Кулачок*, *Шарнір*, *Редуктор*, *Шестерня-рійка*, *Гвинт*, *Універсальний шарнір*.

Після того, як задані всі необхідні спряження між деталями і зафіксовані деталі, які в реальній зборці залишаються нерухомими, збірка вважається готовою. Показником правильно виконаної зборки є відсутність конфліктних спряжень у *Дереві Конструювання* і можливість безперешкодного переміщення деталей, подібно руху в реальному об'єкті. Здійснити рух деталей можна за допомогою кнопки *Перемістити компонент*.

Завдання

1. Створити тривимірну модель зборки *Кронштейна* (Рис.1) з моделей деталей *Кронштейн*, *Підвіска*, *Вісь* (Рис.2), *Прутичка та стандартних деталей*.

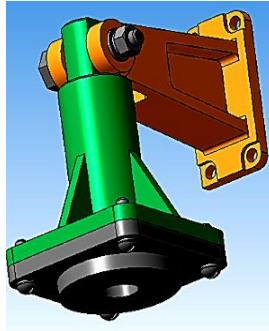


Рис.1. Модель зборки Кронштейну

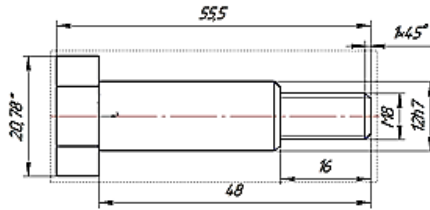


Рис.2. Ескіз Вісі

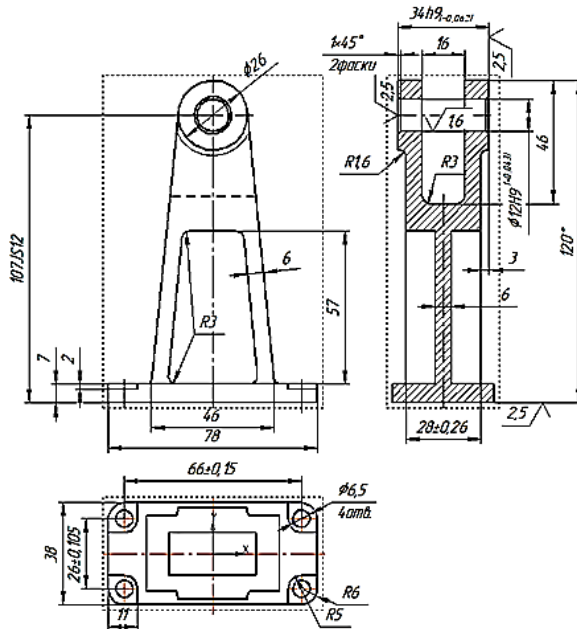


Рис.3. Ескіз Кронштейна

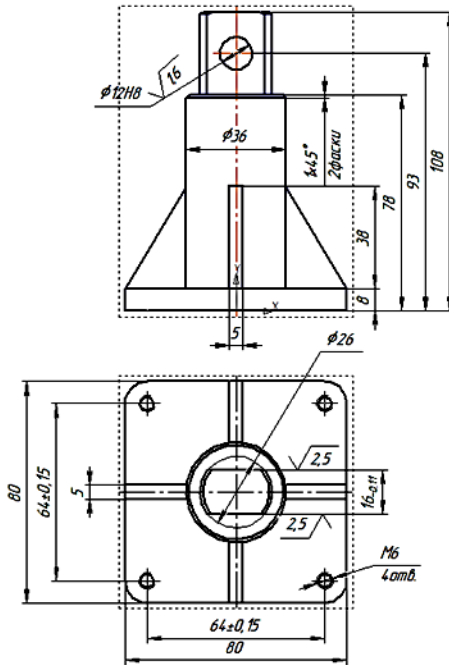


Рис.4. Ескіз Підвіски

Порядок виконання роботи


1. Побудувати моделі заданих деталей, зберегти їх у папці «Кронштейн».

2. Створити новий документ *Збірка*, назвіть Кронштейн.

3. Активізувати команду *Вставка/компонент/з файлу*. У вікні *Вставити компонент* відкрити файл **Кронштейн**, вказати місце його розташування (зручно сумістити вихідні точки деталі і складального простору).

3. Аналогічно вставити деталі **Підвіска** і **Вісь** задати умови спряження: концентричність отворів під вісь і співпадіння відповідних поверхонь. Розмістити **Підвіску** під кутом 90^0 до **Кронштейну** і з'єднати їх **Віссю**.

4. Для вставки стандартних виробів – гайки і плоскої та пружної шайб, потрібно налаштувати бібліотеку проектування стандартних виробів (меню *Інструменти/Toolbox*). Після цього відкрити

бібліотеку проектування, натиснувши кнопку , відкрити папку *Toolbox*, вибрати стандарт (наприклад, ISO), вибрати потрібні стандартні вироби, розмістити їх у складальному просторі, після чого задати для них умови спряження (Рис.5).

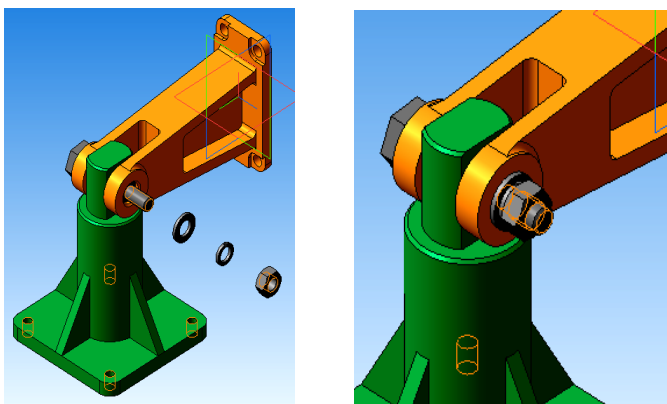


Рис. 5. Попереднє та остаточне розміщення стандартних виробів у вікні збірки

5. Опрацювати прийом редагування деталі на місці на прикладі деталі **Притискач**, для чого в дереві моделі зборки виділити компоненту **Підвіска** і за допомогою контекстного меню викликати команду *Редагувати на місці*, в основі зробити центральний ступінчастий отвір: діаметром 28мм, глибиною 50мм і діаметром 50мм, глибиною 2мм. Всі компоненти збірки виділяються кольором, це означає, що вони тимчасово недоступні до редагування, але їх елементи (грані, ребра, вершини та ін.) можна використовувати для створення нових компонентів.

