

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

## ТЕХНОЛОГІЯ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ

Методичні вказівки  
до виконання комп'ютерного практикуму  
для студентів напряму підготовки 6.051003 «Приладобудування»,  
професійного спрямування «Прилади і системи неруйнівного контролю»

*Рекомендовано кафедрою  
приладів і систем  
неруйнівного контролю  
(протокол № 1 від 29.08.2017 р.)*

Київ  
КПІ ім. Ігоря Сікорського  
2017

**Технологія приладобудування:** Методичні вказівки до виконання комп'ютерного практикуму для студентів напряму підготовки 6.051003 «Приладобудування», професійного спрямування «Прилади і системи неруйнівного контролю» денної форми навчання [Текст] / Уклад.: О. В. Муравйов – К.: НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2017. – 73 с.

Методичні вказівки призначено для студентів напряму підготовки 6.051003 «Приладобудування», професійного спрямування «Прилади і системи неруйнівного контролю» денної форми навчання. У вказівках розкриваються принципи офіційного визнання відповідності навчальних видань та електронних освітніх ресурсів вимогам стандартів та основні вимоги до таких рукописів.

Навчальне електронне мережне видання

## ТЕХНОЛОГІЯ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ

Методичні вказівки

до виконання комп'ютерного практикуму

для студентів напряму підготовки 6.051003 «Приладобудування»,  
професійного спрямування «Прилади і системи неруйнівного контролю»

Укладач: *Муравйов Олександр Володимирович, к.т.н., ст. викладач*

Відповідальний  
редактор:

Рецензент:

*За редакцією укладачів*

НТУУ "КПІ ім. Ігоря Сікорського", 2017 рік

## Розділ 1. САПР Компас

Компас - сімейство систем автоматизованого проектування (САПР) з можливостями оформлення проектної та конструкторської документації відповідно до стандартів серії ЄСКД (єдина система конструкторської документації) і СПДБ (система проектної документації для будівництва).

Розробником продукту є компанія «Аскон». Назва лінійки є акронімом від фрази «КОМПлекс Автоматизованих Систем».

Особливістю САПР Компас є простота в освоєнні та інтуїтивний інтерфейс.

Дані методичні вказівки розроблені для версії програми Компас-3D V14, однак можуть використовуватися і для інших версій пакету.

### Практичне заняття № 1.1

#### Тема: Основи роботи з інтерфейсом САПР Компас. Оформлення креслення

#### *Налагодження та робота з інтерфейсом програми*

Робота з 2D об'єктами в середовищі Компас починається зі створення нового креслення, що виконується шляхом переходу на панелі інструментів «Меню» -> «Создать» (кнопка «Создать» на панелі інструментів «Стандартная»), де в якості нового документи вибирається «Чертеж».

Інтерфейс програми Компас надзвичайно простий в управлінні і використанні. Крім основної панелі інструментів «Меню», що містить вкладки «Файл», «Редактор», «Выделить» і т.д., існують допоміжні панелі інструментів, за допомогою яких можна прискорити доступ до функцій роботи з документом або об'єктами. Всі панелі інструментів можуть бути вільно переміщені в будь-яку точку програмного вікна шляхом перетягування курсором, а їх вміст змінено за бажанням користувача. Відобразити весь список інструментальних панелей і дізнатися, які включені в даний момент, можна викликавши контекстне меню в будь-якій точці поза робочим полем. В даному контекстному меню можна також закріпити положення панелей інструментів, щоб уникнути їх випадкового переміщення.

Розглянемо деякі допоміжні панелі, використання яких настійно рекомендується при роботі з програмою:

- *стандартная* - дозволяє виконувати операції над файлами і їх вмістом (збереження, відкриття, друк, попередній перегляд, вирізати-копіювати, скасувати-повторити останню дію);

- *компактная панель* - містить основні елементи та функції роботи з об'єктами (геометрія, розміри, позначення, редагування, вимірювання, виділення і т.д.) і має дуже зручний для їх виклику формат.

- *вид* - дозволяє здійснювати управління поточним масштабом зображення документа;

- *текущее состояние* - панель містить значення поточного кроку курсору; дозволяє активувати ортогональне креслення, округлення лінійних величин відповідно до поточного кроку курсору, вмикати / вимикати і управляти параметрами координатної сітки; відображає поточні координати курсору на робочому полі документа.

- *глобальные привязки* - дозволяє вмикати / вимикати різні види прив'язок до об'єктів документа, такі як найближча точка, середина, нормаль, вирівнювання, сітка, центр і т.д. Використання прив'язок значно полегшує роботу по створенню об'єктів в середовищі Компас.

Особливістю компактної панелі є можливість додавання в неї інших панелей інструментів у вигляді іконок (за винятком панелей «меню», «стандартная», «вид», «текущее состояние», «глобальные привязки»). Для цього необхідно, утримуючи клавішу «Alt» перетягнути за заголовок панель інструментів на компактну панель, і після появи символу «+» закінчити перетягування. Натискання на будь-яку кнопку на компактній панелі викличе відображення всіх функцій даного меню у вигляді іконок на цій же панелі. Видалення іконок проводиться перетягуванням з панелі при відключеній функції закріплення положення панелей та подальшим закриттям вікна.

Розглянемо основні елементи (інструментальні панелі), які за замовчуванням містить компактна панель інструментів:

- *геометрия* - містить основні елементи побудови об'єктів: точка, відрізок, окружність, дуга, прямокутник, фаска, скруглення і т.д. На особливу увагу заслуговує допоміжна пряма, яка не відображається на кресленні при друку або попередньому перегляді. Також дана панель інструментів містить функцію штрихування, що дозволяє наносити будь-який його вид всередині замкнутих контурів об'єктів;

- *размеры* - простановка різного роду розмірів об'єктів;

- *обозначения* - панель містить іконки вставки в документ текстового блоку, таблиці, знаків шорсткості, позначення бази, позицій, лінії виноски, розрізу, стрілки напрямку погляду, позначення центру, лінії перетину, осьової лінії і т.д.;

- *редактирование* - дозволяє викликати функції зсуву, повороту, масштабування елементів; усічення, подовження та розбиття відрізків і т.д. Надзвичайно корисною є функція симетрії, що дозволяє симетрично копіювати елементи щодо будь-якої точки робочого поля документа.

- *измерения* - панель містить функції вимірювання відстані по всім координатним осях між точками різних елементів об'єктів.

### *Елементи оформлення креслення*

Оформлення конструкторської документації строго регламентується стандартами. Для ЄСКД до таких стандартів належать:

ГОСТ 2.301-68 - визначає формати креслень і масштаби об'єктів;  
ГОСТ 2.104-2006 - регламентує параметри основного напису креслення;  
ГОСТ 2.304-81 - визначає параметри креслярських шрифтів, регламентує параметри ліній на кресленнях.

### *Формат креслення*

Креслення виконують на аркушах певного формату (розміру). Створення креслення починається з вибору формату документа, який оптимально підходить для зображення об'єкта. Виходячи з реального розміру об'єкта, наявності в ньому дрібних елементів і типу конструкторської документації вибирають формат, керуючись такими міркуваннями:

- формат документа повинен бути використаний раціонально, тобто, практично все робоче поле креслення повинно бути задіяне. Якщо більше половини робочого поля залишається вільним, формат креслення слід зменшити в 2 або більше разів;

- масштаб об'єктів, зображених на кресленні, вибирається таким чином, щоб були чітко видні їх найдрібніші елементи. Збільшення понад необхідність масштабу об'єктів з метою збільшення формату креслення є нераціональним використанням формату.

В САПР Компас формат і орієнтація поточного документа вибираються за допомогою контекстного меню, викликаного в будь-якій вільній точці робочого поля креслення. Після вибору пункту «параметры текущего чертежа» у вікні, що відкрилося, перейти у вкладку «текущий чертеж», вибрати пункт «параметры первого листа», «Формат».

### *Оформлення основного напису*

Вид оформлення основного напису креслення, а також вид його рамки вибираються також в «параметрах первого листа», як і формат креслення. Для цього в пункті «Оформление» необхідно вказати вид конструкторської документації, що цікавить, по потрібному стандарту. За замовчуванням креслення створюються зі стилем «Чертеж конст. Первый лист. ГОСТ 2.104-2006».

Якщо не один з стилів основного напису не відповідає вимогам користувача, існуючий стиль можна відредагувати, але настійно рекомендується створити на основі поточного стилю новий. Для цього слід вибрати: «Сервис» -> «Библиотеки стилей ...» -> «Основные надписи». У вікні, натиснути кнопку «Создать», а потім, використовуючи стиль основного напису «Чертеж конст. Первый лист. ГОСТ 2.104-2006» в якості прототипу, створити стиль з новим ім'ям і номером, а також відредагованим складом і змістом основного напису. Для редагування змісту основного напису двічі клацаємо «главная таблица» і редагуємо її вміст. Після цього вибираємо «Файл» -> «Сохранить таблицу» і закриваємо таблицю основного напису. Потрібно впевнитися, що опорні точки прив'язки основного напису встановлені

правильно, після чого натискаємо кнопку «ОК». У списку з'явиться новий стиль під вказаним ім'ям і номером.

Для того, щоб задати автоматичне використання нового стилю основного напису на майбутніх кресленнях необхідно перейти в «Сервис» -> «Библиотеки стилей ...» -> «Оформление чертежей и спецификаций». У списку вибрати стиль «Креслення конст. Первый лист. ГОСТ 2.104-2006 », що буде використовуватися за замовчуванням, а у вікні, що відрилося, в графі «Основная надпись» вибрати новий створений стиль основного напису (рис. 1.1.1).

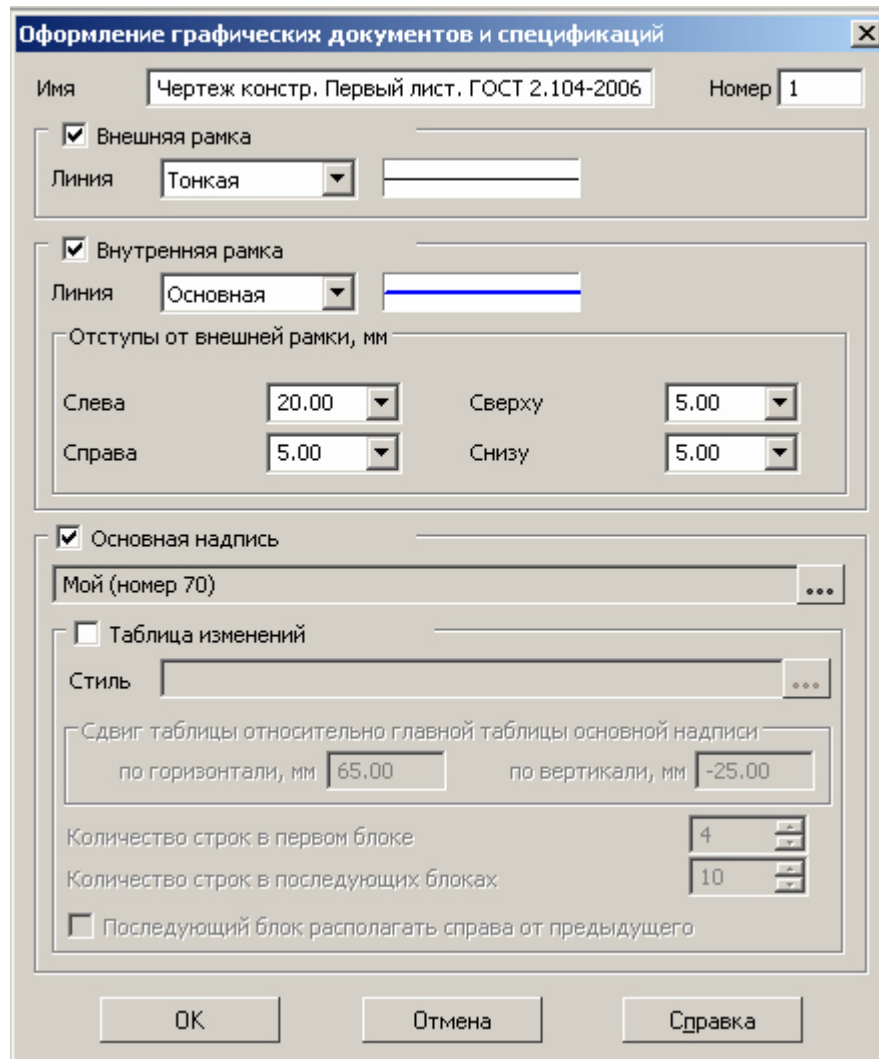


Рис. 1.1.1 Вибір стилю основного напису для оформлення креслень

Після натискань «ОК» -> «Выход» програма видасть повідомлення «Оформление документа не соответствует исходному в библиотеке оформлений». Вікно з повідомленням необхідно закрити. Після цього на всіх нових кресленнях автоматично використовуватиметься новий (призначений користувачем) стиль основного напису.

## Технічні вимоги

На кресленнях реальних деталей, схем і об'єктів часто вказуються технічні вимоги (ТВ), які можуть включати наступні пункти: розміри для довідок, покриття, пайку або клей, характеристики деталі і т.д. У Компасі ТВ можна вказати як за допомогою простого текстового блоку («Ввод текста» меню «Обозначения»), так і використавши спеціальну вбудовану функцію через «Вставка» -> «Технические требования» -> «Ввод». В останньому випадку оформити ТВ необхідно у вікні, а після закінчення роботи закрити це вікно зі збереженням змін в технічних вимогах. Змінити розташування написаних ТВ на кресленні можна через «Вставка» -> «Технические требования» -> «Размещение».

### Вказівка шорсткості поверхонь

Шорсткість поверхні позначають на кресленні для всіх виконуваних за даним кресленням поверхонь виробу, незалежно від методів їх утворення, крім поверхонь, шорсткість яких не обумовлена вимогами інструкції. Вказати шорсткість конкретної поверхні і її тип (рис. 1.1.2) на кресленнях деталей можна використовуючи в меню «Обозначения» компактної панелі функцію «Шероховатость».



Рис. 1.1.2 Типи позначення шорсткості поверхні

Вставити на креслення позначення незазначеної шорсткості для всіх інших поверхонь можна шляхом «Вставка» -> «Неуказанная шероховатость» -> «Ввод».

### Завдання:

1. Налаштувати інтерфейс САПР Компас для особистої зручності користування, відобразивши потрібні панелі інструментів і закріпивши їх положення.

2. Створити власний новий стиль основного напису з ім'ям «my stile», в якому повинні бути присутні тільки рамка і головна таблиця з вставленими ПІБ студента і назвою установи, де розроблено креслення. Встановити використання нового стилю за замовчуванням для всіх майбутніх креслень.

3. Створити спрощене креслення (прийняти конструкцію за суцільнолиту з довільними розмірами) штифта браслета наручного годинника, наведеного на рис. 1.1.3. Формат креслення А4 з горизонтальною орієнтацією. Необхідно відобразити мінімум два види деталі.

4. Вказати тип і величину допустимої шорсткості всіх поверхонь деталі.

5. У технічних вимогах вказати: «1. \* Розміри для довідок » і «2. Покриття ХТВ 126 по ГОСТ 9.306-85 » (покриття хромове, тверде, товщиною 12 мкм, блискуче по всій поверхні штифта).

6. Заповнити основний напис на кресленні: шифр, назва деталі, матеріал, масштаб.



Рис. 1.1.3 Штифт браслета наручного годинника

## Практичне заняття № 1.2

### Тема: Проектування 2D об'єктів. управління шарами

При роботі з кресленнями часто доводиться оперувати великою кількістю елементів (ліній, розмірів, позначень), що ускладнює сприйняття окремих елементів користувачем. Щоб уникнути таких складнощів рекомендується розміщувати різні види блоків графічної інформації на різних логічних або фізичних рівнях, які в САПР Компас представлені шарами. У шарів існує три властивості, які характеризують їх поточний стан:

- *активність* – управляє доступністю об'єктів шару для редагування і має два значення: активний і фоновий;
- *видимість* – управляє відображенням шару на екрані і також має два значення: видимий і погашений;
- *печать* – управляє виведенням на друк всіх об'єктів даного шару. За допомогою даної функції існує можливість на окремих шарах робити на кресленні допоміжні позначки або коментарі, які надалі при друку документа не будуть на ньому відображені.

Для створення нового шару необхідно перейти у «Вставка» -> «Слой» або для швидкого доступу скористатися кнопкою «Управление слоями» на панелі інструментів «Текущее состояние». При відкритті вікна в ньому буде відображено «системный слой», присутній в документі завжди, який буде обраний в якості поточного робочого шару (на ньому стоїть червона галочка). Після створення нового шару (натисканням кнопки « Создать слой») рекомендується ввести його логічне ім'я (наприклад, «розміри» або «позначення») і вибрати колір відображення об'єктів. При створенні креслень з великою кількістю об'єктів різного характеру рекомендується розносити їх по

різним шарам і відобразити різними кольорами. Наприклад, конструкцію, простановку розмірів і позначення рекомендується завжди розміщувати на різних шарах, що значно полегшить подальше редагування та сприйняття інформації з креслення в електронному вигляді.

### Завдання:

1. За наведеною аксонометрією (рис. 1.2.1) створити 2D креслення деталі з трьома асоціативними образами. Використовувати місцеві і складні розрізи. Проставлення розмірів і позначення виконати на окремих шарах різними кольорами.

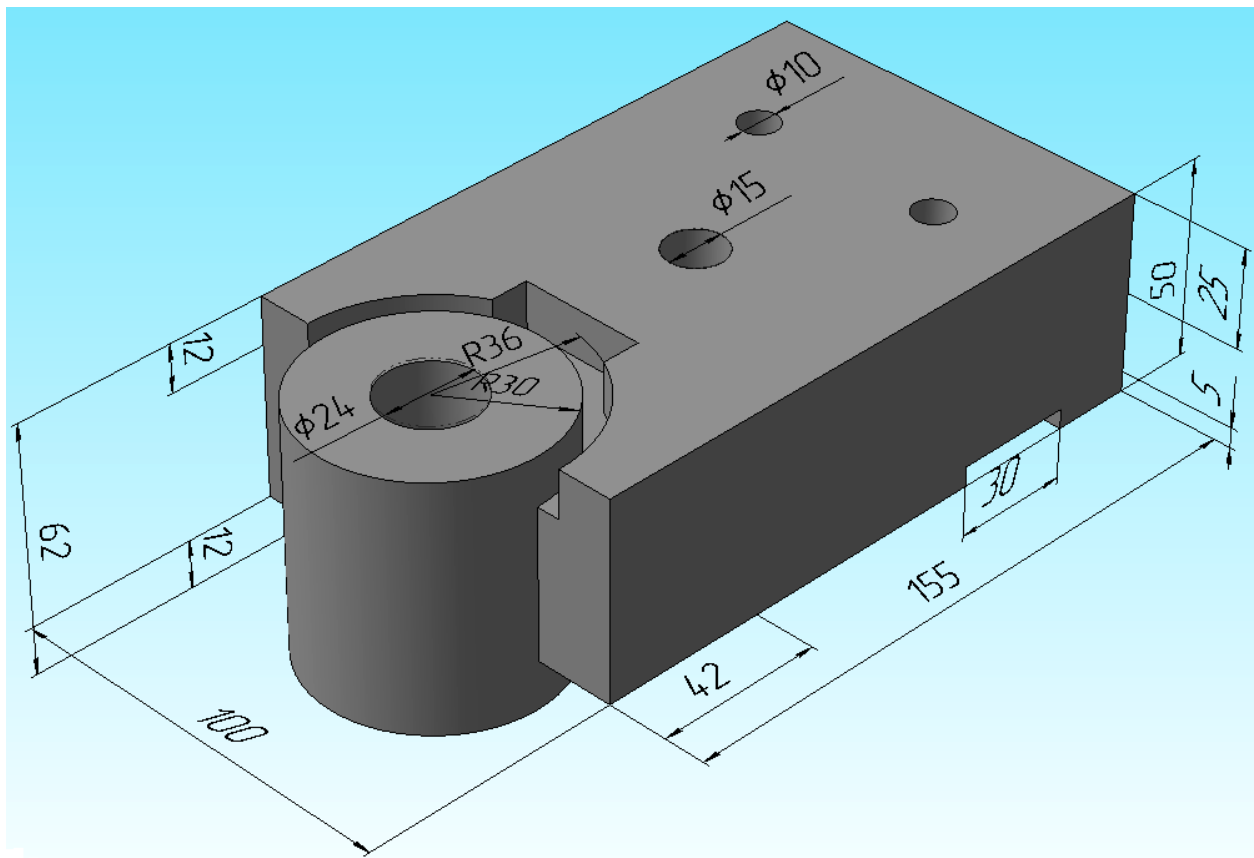


Рис 1.2.1 Аксонометрія деталі

## Практичне заняття № 1.3

### Тема: Основи 3D проектування в Компас. Прості деталі. Масиви

Створення 3D об'єктів в САПР Компас відбувається вибором в якості нового документа «Деталь». Після відкриття документа відобразиться робоче поле моделі з трьома координатними площинами, які є основними для побудови об'єктів.

Колір фону робочого поля моделі при необхідності можна змінити через меню «Сервіс» -> «Параметри» -> вкладка «Система» -> «Екран» -> «Фон робочого поля моделей». Слід пам'ятати, що при цьому колір фону робочого поля зміниться для всіх документів з моделями в програмі.

Точність відтворення моделі задається через меню «Сервіс» -> «Параметри» -> вкладка «Текущая деталь» -> «Точность отрисовки и МЦХ», однак висока точність відображення моделі невідворотно позначиться на продуктивності роботи комп'ютера. При побудові моделі рекомендується ставити точність відтворення в межах 1000 точок, а для більш реалістичною остаточної візуалізації підняти значення до необхідного.