6. В збірку додати деталь **Притискач**, яку створити методом зверху униз в контексті зборки. Для цього розгорнути збірку і вказати нижню грань деталі **Підвіска**, натиснути кнопку *Створити деталь* на панелі *Редагування збірки*, після чого зберегти деталь у власній папці.

Контрольні питання

1. Які модифікації існують для операції видавлювання? Яким чином забезпечується переміщення деталей у тривимірному просторі при виконанні зборки?
2. Які типи і види спряжень доступні при зборці конструкції?
3. Як вставити стандартні вироби у збірку?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7

Тема: Створення робочих креслень за 3D–моделлю у SOLIDWORKS

Мета: Отримати навички по створенню робочих та складальних креслень з тривимірних моделей деталей і зборок.

Теоретичні відомості

Між кресленням і моделлю система формує асоціативний зв'язок: будь-яка зміна моделі буде автоматично відображена на кресленні. В SolidWorks асоціативний зв'язок має зворотній характер: при зміні креслення деталі автоматично відбуваються зміни й моделі

деталі. В послідовність виконання креслень входить вибір креслярського шаблону форматів з основним написом; створення потрібних видів на кресленні та операції з видами; нанесення розмірів і налагодження параметрів їх відображення; додавання елементів інших типів: шорсткості; відхилень форм і розміщення поверхонь, баз та ін.

Для створення нового креслення треба виконати команду *Файл/Новий* або натиснути кнопку *Створити*. У вікні *Новий документ SolidWorks* натиснути значок *Креслення* і кнопку ОК. З'явиться шаблон і вікно *Формат листа/розмір*. У цьому вікні треба вибрати один з стандартних розмірів листа або користувацький і натиснути кнопку ОК.

Разом з пустим форматом листа з основним написом зліва відкривається вікно *Вид моделі* менеджера властивостей, у розділі *Деталь/Зборка для вставки* в полі *Відкрити документи* вибирається відповідний документ або безпосередньо зі списку, або через кнопку *Огляд*. При натисканні кнопки *Відкрити* вікно *Вид моделі* змінює свою конфігурацію, з'являються розділи, де треба вибрати потрібні види (*Орієнтація*) (якщо спочатку є бажання вибрати тільки Головний вид, треба зняти прапорець *Створити декілька видів*, інші види можна створити пізніше), їх масштаб (*Масштаб*) та ін., після чого покажчик миші разом з відображенням виглядів перенести у графічну область та клацнути в місці, де бажано їх розташувати. Відкриється вікно *Проекційний вид*. Для кожного проекційного виду можна встановлювати свої параметри і корегувати незалежно від інших. Для розірвання проекційного зв'язку потрібно натиснути праву кнопку миші на імені виду в *Дереві Конструювання* і в контекстному меню вибрати команду *Вирівняти/Звільнити вирівнювання*, для відновлення проекційного зв'язку потрібно в контекстному меню вибрати команду *Вирівняти/Основне розміщення*.

Розміри в SolidWorks поділяються на керуючі і керовані. Для додавання керуючих розмірів у креслення потрібно натиснути кнопку *Елементи моделі* на інструментальній панелі *Примітка*. Керовані (довідкові) розміри перераховуються тільки зміною керуючих розмірів. Для додавання розмірів треба натиснути кнопку *Автоматичне нанесення розмірів* на панелі інструментів *Розміри/Взаємозв'язки* і послідовно вказати кромки, де треба проставити керовані розміри.

Всі розміри, які були проставлені при побудові моделі, можна відобразити на всіх креслярських видах, викликавши з меню *Вставка* команду *Елементи моделі*.

Для зміни розміру треба підвести курсор до розміру і двічі клацнути по ньому. В діалоговому вікні *Змінити* записати новий розмір. Креслярський вигляд покриється сіткою пунктирних ліній, що означає, що в моделі відбулися зміни, і потрібно її перебудувати. Для

цього на панелі інструментів *Стандартна* треба натиснути кнопку *Перевбудувати*, після чого розмір зміниться.

Завдання

Створити робочі кресленики *Кронштейну*, *Підвіски*, *Вісі*, *Притискача* та складальний кресленик *Кронштейну* з тривимірних моделей, спроектованих на попередніх лабораторних роботах.

Порядок виконання роботи

1. Для створення робочого креслення *Кронштейну* натиснути кнопку *Створити*, у вікні *Новий документ SolidWorks* клацнути на значку *Кресленик*. У вікні *Формат листа/Розмір* вибрати стандартний розмір листа формату А3, у вікні *Вид моделі* вибрати модель *Кронштейн* та натиснути кнопку *Відкрити*.

2. В наступному вікні *Вид моделі* у розділі *Орієнтація* вказати вид спереду і зверху, в розділі *Параметри* має бути встановлений прапорець *Авто-запуск проєкційного виду*, і включений перемикач *Використовувати масштаб листа*. Після закінчення роботи з розміщенням проєкційних виглядів у вікні натиснути кнопку ОК.

3. Виконати простий розріз на вигляді спереду і розташувати його справа від головного виду, забезпечуючи проєкційний зв'язок. Для того треба викликати інструментальну панель *Кресленик*, якщо її немає на екрані (*Вид/Панель інструментів/Кресленик*), натиснути кнопку *Розріз*, у діалоговому вікні *Помічник розрізу* натиснути кнопку *Розріз*, вибрати лінію розрізу. Динамічний вигляд, що з'явився, перемістити в потрібне місце і клацнути лівою кнопкою миші.