Для більш реалістичного відображення моделі є можливість не відображати різні види об'єктів (системи координат, ескізи, розміри) на робочому полі деталі. Цю функцію можна активувати через меню «Вид» -> «Скрыть». Приховані таким чином види об'єктів більше не будуть відображатися на моделі до скасування активації цієї команди тим же шляхом.

### *Ескіз*

Побудова базових елементів 3D моделі відбувається виключно на ескізі, а результат тривимірного перетворення цих елементів формується після виходу з режиму ескізу.

Для початку побудови моделі необхідно вибрати робочу координатну площину і перейти на ній в режим ескізу. Кнопка переходу в режим ескізу з'являється відразу після вибору робочої площини і дублюється на панелі поточного стану, в контекстному меню площині, в контекстному меню елементів дерева моделі і т.д.

Для зручності роботи з ескізом рекомендується завжди розгортати площину поточного ескізу «Нормально к ...», тобто перпендикулярно до напрямку погляду користувача (в площині екрану). Дану дію можна вибрати в контекстних меню площині або елемента дерева моделі.

У режимі ескізу стають активні елементи 2D режиму на панелі інструментів швидкого доступу («Геометрия», «Размеры», «Обозначения» ...), за допомогою яких будується ескіз на заданій площині.

Крім початкових координатних площин в режим ескізу можна перейти на будь-якій плоскій грані побудованої моделі. Шляхом поступового формування

нових граней елементів об'єкта і створення ескізів на них формується вся 3D деталь.

### *Редагування деталі*

Основні функції для формування тривимірних елементів (на базі елементів побудованих в режимі ескізу) містить інструментальна панель «Редактирование детали», розміщена на компактній панелі. Приклади реалізації операцій «Редактирования детали» наведені в табл. 1.3.1.

Перша кнопка панелі «Редактирование детали», при утриманні її натиснутою, формує список з чотирьох функцій редагування:

- «Операция выдавливания» – використовується для побудови основи шляхом витягування елемента ескізу перпендикулярно заданій площині координат з можливістю нахилу;

- «Операция вращения» – призначена для формування основи шляхом обертання елемента ескізу навколо заданої осі;

- «Кинематическая операция» – використовується для побудови елементів моделі шляхом переміщення одного ескізу уздовж іншого. Елементи ескізів при цьому повинні перетинатися, а ескіз траєкторії в точці перетину з утворюючим ескізом повинні формувати прямий кут. Також ескіз, що формує грані елемента, повинен розташовуватися строго на початку траєкторії.

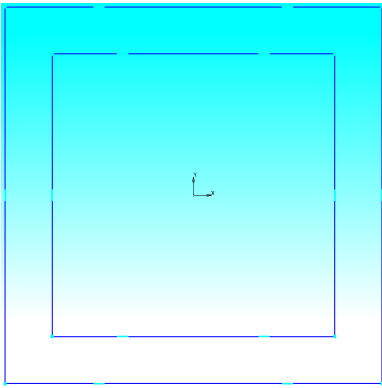
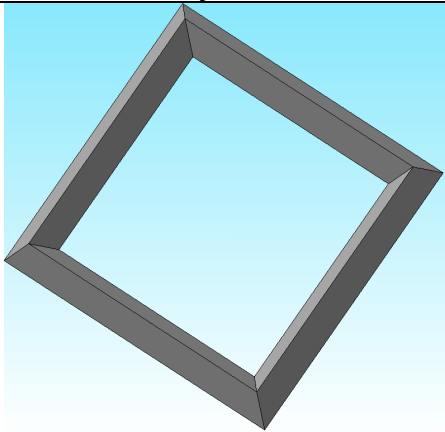
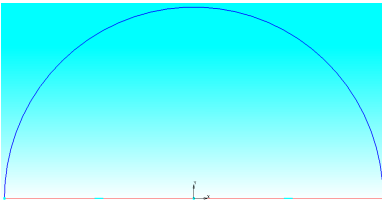
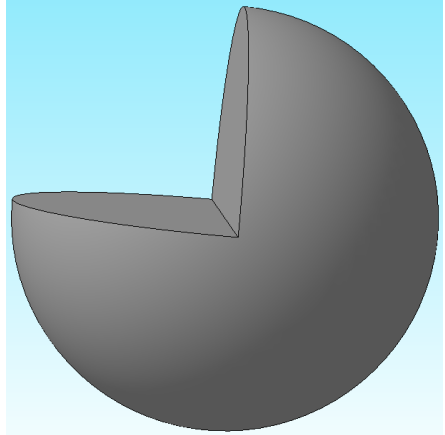
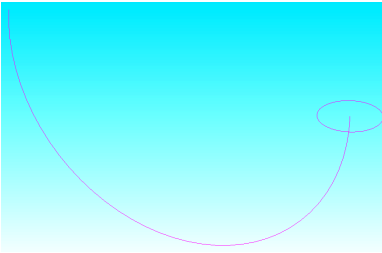
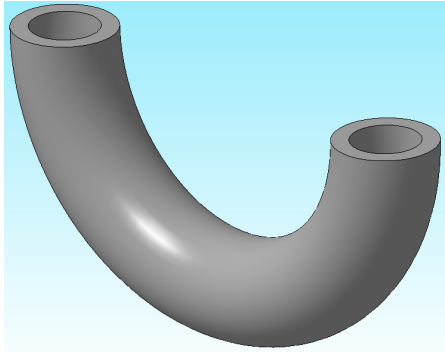
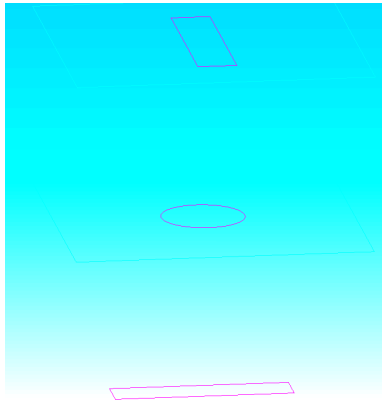
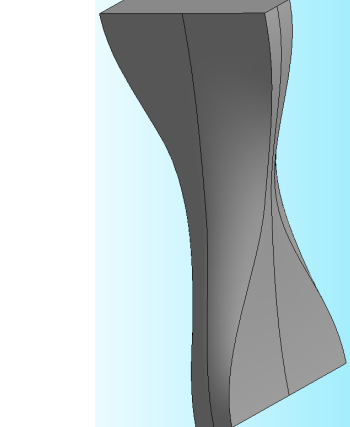
- «Операция по сечениям» – призначена для формування основи шляхом об'єднання поперечних перерізів, розташованих на ескізах різних координатних площин.

Існує також симетрична четвірка функцій для вирізання елементів різної форми (формування пустот в обсязі твердотільної деталі), виклик яких також відбувається з панелі «Редактирование детали»: «Вырезать выдавливанием», «Вырезать вращением», «Вырезать кинематически» і «Вырезать по сечениям».

### *Допоміжна геометрія*

Досить часто виникає необхідність додати додаткові координатні площині крім уже існуючих на початку координат. Особливо це стосується випадків, коли необхідно виконати операцію (видавити / вирізати) над циліндричної або сферичної поверхнею (рис. 1.3.1) або побудувати деталь по її перетинах в різних площинах (табл. 1.3.1). Реалізувати дані дії неможливо без застосування панелі інструментів «Вспомогательная геометрия», а саме функцій додавання площин з різною орієнтацією по відношенню до опорної грані. Наприклад, для створення паралельної площині на заданому віддаленні використовується функція «Смещенная плоскость», а для подальшої роботи з циліндричної гранню застосовують функцію «Касательная плоскость» з можливістю задати кут її розташування щодо грані.

Таблиця 1.3.1 Приклади реалізації операцій «Редактирования детали»

Ескіз	Операція	Результат
	<p><i>Выдавливание</i> з кутом нахилу <math>25^\circ</math>.</p>	
	<p><i>Вращение</i> дуги на кут <math>270^\circ</math> навколо осі.</p>	
	<p><i>Кинематическая операция</i> над дугою (траекторія) і окружністю (перетин), розташованих на ескізах у взаємно перпендикулярних площинах, з тонкою стінкою назовні.</p>	
	<p><i>Операция по сечениям</i> над двома розташованими під <math>90^\circ</math> один до одного прямокутниками і окружністю, які розміщені на трьох паралельних площинах.</p>	

## Масив елементів

Для копіювання елементів з певним розташуванням копій застосовується операція «Массив элементов», виклик якої відбувається через меню «Операция». Копіювання елемента (або декількох) може проводитися за 6 видами траєкторії:

- «По сетке» – створення певного числа копій об'єкта деталі, розташованих в комірках віртуальної сітки, з можливістю вибору кроку, кута нахилу сітки і її виду;

- «По концентрической сетке» – копіювання елементів по круговій (або спіральній) траєкторії навколо зазначеної осі обертання з можливістю задавати крок і кут повороту наступного елемента;

- «Вдоль кривой» – копіювання елементів вздовж зазначеної тривимірної кривої;

- «По точкам» – копіювання об'єктів по точках, які сформовані перетинами граней об'єктів;

- «По таблице» – копіювання по таблиці з збереженого файлу або заповненої в Компасі з вказаними координатами кожної точки в тривимірному просторі для установки копій;

- «Зеркальный» – є тривимірним аналогом функції «Симметрия», яка застосовується для 2D креслень, і дозволяє створювати дзеркальну копію об'єкта щодо будь-якої грані моделі. При цьому обмеженням є необхідність фізичного контакту копії з основною частиною моделі.

Існує можливість редагувати параметри кожного елемента створеного масиву окремо. Для цього у властивостях створеного масиву необхідно активувати «Таблицу созданных переменных», в якій відображаються пронумерованими всі елементи масиву. Для відображення нумерації елементів на робочому полі моделі необхідно натиснути кнопку «Удаленные» на панелі налаштувань властивостей масиву. Додавання змінних, які будуть відповідати за будь-якої параметр елементів масиву (довжину, товщину, відстань між елементами) відбувається натисканням кнопки «Добавить переменную», після чого необхідно вибрати її тип. Також є можливість вибрати кілька змінних для кожного елемента. Далі заповнюються всі елементи таблиці змінних параметрів. Якщо комірка залишилася порожньою - це означає, що даний параметр буде мати таке ж значення, як і у оригінального елемента, на основі якого створюється масив.

## Поверхні

Інструментальна панель «Поверхности» на компактній панелі дозволяє створити поверхню (не плутати з площиною і деталлю!) Там, де немає можливості створити твердотільну деталь. Наприклад, функція «Заплата» дозволяє створити поверхню на будь-якому замкнутому тривимірному контурі,

що складається з граней моделі. Функція «Поверхность по сети кривых» буде поверхню між замкнутими (пересічними) кривими будь-якої кількості.

### *Візуалізація граней*

У кожній грані існує настройка її візуалізації: загальний колір, дифузія, дзеркальність, блиск, прозорість і випромінювання. Ця функція активується у властивостях будь-якої грані після зняття галочки «Использовать цвет источника». При цьому є можливість вибрати запропоновані в стандартній палітрі кольори або встановити свій колір по спектру. Можна також встановити різні настройки візуалізації для кожної грані кожного елемента масиву об'єктів.

Для зміни кольору або властивостей візуалізації всієї моделі необхідно зайти в контекстне меню моделі (без попереднього вибору грані) і вибрати пункт «Свойства модели». Також в цьому меню можна вибрати матеріал деталі і задати тип штрихування для відображення її перетинів.

Підвищити реалістичність прозорості об'єктів можна через меню «Сервис» -> «Параметры» -> вкладка «Система» -> «Редактор моделей» -> «Управление изображением», проте активація даної функції знижить продуктивність роботи комп'ютера і не завжди приведе до очікуваних результатів.

### **Завдання:**

1. Створити деталь, показану на рис. 1.3.1. При побудові використовувати функцію масиву. Розміри деталі вибрати довільно.

2. Створити 3D лінзу (рис. 1.3.2) зі сферичними поверхнями рівного радіусу; задати колір, блиск, прозорість та інші властивості граней лінзи для максимальної реалістичності її візуалізації. При побудові використовувати функцію масиву.

3. Створити модель ланцюга ДНК (рис. 1.3.3). При побудові використовувати функцію масиву.

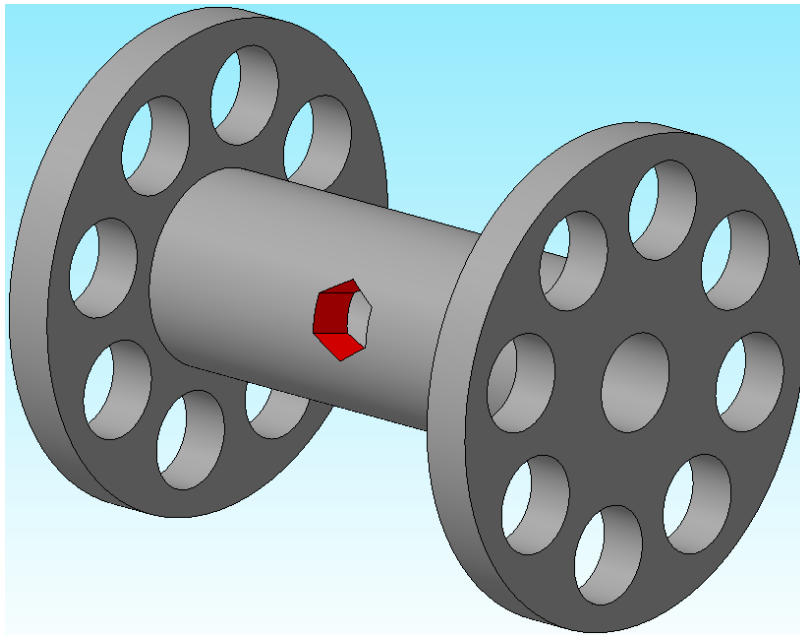


Рис. 1.3.1 3D деталь з отворами і шестикутним вирізом на циліндричній поверхні

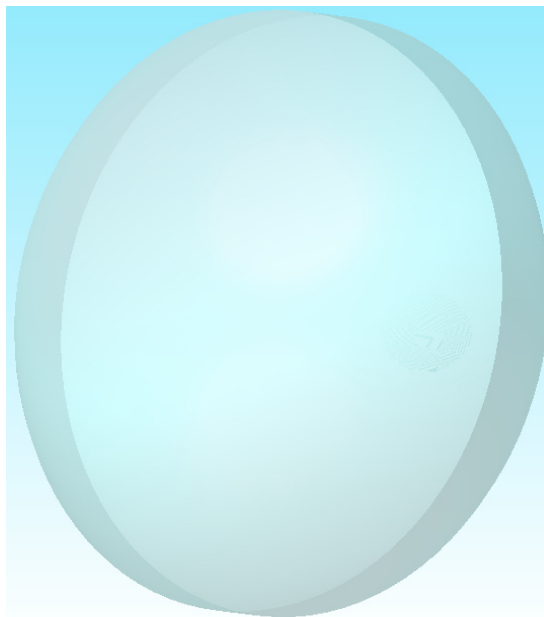


Рис 1.3.2 3D лінза з прозорими гранями

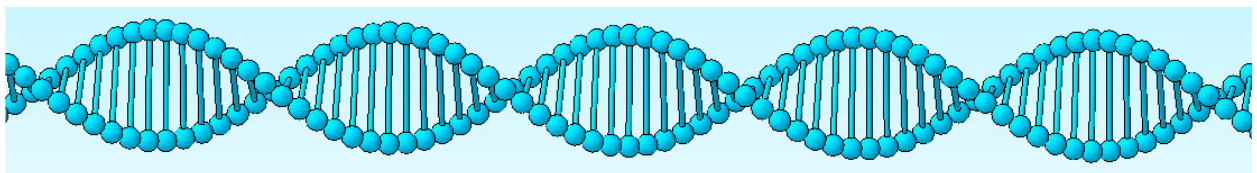


Рис 1.3.3 Спрощена модель ланцюга ДНК

## Практичне заняття № 1.4

### Тема: 3D проектування в Компас. складні деталі

#### *Проставлення розмірів на 3D моделі*

При роботі з тривимірними об'єктами нерідко виникає необхідність проставлення розмірів на моделі. Вирішити це завдання допоможе панель інструментів «Элементы оформления», на якій містяться функції для проставлення розмірів по аналогії з 2D кресленням, проте оперувати даними функціями дещо складніше. Наприклад, щоб проставити лінійний розмір на моделі необхідно вибрати елементи в наступному порядку: спочатку вибрати першу і другу грані, розмір між якими необхідно відобразити, а потім площину (грань), по якій буде відраховуватися даний розмір.

Установку розміру, кольору та інших параметрів шрифту для всіх розмірів моделі можна реалізувати через меню «Сервис» -> «Параметры» -> вкладка «Текущая деталь» -> «Размеры» -> «Надпись». Однак колір розмірних ліній встановлюється у властивостях самої розмірної лінії.

#### *Модель пружини*

Створення моделі пружини є досить простою операцією в середовищі Компас, однак має кілька нюансів. Для її реалізації необхідно виконати наступні дії.

1. На обраній координатній площині за допомогою інструментальної панелі «Пространственные кривые» і функції «Спираль цилиндрическая» створити спіраль даного типу. При цьому початковий кут повинен бути заданий рівним нулю.

2. На перпендикулярній площині, на яку спирається початок спіралі, створити ескіз з утворюючим профілем майбутньої пружини (замкнутий контур довільної форми) (рис. 1.4.1, а).

3. Після виходу з режиму ескізу вибрати функцію «Кинематическая операция»: в якості перетину вибрати ескіз з профілем, в якості траєкторії - циліндричну спіраль.

Результат операцій наведено на рис. 1.4.1, б. Недоліком такої моделі є відсутність можливості фізичного повороту пружини відносної своєї осі: поворот спіралі в її основі призведе до розриву зв'язку, необхідного для реалізації кінематичної операції.

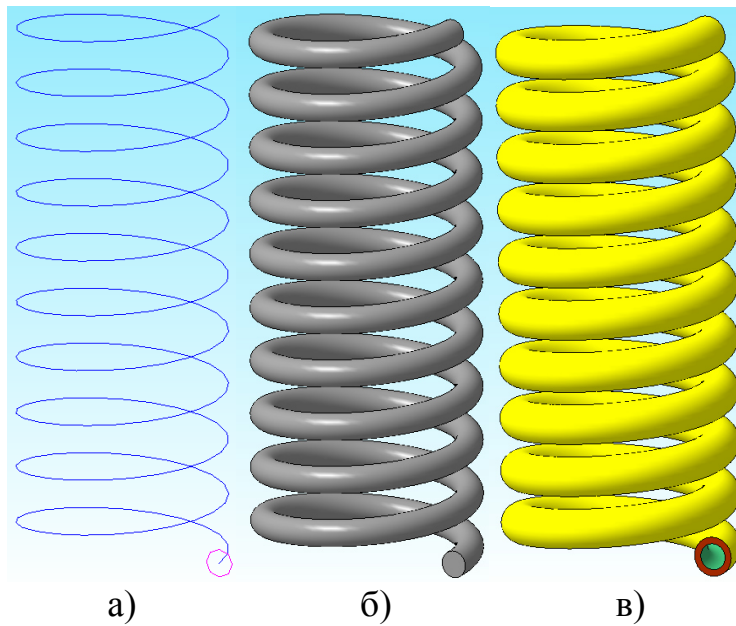


Рис. 1.4.1 Модель пружини і спіральної трубки

### Метрична різьба

Створення зовнішньої або внутрішньої різьби базується на тому ж принципі, що і побудова моделі пружини, тільки в якості утворюючого профілю виступатиме профіль будь-якої різьби.

У деталях, що кріпляться, найбільш часто застосовується метрична різьба (рис. 1.4.2) з профілем у вигляді рівнобедреного трикутника з кутом в  $60^\circ$  при вершині. До параметрів такої різьби відносяться: крок, зовнішній і внутрішній діаметри.

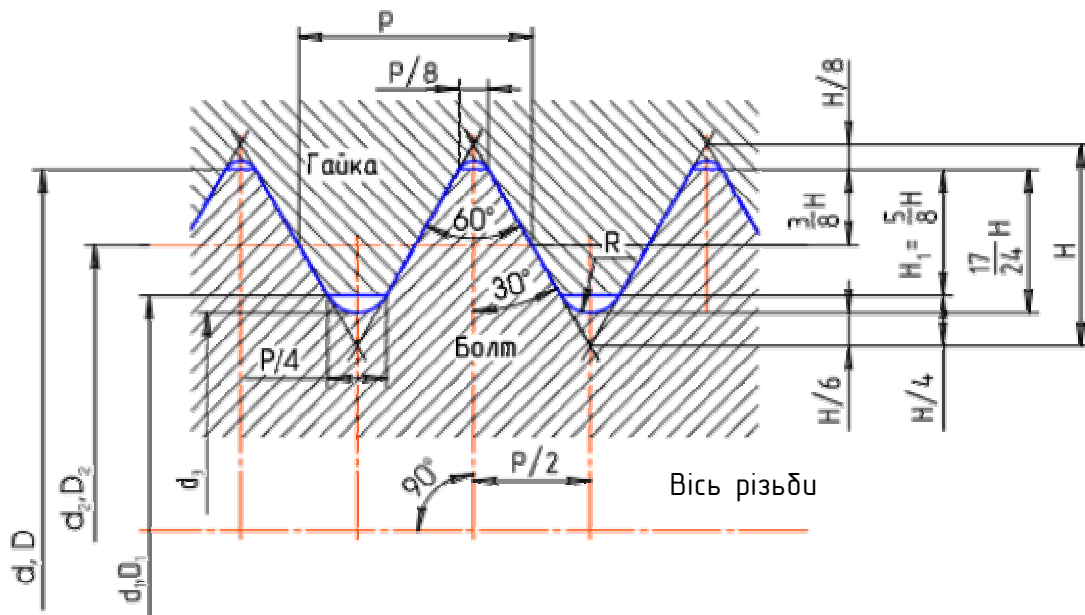


Рис. 1.4.2 Метрична різьба

## *Болт з метричною різьбою*

Для побудови моделі болта з різьбою необхідно крок за кроком виконати наступні дії.