У діалоговому вікні *Розріз А-А* (в ньому можна змінювати назви розрізів, додавати нові розрізи, замість розрізу вибирати переріз, встановивши прапорець *Місцевий переріз* на вкладці *Переріз*, та ін.) натиснути кнопку ОК. Для зміни формату позначення розрізу за стандартом, потрібно двічі клацнути на ньому, в діалоговому вікні *Замітка* встановити шрифт, його розміри та ін. Оскільки в даному кресленні розріз простий, співпадає з площиною симетрії і знаходиться в проєкційному зв'язку з виглядом спереду, позначення за ЄСКД не проставляються. Можна прибрати позначення за допомогою контекстного меню, клацнувши на ньому правою клавішею миші і натиснувши команду *Приховати*, а можна зробити це, попрактикувавшись у роботі з шарами, тобто перенести їх на інший шар.

4. Для переносу позначень розрізу на інший шар, треба його створити: натиснути кнопку *Властивості шару* на панелі інструментів *Шар*, в діалоговому вікні *Шари* натиснути кнопку *Створити* призначити йому ім'я, призначити колір для елементів, які будуть в ньому розташовані (наприклад, червоний), перенести потрібний елемент на цей шар (виділити його і в контекстному меню вказати ім'я шару). Для погашення шару у вікні *Шари* клацнути кнопку

Ввімкнути/Вимкнути в потрібному рядку.

5. Виконати на головному вигляді місцевий розріз отвору під гвинт та місцевий вигляд у якому-небудь місці у збільшеному масштабі.

6. Для проставляння розмірів можна скористатися командою *Елементи моделі* меню *Вставка*. Відкоригувати автоматичне проставляння розмірів в разі потреби.

6. Для проставляння позначень шорсткості, баз, відхилень форм потрібно скористатися панеллю інструментів *Примітка*. Панель *Примітки* використовується також для проставляння осьових ліній і покажчиків центрів кіл на кресленнях.

7. Технічні вимоги виконуються над основним написом за допомогою команди *Замітка* панелі інструментів *Примітки*.

8. Аналогічно виконати робоче креслення інших деталей та складальний кресленик *Кронштейну*. На складальному кресленні *Кронштейну* проставити позиції.

Контрольні питання

1. Як змінювати параметри документа?
2. Технологія переміщення виглядів на листі.
3. Як виконати розріз на кресленні?
4. Яким чином вказується шорсткість на кресленні?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 8

Тема: Дослідження руху механізмів в SolidWorks Motion

Мета: Побудувати збірку кривошипно-шатунного механізму за допомогою блоків і виконати дослідження його руху.

Теоретичні відомості

Блок – це складовий графічний примітив, який часто використовується на початкових етапах проектування механізмів. Оскільки механізм складається з ланок, при дослідженні кінематики (без врахування силових параметрів) модель збірки за допомогою блоків є самим простим і швидким способом отримання результатів. Для того непотрібно розробляти конструкції всіх ланок і збирати модель збірки з її компонентів.

Основними задачами кінематичного дослідження є визначення положень ланок механізму та його окремих точок, їх траєкторій, швидкостей і прискорень. Дослідження руху здійснюється при натисканні вкладки знизу **Дослідження руху**. Крім того, треба активізувати додаток **SOLIDWORKS MOTION** в менеджері команд (при цьому має бути активізований й додаток **SOLIDWORKS SIMULATION**), або відкрити вікно з додатками **SOLIDWORKS** та покласти відповідні прапорці (**Інструменти-Додатки**).

Завдання

1. Побудувати за допомогою блоків кривошипно-шатунний

механізм (Рис.1), задавши потрібні спряження. Розміри – див.Табл.1.

2. Про вести аналіз руху, активізувавши додаток SOLIDWORKS MOTION. Параметри налаштування – див.Табл.1.

3. Виконати анімацію.

4. Побудувати графіки переміщень, швидкостей та прискорень.

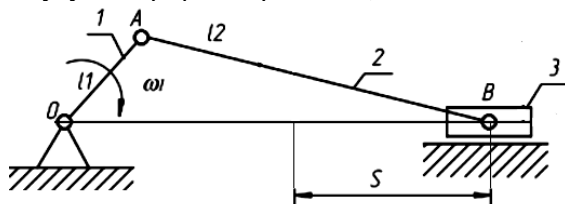


Рис.1. Функціональна схема кривошипно-шатуного механізму

Параметри	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Хід повзуна S , мм	115	140	200	210	130	200	250	230	180	160
Відношення довжини кривошипа до довжини шатуна $\lambda=l_1/l_2$	1/3	1,33	1/3,2	1/3,5	1/3,6	1/3	1/3,2	1/3,5	1/3	1/3,3
Кутова швидкість ω , c^{-1}	2,1	1,57	1,88	1,04	2,1	1,57	1,88	2,1	1,88	1,57

Хід виконання завдання (приклад).

Вхідні дані: Хід повзуна $S=120\text{мм}$; співвідношення між довжинами кривошипа та шатуна $\lambda=1/3$; кутова швидкість кривошипа $\omega=1,04c^{-1}$ (що відповідає частоті його обертання $n=10\text{хв}^{-1}$).

Механізм складається з таких ланок: **Опора шарнірна (0)**, **Кривошип (1)**, **Шатун (2)** та **Повзун (3)**.

1. Визначаємо довжини **Кривошипа** і **Повзуна**, враховуючи положення повзуна при максимальній та мінімальній віддалі від точки O (центра шарніру). Очевидно, що хід повзуна дорівнює двом довжинам кривошипа. Враховуючи λ , отримуємо довжини: $l_1=60\text{мм}$; $l_2=180\text{мм}$.

2. Створюємо файл **Збірка** та у вікні **Почати збірку**, натискаємо кнопку **Створити розташування**. З'являється площина для створення блоків (Рис.2.) Для зручності, можна викликати панель **Блоки (Вид-Панель інструментів-Блоки)**, хоча можна користуватися й **Панеллю менеджера**, де є всі потрібні кнопки.