1. На довільній координатній площині необхідно створити ескіз з окружністю, діаметр якої буде відповідати внутрішньому діаметру майбутньої різьби.

2. За допомогою «Операции выдавливания» створити циліндр потрібної довжини - стержень майбутнього болта.

3. На передній грані стержня зробити фаску необхідного розміру, скориставшись функцією «Фаска» на панелі інструментів «Редактирование детали».

4. Вибравши основу циліндра з боку фаски за допомогою функції «Спираль цилиндрическая» створити спіраль рівного зі стержнем діаметра з потрібною кількістю витків і кроком (параметри майбутньої різьби), задавши при цьому зворотний напрямок спіралі (в сторону стержня).

5. У координатній площині, яка перпендикулярна основі стержня і містить початкову точку циліндричної спіралі, створити ескіз профілю різьби - рівнобедрений трикутник з кутом при вершині  $60^\circ$ , так, щоб центр його основи збігався з початковою точкою спіралі, а вершина була звернена в напрямку стержня.

Для зручності пошуку початкової точки циліндричної спіралі можна скористатися функцією «Спроецировать объект» панелі інструментів «Геометрия». Це дасть можливість спроекувати грані стержня на поточний ескіз (необхідно не забути видалити їх перед виходом з ескизу), а потім по прив'язці до кінців відрізків граней виявити шукану точку.

6. Вийшовши з режиму ескизу, вибрати функцію «Вырезать кинематически»: в якості перетину вибрати ескіз з трикутником, а в якості траєкторії - спіраль циліндричну.

7. Після візуалізації різьби необхідно зробити її збіг (ділянка неповного профілю в зоні переходу різьби в гладку частину деталі). Для цього вибрати трикутну грань в закінченні різьби і створити ескіз, на який спроекувати всі грані даного трикутника. Далі вибрати функцію «Вырезать выдавливанием», встановивши в параметрах «через все».

8. Наступним кроком є додавання капелюшка болта. Для цього створити ескіз на іншій основі стержня і побудувати на ньому рівносторонній шестигранник. Далі за допомогою «Операции выдавливания» отримати необхідну товщину капелюшка болта.

9. Нанести на всі, що лежать в площині основи стержня, грані капелюшки болта скруглення необхідного радіуса, скориставшись функцією «Скругление» на панелі інструментів «Редактирование детали».

Готова деталь показана на рис. 1.4.3.

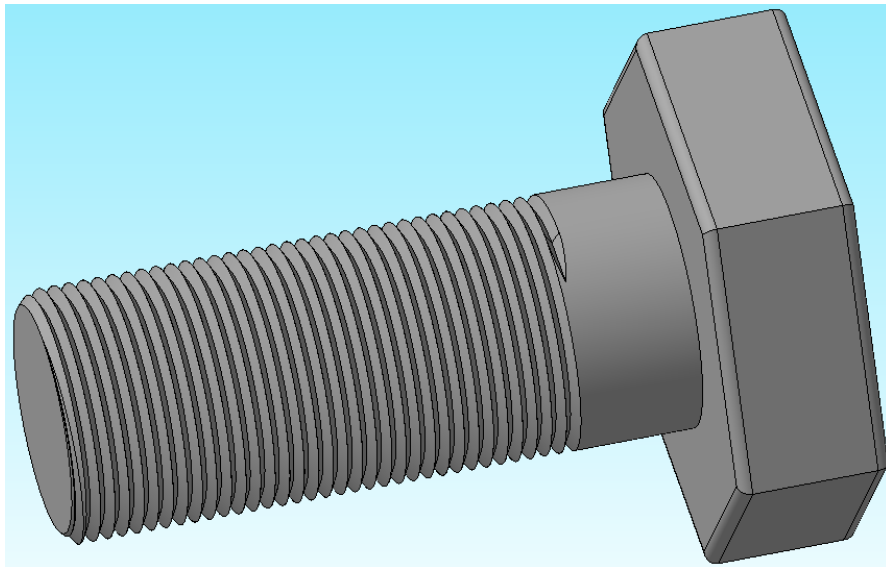


Рис. 1.4.3 Болт з метричною різьбою

### *Створення ребра жорсткості і перетинів*

Ребро жорсткості - частина конструкції у вигляді профільного елемента (бруса, балки, кутка), що надає додаткову жорсткість конструкції.

Створення ребра жорсткості на деталі відбувається шляхом побудови на новому ескізі кривої, яка формує зовнішній контур самого ребра жорсткості, на площині, в якій буде перебувати ребро. При цьому контур з кривих повинен бути не замкнутий: частина контуру, прилегла до грані, що вимагає посилення жорсткості, має бути відсутня. Після побудови такого ескізу стає доступна функція «Ребро жорсткості» на панелі інструментів «Редактирование детали» з можливістю задати товщину і кут нахилу елемента.

Для створення перетину будь-якої форми необхідно на ескізі в площині, перпендикулярній площині майбутнього перетину, створити профіль, по якому сформується поверхня розрізу деталі. Після вибору такого ескізу в дереві моделі на інструментальній панелі «Редагування деталі» буде доступна функція «Перетин за ескізом».

Приклад використання описаних вище функцій наведено на рис. 1.4.4.

### *Побудова асоціативних видів 3D деталі*

САПР Компас дозволяє автоматично побудувати асоціативні види (три проекції на 2D кресленні) на основі готової 3D деталі. Для виконання даної операції необхідно зберегти 3D деталь. Далі, створивши новий документ креслення, на інструментальній панелі «Виды» вибрати функцію «Стандартные виды» і у вікні, що відкриється, вибрати потрібну деталь. Встановивши масштаб і орієнтацію головного виду, розташувати проекції на робочому полі креслення. В основному написі створеного креслення будуть автоматично проставлені масштаб, маса, назва і матеріал деталі із зазначенням стандарту.

Слід звернути увагу на наявність і розташування перетинів на 3D деталі: перед побудовою асоціативних видів рекомендується в контекстному меню перетину в дереві моделі вибрати «Исключить из расчета».

Розрізи на асоціативних видах нескладно виконати після формування креслення. Для цього необхідно, маючи три проекції на 2D кресленні, за допомогою замкнутої фігури (прямокутника, еліпса, кола ...) основним типом лінії виділити область, в якій буде відображено розріз. Після цього на панелі інструментів «Виды» вибрати «Местный разрез» і, вказавши побудований контур і вісь перетину, сформуванати розріз. Перемикаючись подвійним клацанням між видами (активний вид відображений основними лініями) можна при необхідності нанести місцеві розрізи довільної форми по кожній координатній осі на кожен асоціативний вид. Результат виконання описаних вище операцій наведено на рис. 1.4.5.

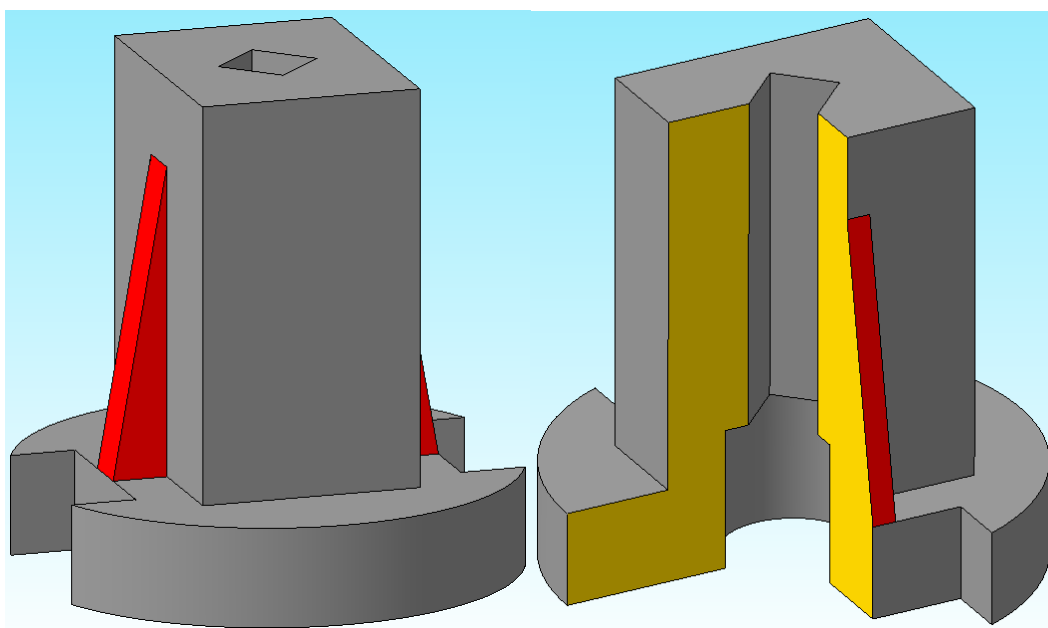


Рис. 1.4.4 Деталь з ребрами жорсткості і перетином

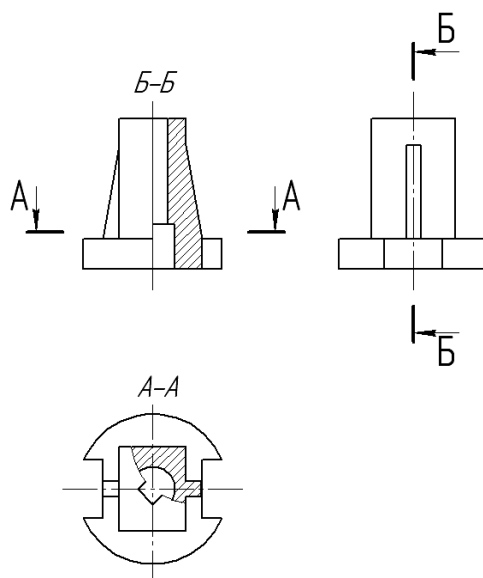


Рис 1.4.5 Асоціативні види деталі з розрізами

### Завдання:

1. Побудувати модель пружини, наведеної на рис. 1.4.1, б. Перетворити пружину в трубку спіральної форми (рис 1.4.1, в).
2. Створити модель болта з метричною різьбою (рис. 1.4.3) з наступними параметрами: зовнішній діаметр 42 мм, крок 2 мм.
3. Створити деталь з ребром жорсткості, наведену на рис. 1.4.4. Виконати перетин деталі з вирізом 1/4. Побудувати креслення асоціативних видів деталі з інформативними перетинами.
4. Створити аксонометрію табуретки з довільними розмірами. При побудові використовувати функцію масиву. Розставити розміри на аксонометрії (величина шрифту розміру 7 пунктів, колір розмірних ліній червоний).