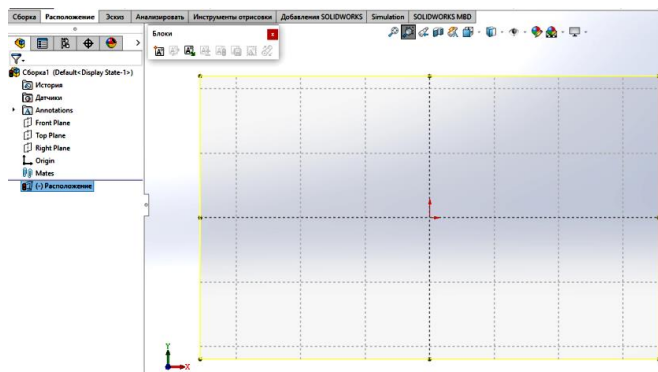


Рис.2. Вікно Розташування

3. Будемо першій блок – **Опора шарнірна**, задаючи потрібні розміри та взаємозв'язки. Після чого виділяємо побудову та натискаємо кнопку **Створити блок**, у відповідному вікні натискаємо **Точка вставки**, перетаскуємо її у центр шарніра та завершуємо операцію (Рис.3).

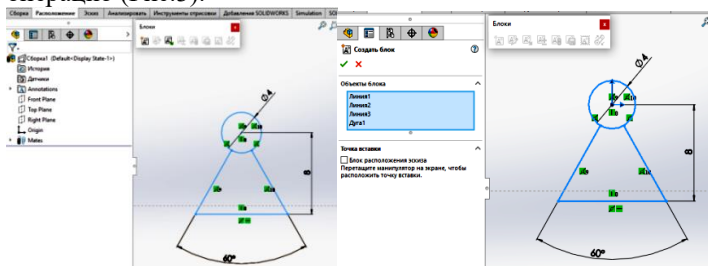


Рис.3. Побудова Опори шарнірної

4. У дереві побудови перейменовуємо **Блок1-1** у **Опору шарнірну** і натискаємо кнопку **Зберегти блок**. Аналогічно у тому ж середовищі створюємо решту блоків. Для швидкого створення шатуна можна скопіювати блок кривошипу, натиснути кнопку **Рознести блок**, після чого змінити довжину та створити новий блок з ім'ям **Шатун**. Останнім створюємо **Повзун** (Рис.4) та зберігаємо його.

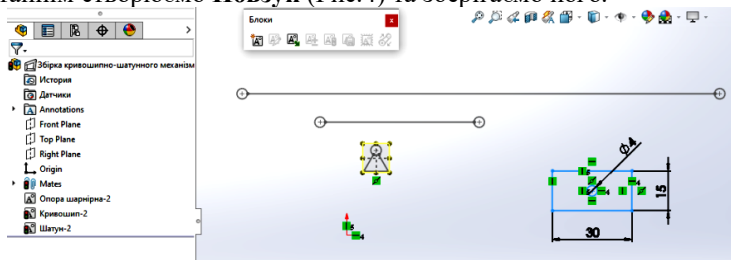


Рис.4. Побудова повзуна

5. Переходимо до збирання механізму. Для початку центр шарніра перетаскуємо у точку початку координат та накладасмо на

основу трикутника та нижню лінію повзуна взаємозв'язок **Горизонтальність**. Під'єдуємо інші ланки. Додаємо взаємозв'язок **Горизонтальність** центрів шарніра і повзуна. Результат представлений на рисунку 5.

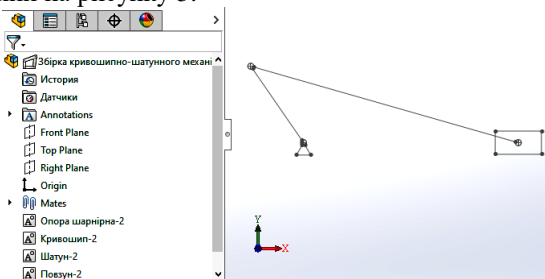


Рис.5. Кривошипно-шатунний механізм у зборі

При переміщенні однієї з ланок вручну механізм починає рухатися. Виходимо з **Розташування**, натиснувши значок у правому верхньому куті.

6. Активізуємо **SOLIDWORKS MOTION** і вибираємо зі списку типів дослідження **Аналіз руху**. На панелі **Менеджеру руху** стають активними потрібні нам кнопки (Рис.6). Натискаємо кнопку **Двигун**. У вікні (Рис.7) вибираємо вид двигуна **Обертювий двигун**, заповнюємо поля **Компонент/Напрямок**, **постійну швидкість**, **частоту обертання** задаємо $n=10 \text{ хв}^{-1}$ ($n = \omega * 30 / \pi$), враховуючи, що кутова швидкість $\omega_1 = 1,04 \text{ с}^{-1}$, та завершуємо операцію.

7. Після закриття вікна налаштування двигуна натискаємо послідовно кнопки **Розрахувати** та **Відтворити**. Час відтворення руху встановлюємо довільно (Рис.8).

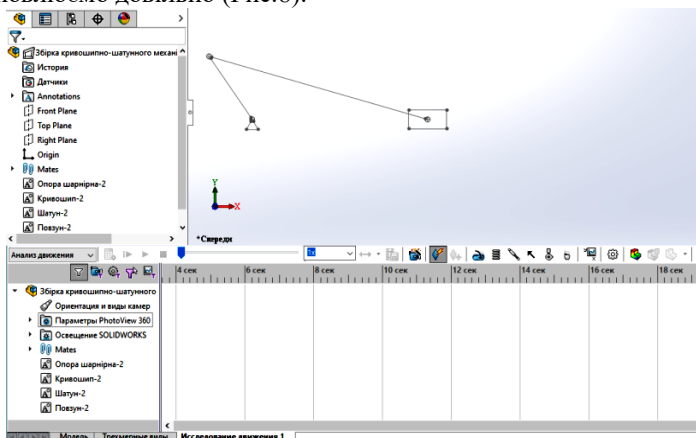


Рис.6. Вікно Аналізу руху

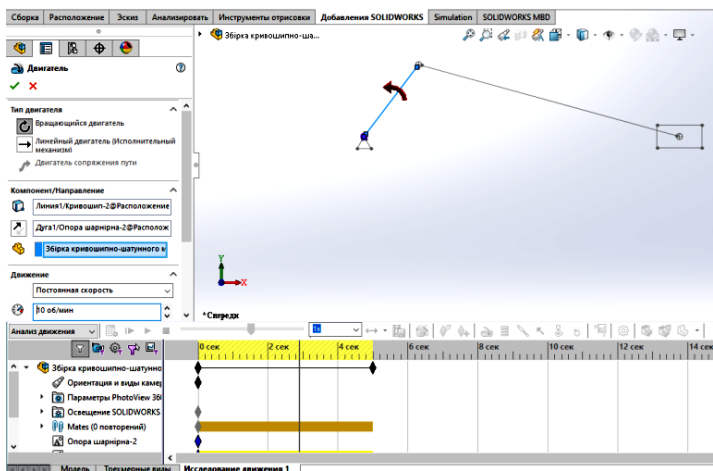


Рис.7. Вікно налаштування двигуна

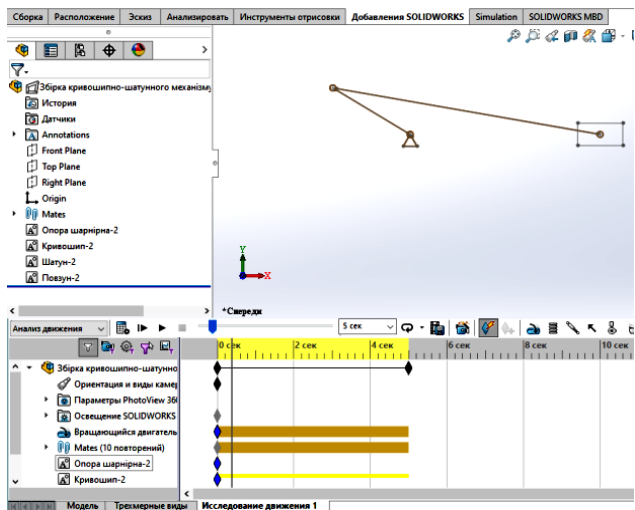


Рис.8. Момент відтворення руху механізму

8. Для отримання графіків переміщення, швидкості та прискорення натискаємо по черзі на кнопку **Результати і епюри** та налаштуємо відповідні параметри руху. Для отримання графіку переміщень повзуна у полях **Вибору категорій** вибираємо у першому - **Переміщення/швидкість/прискорення**, у другому – **Лінійне переміщення**, у третьому – **Величина**. Для введення елемента в наступному полі вказуємо вертикальну пряму повзуна. У п'ятому полі має з'явитися назва збірки після її виділення. В цьому полі можна вказувати й окремі її елементи. (Рис.9). Після завершення операції з'являється графік лінійних переміщень повзуна (Рис.10).

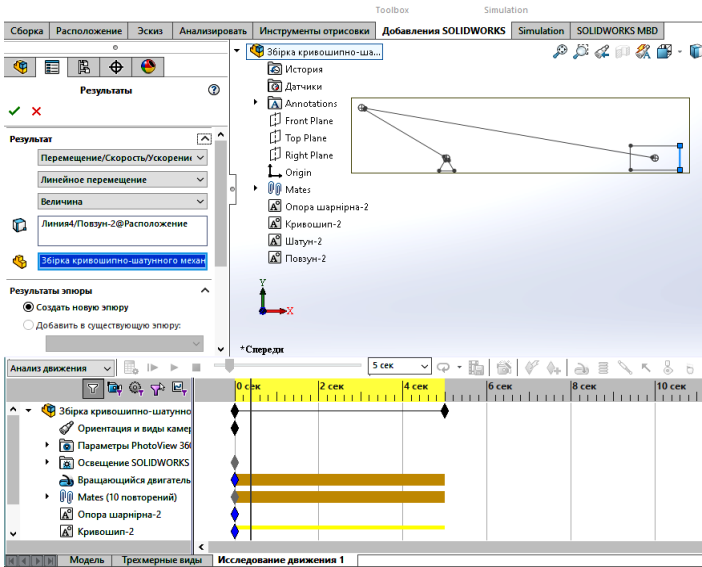


Рис.9. Налаштування параметрів для отримання графіку переміщень повзуна

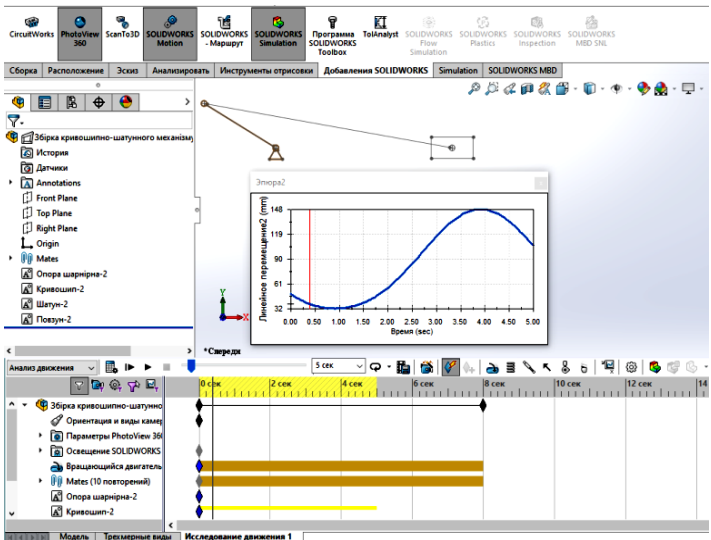


Рис.10. Графік лінійних переміщень повзуна

9. Аналогічно отримуємо графіки швидкості та прискорення (Рис.10).