### **Практичне заняття № 1.5**

Тема: **3D проектування в Компас.**

**Створення збірки деталей. Бібліотеки.**

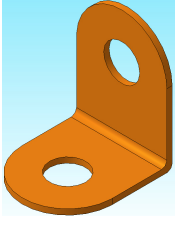
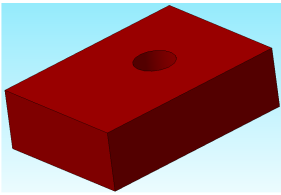
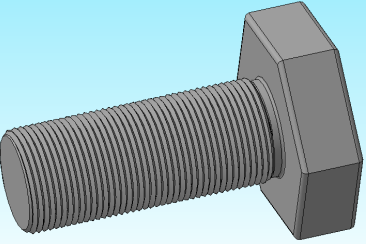
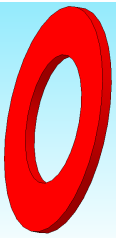
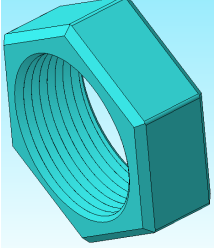
**Розріз з винятками деталей. рознесення деталей**

*Створення збірки деталей. Бібліотеки*

При проектуванні вузлів, блоків і елементів приладів і пристроїв після формування деталей необхідно зібрати елементи конструкції в 3D збірку і побудувати складальне креслення конструкції.

Перед початком збирання необхідно побудувати деталі. Для спрощення завдання можна взяти нескладні деталі: куток, основу, болт, гайку і шайбу (табл. 1.5.1). Формування деталей необхідно проводити з урахуванням подальшого їх з'єднання і узгодити розміри кріпильних елементів: діаметри отворів в кутку і основі виконати відповідно до діаметра зовнішньої різьби болта, яку узгодити з параметрами різьби гайки. Також для спрощення сприйняття майбутньої збірки рекомендується фарбувати деталі в різні кольори.

Таблиця 1.5.1 Деталі збірки

				
Куток	Основа	Болт з метричною різьбою і проточкою	Шайба	Гайка

Болт необхідно виконати з метричною різьбою і технологічною проточкою для формування повного профілю різьби без збігу.

Компас містить бібліотеку готових виробів з параметрами відповідно до існуючих стандартів. Залежно від версії програми і додатково встановлених пакетів конфігурацій бібліотеки можуть включати готові деталі в різних сферах конструювання: машинобудуванні, електриці, приладобудуванні і т.д.

Готову технологічну проточку за певним стандартом (ГОСТом) можна вибрати через меню «Бібліотеки» -> «Стандартные изделия» -> «Вставить элемент» -> пункт «Проточки для выхода резьбы» -> «Проточки для метрической резьбы» -> «Проточка для наружной метрической резьбы». Далі необхідно вибрати круглу грань для установки проточки. Після цього задаються параметри проточки: тип, ширина проточки, крок різьби і ряд діаметрів різьби згідно ГОСТ 10549-80.

Після завершення роботи над 3D деталями та збереження документів можна перейти до побудови збірки, створивши новий документ «Сборка». На панелі інструментів «Редактирование сборки» вибрати функцію «Добавить из файла» і встановити компоненти збірки по черзі на свої орієнтовні позиції. Далі за допомогою функцій «Переместить компонент» та «Повернуть компонент» на цій же панелі інструментів приблизно відкоригувати розташування деталей.

Взаємна орієнтація між компонентами збірки задається з панелі інструментів «Сопряжения». Для даної збірки досить встановити два типи сполучень: «Параллельность» граней кожної деталі в одній координатній площині і «Соосность» граней отворів деталей і основи стержня болта. Після виконання даних операцій деталі в збірці зможуть рухатися і обертатися тільки в межах заданих сполучень. Для установки деталей точно на своїх позиціях необхідно поєднати потрібні їх грані між собою за допомогою функції «Совпадение объектов» панелі інструментів «Сопряжения». Готовий вид збірки наведено на рис. 1.5.1, а.

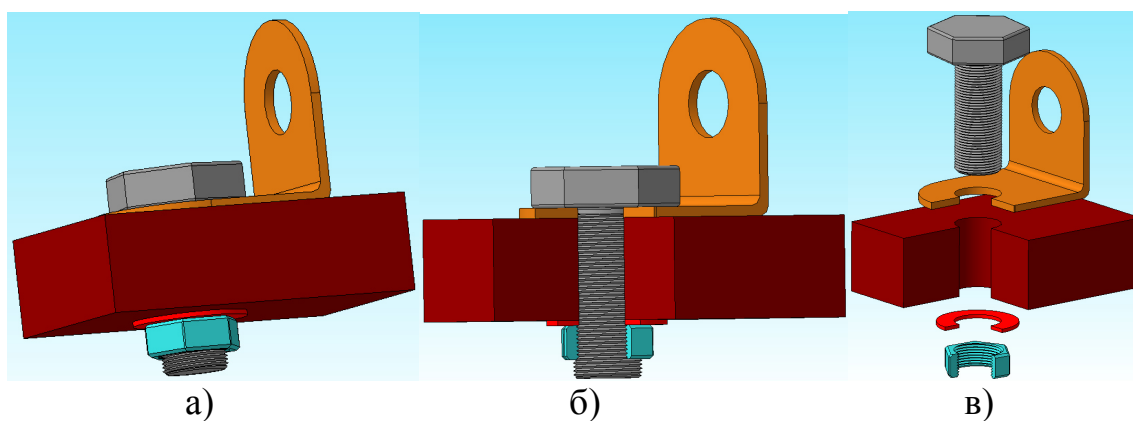


Рис. 1.5.1 Збірка деталей

Слід пам'ятати, що всі зміни деталей на збірці будуть автоматично внесені в файли самих деталей.

Після збереження файлу збірки стане можливим побудова її асоціативних видів на 2D кресленні за аналогією з деталями (див. практичне заняття № 1.4).

### *Розріз з винятками деталей*

Для більш інформативної візуалізації збірки часто необхідно виконати розріз, однак при цьому є можливість виключити деякі деталі при виконанні розрізу. Для цього після побудови ескізу для перетину в потрібній координатній площині і вибору функції «Сечение по эскизу» слід натиснути кнопку «Область применения „Компоненты”» на панелі параметрів розрізу. Далі натиснути «Выбор компонентов» і сформувати «Список компонентов», після чого відобразити розріз. Результат такої операції наведено на рис. 1.5.1, б.

### *Рознесення деталей*

Для зручності сприйняття збірки САПР Компас пропонує функцію рознесення компонентів, яку можна активувати через меню «Сервис» -> «Разнести компоненты» -> «Разнести». Спочатку ця функція заблокована і для її використання слід настроїти параметри рознесення деталей, скориставшись пунктом « Параметры» в цьому ж меню. Продовжуючи працювати з цією ж збіркою (рис. 1.5.1), необхідно попередньо видалити сполучення типу «Совпадение» з усіх деталей збірки в дереві моделі, щоб дати можливість деталям переміщатися. Також при бажанні можна «Исключить из расчета» розріз нашої збірки. Далі покроково задати рознесення кожної деталі зі збірки на певну величину в потрібному напрямку відносно грані іншої деталі в якості об'єкта. Після закінчення формування списку кроків натиснути кнопку « Прервать команду». По завершенні функція « Разнести», про яку говорилося раніше, стане активна і доступна. Результат застосування даної операції показаний на рис. 1.5.1, в.

### **Завдання:**

1. Створити деталі, показані в табл. 1.5.1, з довільними узгодженими розмірами для подальшого формування збірки. Деталі виконати технологічно правильно: болт повинен містити метричну різьбу і проточку для виходу різьби відповідно до ГОСТ 10549-80; параметри різьби гайки повинні повністю відповідати параметрам різьби болта; фаски і скруглення повинні бути нанесені на поверхні, які цього вимагають.

2. Побудувати збірку, показану на рис. 1.5.1, а, з точним позиціонуванням всіх деталей.

3. Виконати розріз на збірці, застосувавши перетин за ескізом з виключенням деяких деталей, показаний на рис. 1.5.1, б.

4. Реалізувати операцію «Разнесение», як функцію Компас, результат застосування якої показаний на рис. 1.5.1, в.

5. Створити креслення асоціативних видів даної збірки з нанесенням необхідних розрізів.

## Відеоуроки для вивчення САПР Компас

1. Отверстие на цилиндрической поверхности  
<https://www.youtube.com/watch?v=AmdA99Sswn8>
2. Изометрия с вырезом четверти  
<https://www.youtube.com/watch?v=Ufnjsj4FD37o>
3. Параметрическая 3D модель  
[https://www.youtube.com/watch?v=o\\_9NAY1-afA](https://www.youtube.com/watch?v=o_9NAY1-afA)
4. Соединение части вида и части разреза. Фронтальный разрез детали  
<https://www.youtube.com/watch?v=kDjzgv03WBk>
5. Как сделать резьбу в Компас  
<https://www.youtube.com/watch?v=uC14ODi4U74>
6. Резьбовые соединения деталей. Создание сборки в Компас  
<https://www.youtube.com/watch?v=5umfGST-eTQ>
7. Как разнести сборку. Сечение сборки  
<https://www.youtube.com/watch?v=Yq7kJhvOGZQ>

## Розділ 2. САПР AutoCAD

AutoCAD – система автоматизованого проектування, призначена для підготовки технічної документації, яка дозволяє створювати креслення практично будь-якої складності як в двох, так і в тривимірному форматі.

Розробником програмного пакета є компанія «Autodesk».

AutoCAD включає в себе повний набір інструментів для комплексного тривимірного моделювання (підтримується твердотільне, поверхневе і полігональне моделювання). САПР дозволяє отримати високоякісну візуалізацію моделей за допомогою вбудованої професійної системи рендеринга. AutoCAD надає можливість користувачеві самостійно розробляти нові функції програми та керувати її роботою за допомогою мови програмування AutoLISP, що забезпечує широкі можливості для автоматизації роботи в даному середовищі.

Особливістю САПР AutoCAD є наявність широкого вибору функцій і можливостей для проектування і підготовки технічної документації.

Дані методичні вказівки розроблені для версії програми AutoCAD 2013, однак можуть використовуватися і для інших версій пакету.

### Практичне заняття № 2.1

#### Тема: **Основи роботи з інтерфейсом САПР AutoCAD. Оформлення креслення**

##### *Налагодження та робота з інтерфейсом програми*

Останні версії програми AutoCAD мають можливість кардинального переналагодження інтерфейсу під потреби і поточні завдання конкретного користувача. Основна панель інструментів, на якій розташовуються кнопки «Создать», «Открыть», «Сохранить», «Печать» і т.д., містить також вікно вибору виду поточного робочого простору. Існує чотири готових вида робочого простору:

- «Рисование и аннотации» – даний тип інтерфейсу адаптований на ефективну роботу з простими двомірними об'єктами;
- «3D основные» – адаптація призначеного для користувача інтерфейсу для роботи з простими 3D об'єктами;
- «3D моделирование» – тип інтерфейсу, адаптований для роботи зі складними 3D моделями;
- «Классический AutoCAD» – інтерфейс програми, адаптований під користувачів, які звикли працювати в більш ранніх версіях пакета і містить інструментальну панель виду «Файл / Правка / Вид / Вставка / Формат...» і компактну панель швидкого доступу.