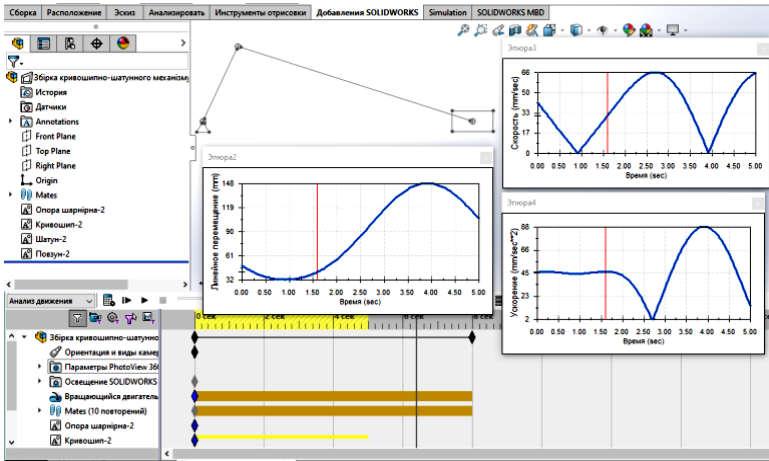


Рис.10. Графіки лінійних переміщень, швидкостей та прискорень

Анімацію руху механізму можна зберегти окремим файлом у форматі AVI або в іншому. Для цього треба натиснути на кнопку **Зберегти анімацію**.

Контрольні питання

1. Які типи дослідження руху доступні у *SolidWorks*?
2. Можливості та інструменти кожного типу дослідження.
3. Які налаштування виконуються у вікні *Двигун*?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 9

Тема: Інженерний аналіз конструкцій в *SolidWorks Simulation*

Мета: Ознайомлення з можливостями *SolidWorks Simulation* в процесі перевірки міцності деталі під навантаженням. 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, проводити оптимізацію проєктування.

Теоретичні відомості

Складовим елементом проєктування є розрахунок деталей і вузлів на міцність, тобто з'ясування таких питань:

- Чи витримає спроектована деталь задані навантаження?
- Яким чином вона буде деформуватися, і чи будуть виконуватися умови жорсткості?
- Чи можна провести оптимізацію форми деталі, щоб використовувати менший об'єм матеріалу без погіршення міцних і експлуатаційних характеристик?

Значно знизити витрати можна, виконавши тестування міцності

моделі на комп'ютері, застосувавши, зокрема, додаток SolidWorks Simulation, який призначений для підготовки і подальшого кінцево - елементного інженерного аналізу тривимірної моделі (деталі або зборки). Метод кінцевих елементів (МКЕ) є фактично стандартом при проведенні розрахунків на міцність, деформаційних і інших видів розрахунків.

МКЕ є ефективним чисельним методом рішення інженерних і фізичних задач. МКЕ є чисельним методом рішення диференціальних рівнянь, що зустрічаються у фізиці й техніці.

Для активізації пакету Simulation необхідно додати його в панель управління, викликавши команду *Інструменти/Додатки*, у вікні *Додатки* у рядку *SolidWorks Simulation* встановити прапорці у колонці *Активні додатки* і *Запуск*, після чого натиснути ОК.

Завдання 1

Створити тривимірну модель деталі **Хомут** (Рис.1)

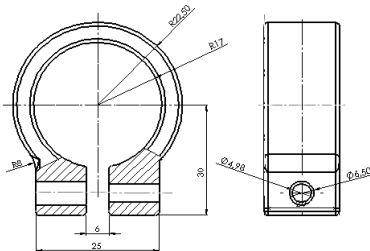


Рис. 1. Ескіз деталі Хомут

Провести статичний аналіз при таких вихідних даних: матеріал хомута – проста вуглецева сталь; прикладений до грані **Хомута** тиск – 10000МПа.

Порядок виконання роботи

1. Створити новий файл деталі **Хомут** згідно завдання і побудувати модель. Зберегти файл у власній папці.

2. Виконати команду *Simulation/Дослідження...* У діалоговому вікні *Дослідження* в полі *Ім'я* задати ім'я деталі <Хомут>, в розділі *Тип* вибрати *Статичне* (після завдання параметрів їх вже не можна змінювати). Саме з статичного дослідження починаються всі інші.

3. Використовуючи *Дерево Конструювання* задати матеріал (на на пункті *Матеріал* <не вказано> натиснути праву кнопку миші, в контекстному меню вибрати *Проста вуглецева сталь*).

4. Для накладання кріплення деталі підвести покажчик миші до елементу *Кріплення* в розділі *Simulation* менеджера властивостей і натиснути праву кнопку миші. У контекстному меню вибрати пункт *Зафіксована геометрія*, після чого вибрати потрібну грань та натиснути кнопку ОК (див. Рис.2).

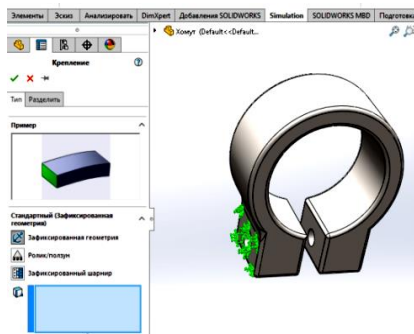


Рис. 2. Накладання кріплення

5. Повернути деталь протилежною стороною (зовнішня грань з різьбовим отвором), підвести покажчик миші до елемента *Зовнішні навантаження* в розділі *Simulation* менеджера властивостей і натиснути праву кнопку миші. У контекстному меню вибрати пункт *Тиск*. У вікні *Тиск* вибрати потрібну грань і задати тиск 10000МПа (Рис.3).

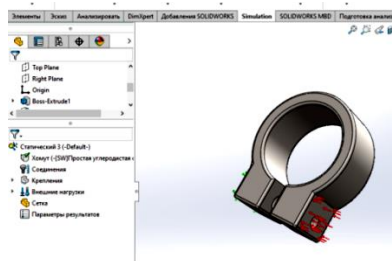


Рис. 3. Накладання навантаження

6. Сформувати сітку (натиснути на рядок **Сітка**, в контекстному меню вибрати пункт **Створити сітку**) (Рис.4).

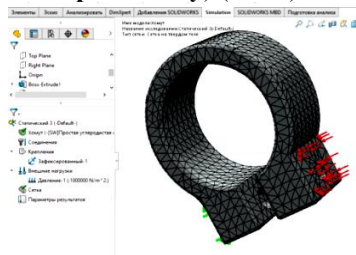


Рис.4. Формування сітки за методом кінцевих елементів

7. Для запуску розрахунку вибрати команду *Запустити дослідження* на панелі *Менеджер команд* або меню *Simulation/Запустити*. У процесі розрахунку може з'явитися діалогове вікно з попередженням, що в процесі розрахунку модель значно деформується, якщо це неприпустимо, треба виправити помилку. У даному випадку в *Хомуті* великі переміщення можливі, оскільки він

стягуються в процесі зборки, тому треба натиснути кнопку *Так*.

8. Переглянути результати:

Проаналізувати напруження в деталі за допомогою елемента *Напруження* панелі інструментів *Simulation*. Якщо ділянки деталі окрашені в колір, що відповідає напрузі вище за границю текучості, потрібно здійснити зміни в її конструкції (Рис.5).

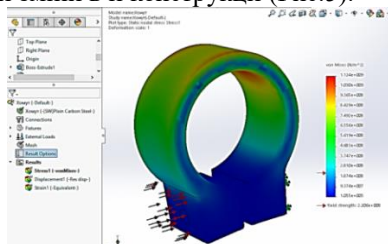


Рис. 5. Результат по напруженнях

9. Проаналізувати міцність деталі по інших показниках (Рис.6-7), зберегти звіт у файлі формату Word. По можливості, провести оптимізацію конструкції хомута.

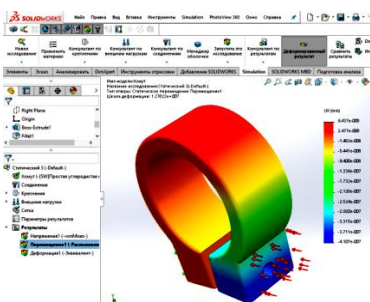


Рис. 6. Результат по переміщеннях

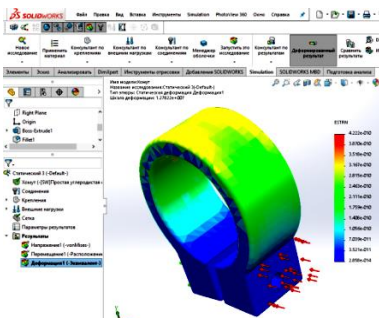


Рис. 7. Результат по деформаціях

Завдання 2

Провести оптимізацію конструкції кронштейна (Рис.8) з метою зменшення маси. Матеріал – проста вуглецева сталь, тиск – 0,5МПа.

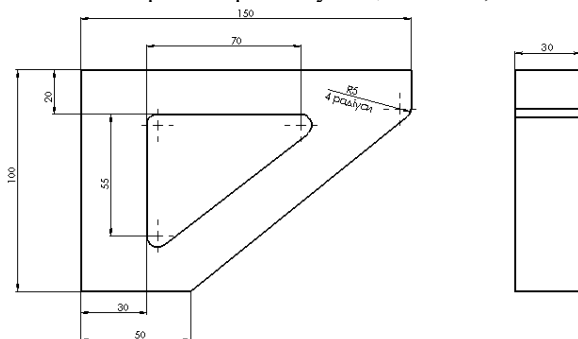


Рис.8. Кресленник кронштейна

Порядок виконання роботи

1. Створити модель кронштейну. Провести статичний аналіз, впевнитись, що напруження у всіх перерізах не перевищують границі текучості.

2. Провести новий аналіз, натиснувши кнопку **Нове дослідження** у менеджері команд та вказавши на рядок **Дослідження проектування** (Рис.9).

3. В таблиці у вкладці **Перегляд даних** ввести змінні (по черзі ввести, наприклад, 3 розміри, задавши їх імена: $D1=70\text{мм}$ $D2=20\text{мм}$ $D3=30\text{мм}$).

4. Додати **Обмеження**, вказавши **Тип датчика**. Вибираємо **Дані моделювання**, в наступних полях вказуємо **Напруження**, по **Місесу**, у полі **Властивості** вказуємо одиниці вимірювання **МПа** та виходимо з вікна. Вибираємо ще один датчик типу **Масові характеристики**. В обмеженнях вказуємо, що максимальне напруження менше 200МПа , маса менше за наявну, або вказуємо конкретне значення. Після внесення даних натискаємо кнопку **Виконати**.

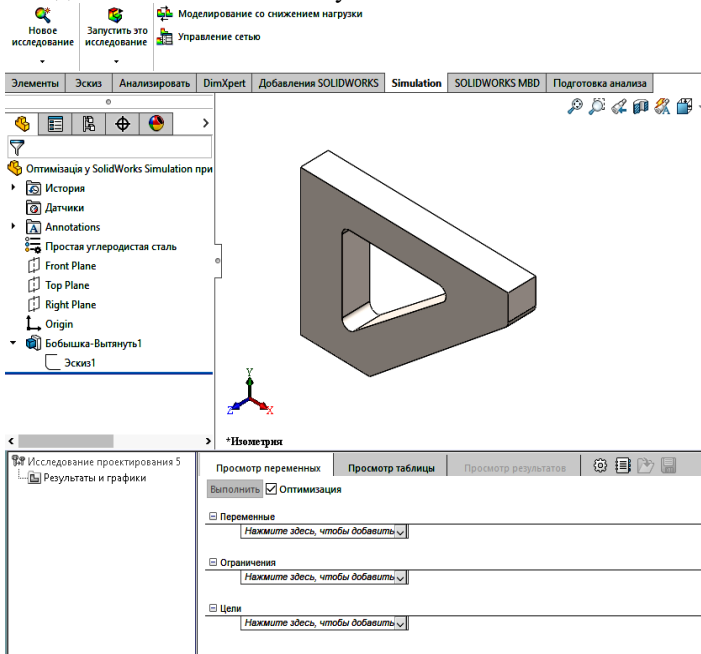


Рис.9. Вікно дослідження проектування

Програма знаходить оптимальне рішення, використовуючи безліч ітерацій і відображає вихідний сценарій, оптимальний сценарій і всі ітерації. Але потрібно враховувати можливості комп'ютера, оскільки чим менший крок в діапазоні досліджень, тим більше часу потрібно на його опрацювання.