Вміст панелей інструментів може бути змінено за бажанням користувача. Додаткові інструментальні панелі можна відобразити / приховати в

контекстному меню основної панелі інструментів через пункти «Показати вкладки» і «Показати панелі». Висувні інструментальні панелі можуть бути закріплені натисканням на зображення канцелярської кнопки в лівому нижньому кутку панелі.

### *Створення основного напису і рамки креслення*

Робота в середовищі AutoCAD може проводитися не тільки на робочому полі (просторі) моделі, а й одночасно на додаткових аркушах, на яких налаштовується відображення креслення / деталі на реальному аркуші паперу після друку документа. За замовчуванням новий документ містить три вкладки: робоче поле моделі і два додаткових листа, перемикається між якими можна простим натисканням на їхніх іменах, відображених під робочою полем інтерфейсу програми.

Створення креслення починається з вибору формату листа, на якому він буде виконаний, і його орієнтації. Дана дія прив'язана в середовищі AutoCAD до параметрів і можливостей периферійного пристрою - плоттера / принтера, до якого є прямий або віддалений доступ з даного персонального комп'ютера. Для узгодження розміру та орієнтації робочих листів необхідно в контекстному меню моделі або аркуша вибрати пункт «Диспетчер параметрів листів». Параметри задаються для кожного аркуша окремо. Після вибору у вікні конкретного листа і натискання кнопки «Редактировать» з'явиться можливість вибору принтера, а потім розміру та орієнтації креслення. Також тут можна вибрати стиль друку, наприклад, чорно-білий (monochrome), що буде корисно, якщо обраний принтер є кольоровим.

Наступним кроком створення креслення є креслення рамки і основного напису креслення. AutoCAD не містить бібліотек з готовими формами основних написів, тому необхідно створити рамку і основний напис вручну відповідно до ГОСТ 2.301-68 (рис. 2.1.1).

Створення рамки і основного напису виконується на аркуші 1 документа після вибору формату «A4» і орієнтації креслення «книжкова». Перед початком креслення очистимо робоче поле аркуша, видаливши з нього всі елементи. Після цього на робочому полі залишиться тільки контур області друку обраного принтера.

Параметри типу лінії і її товщина присвоюються в AutoCAD у властивостях шару, тобто для кожного шару задаються свої параметри відтворення ліній. Для завдання нових параметрів ліній необхідно в меню «Главная» на панелі інструментів «Слои» вибрати «Свойства слоя», потім у вікні, натиснути кнопку «Создать слой», задати ім'я шару (наприклад, «основной»), тип лінії, її колір, вагу і інші параметри. Вагу тонких ліній на кресленні рекомендується вибирати 0,25 мм, основних - 0,5 мм. Поточний шар відображається встановленою на ньому зеленою галочкою.

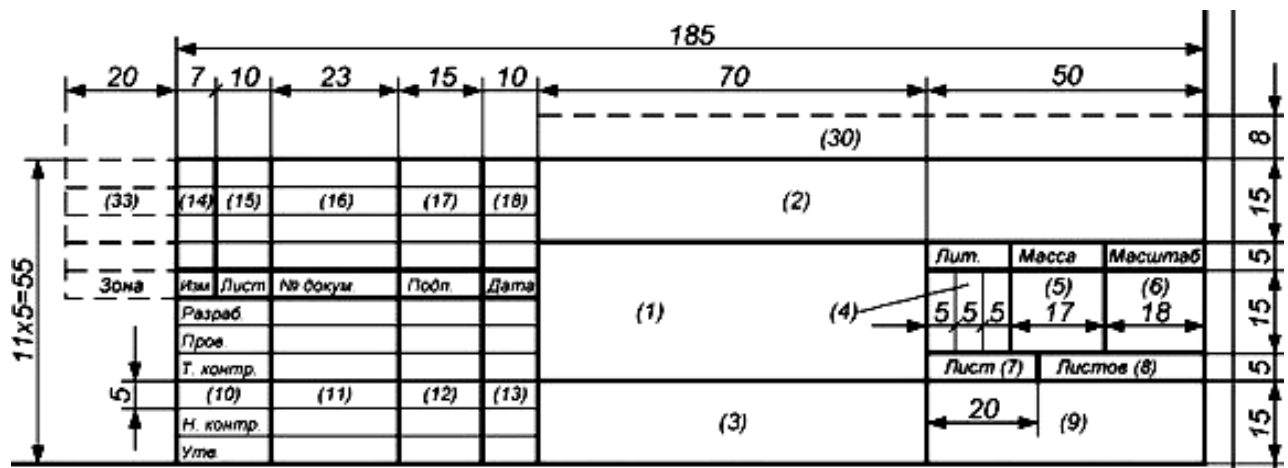


Рис. 2.1.1 Форма основного напису креслення

Задавши у властивостях поточного шару основну лінію, необхідно накреслити рамку креслення і основний напис так, щоб вони не виходили за межі полів друку принтера.

Рамка креслення відповідно до ГОСТ 2.301-68 повинна мати такі поля до меж аркуша: ліве - 20 мм, праве, верхнє і нижнє - 5 мм.

Вставлення текстових блоків здійснюється з меню «Аннотации» на панелі інструментів «Текст». Після введення тексту і закриття блоку можна подвійним кліком відкрити його властивості і задати шрифт (для креслень рекомендується шрифт «GOST type B», курсив) і висоту символів.

Готові рамку і основний напис настійно рекомендується зберегти для подальшого використання в нових документах.

### *Робота з простими 2D об'єктами*

При роботі з 2D кресленнями рекомендується використовувати вид робочого простору «Рисование и аннотации». При цьому буде значно прискорений доступ до описаних нижче інструментальних панелей і функцій.

Для створення простих двомірних об'єктів використовується панель інструментів «Рисование» меню «Главная», яка містить такі функції як: «Отрезок», «Дуга», «Прямая», «Круг», «Штриховка» та інші.

Панель інструментів «Редактирование» містить безліч корисних функцій: «Обрезать», «Зеркало», «Скругление/фаска», «Растянуть», «Массив», «Разорвать», «Соединить» та інші.

Після виконання будь-якої операції при натисканні клавіші «Enter» відбувається повторний запуск останньої операції.

Проставлення розмірів виконується за допомогою меню «Аннотации» на панелі інструментів «Размеры». Також в даному меню розташовуються різні виносні елементи.

При тривалому наведенні курсору на будь-яку кнопку на панелі інструментів з'являється розгорнута підказка про її призначення і алгоритм використання, а при натисканні після цього клавіші «F1» - повна довідка.

## *Об'єктні прив'язки*

При побудові 2D об'єктів дуже зручно використовувати одиночні об'єктні прив'язки, викликати список яких можна за допомогою комбінації клавіш «Shift + права кнопка миші» після вибору будь-якого елемента з панелі «Рисование». Даний тип прив'язок буде діяти протягом лише однієї наступної операції.

Управління довготривалими (поточними) об'єктними прив'язками виконується з панелі інструментів швидкого доступу, розташованої під робочою полем креслення, в контекстному меню іконки «Объектная привязка». Також на цій панелі розташовані кнопки: «Отображение сетки», «Шаговая привязка», «Режим ”орто”» та інші.

## *Видові екрани*

Управління видовими екранами на робочому полі листа здійснюється з меню «Лист» в розділі «Видовые экраны листа», за допомогою якого можна створити видові екрани простору моделі різної форми і в будь-якій кількості.

Налаштування видових екранів простору моделі реалізується з меню «Вид» в розділі «Видові екрани моделі». Ця функція дозволяє розділити екран монітора на кілька екранів різної форми і розмірів, в кожному з яких можна задати свою орієнтацію виду об'єкта. Редагування об'єктів при цьому відбувається одночасно на всіх видових екранах. Перемикання між екранами відбувається кліком миші. Цю функцію зручно використовувати при необхідності перенесення даних (таблиць, тексту, креслень) в AutoCAD: на одному видовому екрані відбувається робота з об'єктами в середовищі САПР, на іншому розташовані дані у вигляді картинки (малюнка, скріншота), з якого відбувається копіювання інформації.

### **Завдання:**

1. Налаштувати інтерфейс САПР AutoCAD для особистої зручності користування, вибравши оптимальний для реалізації поточних завдань адаптаційний тип інтерфейсу.
2. Створити на аркуші документа рамку і основний напис згідно з ГОСТ 2.301-68 для креслення формату А4 книжкової орієнтації. Заповнити основний напис.
3. Створити креслення лінзи відповідно до наведеного в додатку 1 прикладу.
4. Домогтися коректного відображення креслення лінзи з рамкою і основним написом при попередньому перегляді документа.

## Практичне заняття № 2.2

### Тема: Проектування 2D об'єктів. Позначення різьби на кресленнях

Найбільш популярним видом роз'ємних з'єднань деталей на сьогоднішній день є різьбове з'єднання (рис. 2.2.1) завдяки наявності наступних переваг: технологічність, взаємозамінність, універсальність, надійність, масовість. Однак даний тип з'єднання не позбавлений недоліків: наявність напруг в отворах під з'єднання; можливість самовідгвинчування під впливом змінних навантажень; необхідність використання додаткових матеріалів для герметизації і ущільнення.

Приклади позначення зовнішнього і внутрішнього різьбових з'єднань на 2D кресленні наведені на рис. 2.2.1 згідно ГОСТ 2.311-68.

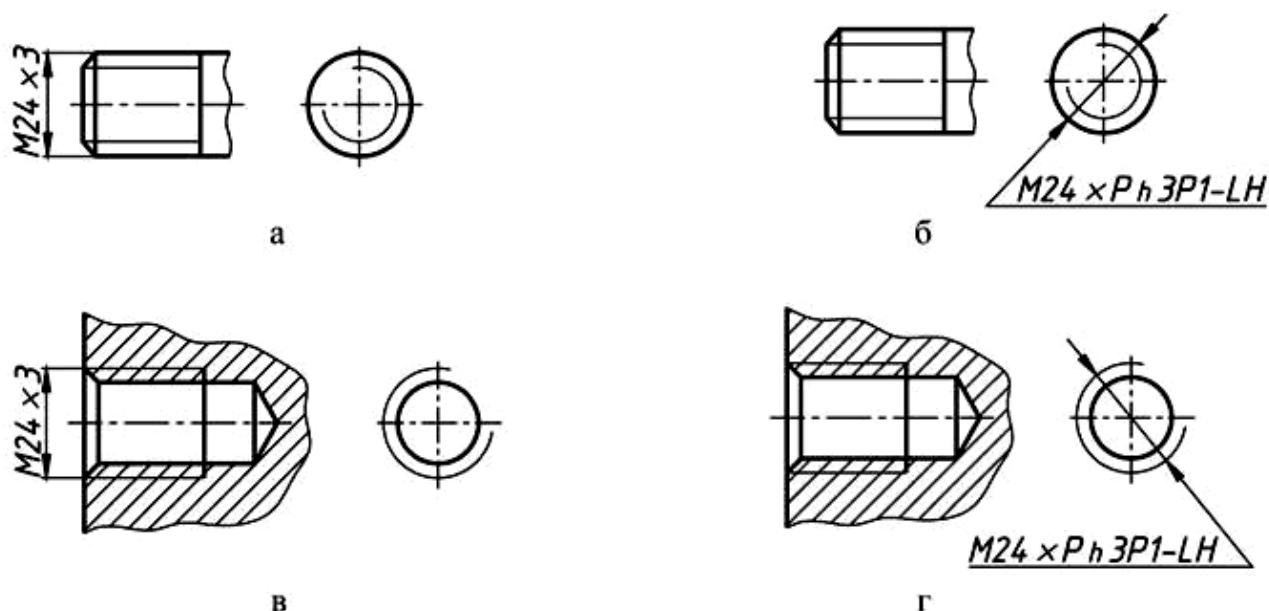


Рис. 2.2.1 Позначення однозаходної та трьохзаходної різьби на кресленні.  
а), в) - однозаходна метрична різьба з номінальним діаметром 24 мм і кроком 3 мм; б), г) - трьохзаходна ліва метрична різьба з номінальним діаметром 24 мм, з кроком 1 мм і значенням ходу 3 мм

Довжина різьби на кресленні позначається без урахування збігу. Останнього можна уникнути нанесенням після закінчення різьби повного профілю технологічної проточки.