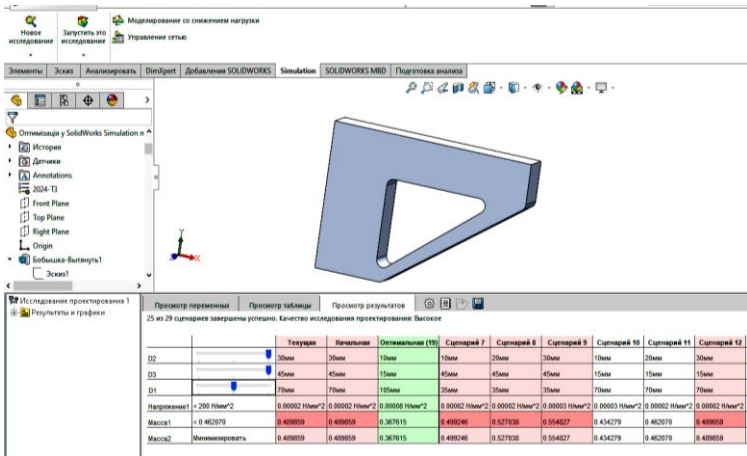


Рис.10. Результат оптимізації конструкції кронштейна

Як бачимо, форма деталі змінилася. В таблиці у стовпчику **Оптиміальна** вказані нові розміри деталі та її маса. Було проведено дослідження 29 сценаріїв.

Контрольні питання

1. Назвіть порядок проведення статичного аналізу в системі SolidWorks Simulation.
2. Які ще дослідження передбачає SolidWorks Simulation?
3. В чому полягає метод кінцевих елементів (МКЕ)?
4. Що розуміють під терміном границя текучості?
5. Що розуміють під оптимізаційним дослідженням проектування?
6. Які задачі можна вирішити за допомогою дослідження проектування?
7. Які типи досліджень проектування Ви знаєте?
8. Назвіть порядок проведення оптимізації форми за допомогою дослідження проектування в системі SolidWorks Simulation.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Козяр, М. М. Комп'ютерна графіка: SolidWorks: навчальний посібник /М.М.Козяр, Ю.В.Фещук, О.В.Парфенюк. – стереотипне видання.– Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2024. – 252 с.
2. Інженерна графіка в SolidWorks: Навчальний посібник/ С.І. Пустюльга, В.Р. Самостян, Ю.В. Клак – Луцьк: Вежа, 2018. – 172 с.
3. Ворощук В.Я. Solidworks у завданнях 3D моделювання та інжинірингу технічних систем. Навч. посібник / В.Я. Ворощук, Т.М. Вітенько. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2021. 164 с.
4. Козяр М.М. Чотиривимірне моделювання технічних об'єктів засобами САПР: електронний навчальний посібник. Рівне. НУВГП, 2018. 313с.
5. Холодняк Ю. В. Комп'ютерне проектування промислових виробів: конспект лекцій. ТДАТУ. – Мелітополь: Люкс, 2021. – 140 с.
6. Ворощук В.Я. Solidworks у завданнях 3D моделювання та інжинірингу технічних систем: навч. посібник / В.Я. Ворощук, Т.М. Вітенько. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2021. 164 с.
7. Плашихін С.В. Параметричне моделювання технологічних процесів Розділ 1. Основи твердотільного параметричного моделювання в системі SolidWorks: навч. посібник/ С.В. Плашихін, Д.М. Складанний, Ю.А. Запорожець, С.Л. Мердух. Київ: КПІ ім. І.Сікорського 2022. - 83с. (електронне мережне навчальне видання).
8. Донченко М. В. Технології комп'ютерного проектування: навч. посіб. Миколаїв: Вид-во ЧНУ ім. Петра Могили, 2021. - 364с.
9. Системи автоматизованого проектування: конспект лекцій [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», спеціалізації «Комп'ютерно інтегровані системи та технології в приладобудуванні» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; автори: К.С. Барандич, О.О. Подолян, М.М. Гладський. – Електронні текстові дані (1 файл 3,05 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 97 с.
10. SolidWorks Web Help. Справка по SolidWorks 2017[Електронний ресурс]/Режим доступу: [http://help.solidworks.com/ HelpProducts.aspx](http://help.solidworks.com/HelpProducts.aspx).

Навчально-методичне видання

**КОМП'ЮТЕРНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ТА МОДЕЛЮВАННЯ
У CAD/CAE/CAM СИСТЕМАХ**

Лабораторний практикум для здобувачів першого
(бакалаврського) рівня вищої освіти денної форми навчання
спеціальності 131 «Прикладна механіка»

Укладачі: О.В. Габовда, Т.Т. Рейс

Тираж 15 пр.

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до
Державного реєстру видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів
видавничої продукції ДК № 4916 від 16.06.2015 р.

Редакційно-видавничий відділ МДУ, 89600, м.Мукачево,
вул.Ужгородська, 26



МУКАЧІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

89600, м. Мукачево, вул. Ужгородська, 26

тел./факс +380-3131-21109

Веб-сайт університету: www.msu.edu.ua

E-mail: info@msu.edu.ua, pr@mail.msu.edu.ua

Веб-сайт Інституційного репозитарію Наукової бібліотеки МДУ: <http://dspace.msu.edu.ua:8080>

Веб-сайт Наукової бібліотеки МДУ: <http://msu.edu.ua/library/>