Проточку для різьбових кріпильних виробів роблять у кінця різьби для виходу інструмента і отримання різьби повного профілю на всій довжині стержня або отвору.

На кресленнях деталей проточки зображують спрощено прямокутної форми. Ширина проточки  $f_l$  включається в довжину різьби  $l$  (рис. 2.2.2, а). Дійсну форму проточок з нанесенням розмірів показують на виносних елементах (рис. 2.2.2, б).

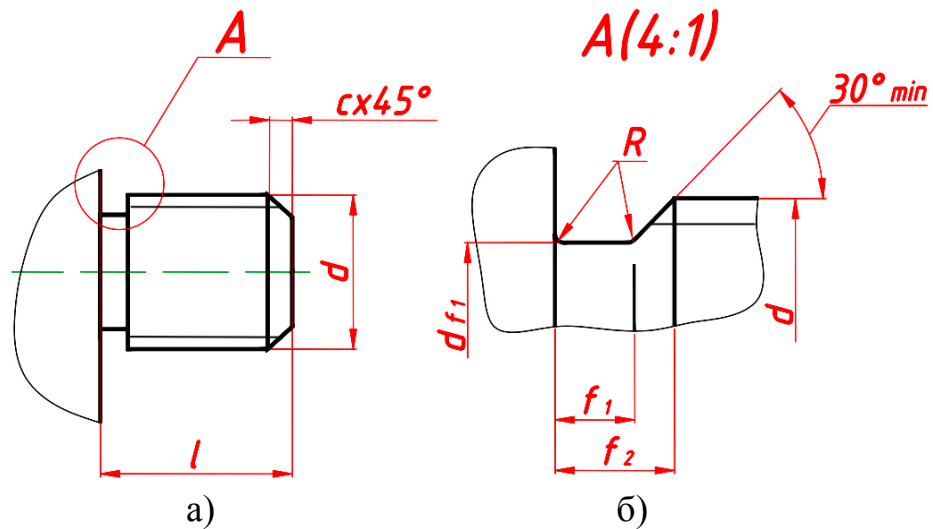


Рис. 2.2.2 Технологічна проточка. Позначення на кресленнях

**Завдання:**

1. Створити 2D креслення деталі відповідно до наведеної на рис. 2.2.3 аксонометрії.
2. Проставлення розмірів і виносні елементи на кресленні виконати на окремих шарах.
3. Визначити технологічну проточку у вигляді виносного елемента креслення.
4. Домогтися коректного відображення креслення з рамкою і заповненим основним написом при попередньому перегляді документа.

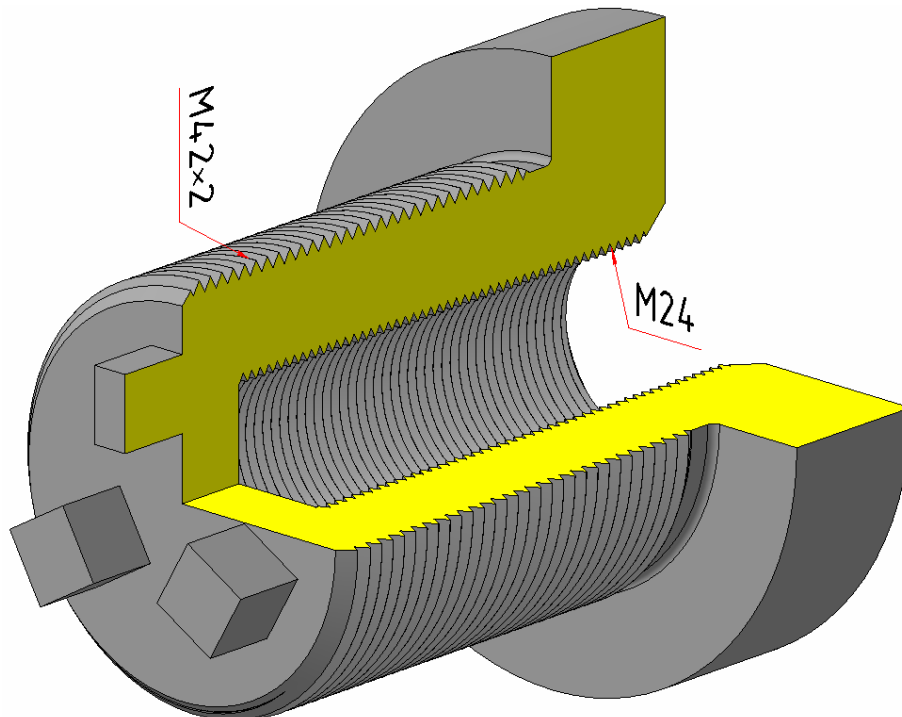


Рис. 2.2.3 Аксонометрія деталі з різьбовим з'єднанням

## Практичне заняття № 2.3

### Тема: Основи 3D проектування в AutoCAD. **Проста деталь**

Перед створенням 3D об'єкта в середовищі AutoCAD рекомендується виконати перехід на тип робочого інтерфейсу «3D основные» при проектуванні простих тривимірних деталей і «3D моделирование» для більш складних об'єктів.

Роботу над 3D деталлю слід починати з відтворення на площині найбільш складного її контуру для подальшого його перетворення в тривимірний об'єкт. В якості початкової точки рекомендується використовувати координати (0,0) - центр системи координат. Для цього після вибору «Отрезка» на панелі «Рисование» досить натиснути послідовність клавіш «нуль → кома → нуль».

Креслення основних елементів контуру рекомендується проводити в режимі «Орто», який включається з панелі швидкого доступу під робочим полем креслення. При кресленні тривимірних об'єктів в середовищі AutoCAD настійно рекомендується працювати строго по системі координат, дотримуючись збігу і взаємного розташування всіх ліній.

Після відтворення базового контуру необхідно перетворити його в тривимірний об'єкт, використовуючи операції «Выдавить», «Вращать», «По сечениям», «Сдвиг» та інші подібні функції. Якщо метою операції є отримання об'ємної деталі, слід попередньо об'єднати всі елементи в замкнутий контур - полілінію. Для цього необхідно набрати з клавіатури команду «\_PEDIT», після чого вказати перший фрагмент, підтвердити створення полілінії, далі вибрати «Добавить», вказати всі елементи контуру і вибрати «Замкнуть». Сформувані полілінію можна тільки по замкнутому контуру.

Для "вирізання" областей з тривимірної деталі слід використовувати функцію «Вычитание» панелі «Редактирование». Після попереднього побудови двох тривимірних об'єктів слід відняти їх один від іншого.

Для швидкої зміни кута зору в тривимірній системі координат можна використовувати або тривимірні компас, розташований праворуч зверху робочого поля креслення, або при затиснутій клавіші «Shift» обертати вид мишею з натиснутою середньою кнопкою (скролінгом).

Перемикається між різними стилями візуалізації («каркас», «реалистичный», «Оттенки серого», «просвечивание»...) можна через меню «Слои и вид» пункту «Визуальные стили».

Побудова наступних двомірних контурів проводиться на побудованих гранях тривимірної деталі. Побудова буде виконана на грані, що підсвічується в даний момент, при наведенні на неї курсору миші.

#### *Вибір матеріалу деталі*

Візуалізація матеріалу для деталі задається через меню «Визуализация» на панелі інструментів «Материалы» запуском «Обозревателя материалов».

Вибравши в бібліотеці певний вид матеріалів і сам матеріал зі списку необхідно перетягнути його на поверхню деталі робочого поля креслення.

### **Завдання:**

1. Створити аксонометрію деталі за кресленням з трьома асоціативними видами, наведеними у додатку 2.
2. Зробити виріз 1/4 частини деталі.
4. Поставити матеріал деталі - «Фрезеровка алюміній».
3. Проставити основні розміри на аксонометрії.

## **Практичне заняття № 2.4**

### **Тема: 3D проектування в AutoCAD.** **Складні деталі**

Перед початком роботи з 3D об'єктами середньої і високої складності рекомендується перейти на тип інтерфейсу користувача «3D моделювання», що містить повний набір функцій тривимірного проектування з швидким доступом до них.

#### *Полілінія*

Для створення твердотільних (НЕ каркасних) об'єктів необхідно в якості основи при виконанні таких операцій як «Выдавить» або «По сечениям» створюватиме замкнений 2D контур. Крім використання команди «\_PEDIT», яка дозволяє більш детально працювати з елементами креслення, існує можливість швидкого перетворення елементів в полілінію. Для реалізації цієї операції необхідно на панелі інструментів «Рисование» вибрати функцію «Контур», далі у вікні вибрати тип об'єкта «Полилиния» і після натискання кнопки «Ок» вказати внутрішні точки контурів, які будуть перетворені в полілінії.

#### *Стіл з фігурними ніжками*

Побудову 3D моделі столу з фігурними (гнутими) ніжками зручно починати з відтворення профілю найскладнішого контуру - фігурної ніжки (рис. 2.4.1, а). Дві полілінії контурів необхідно попередньо рознести на висоту ніжки, використовуючи функцію «Перенести» панелі інструментів «Редактирование». Далі слід задати форму кривизни ніжки між контурами, застосувавши функцію «Сплайн» на панелі інструментів «Рисование». Сплайн-лінію необхідно побудувати в потрібній площині, при необхідності вказавши програмі перенести координатну площину. Остання операція виконується вибором в контекстному меню наявної системи координат пункту «3 точки» і подальшим призначенням нової орієнтації системи координат за елементами

робочого поля моделі. Для повернення орієнтації просторової системи координат до стандартного типу в її контекстному меню слід вибрати пункт «Мировая».

Далі за наявними рознесеними контурами і сплайну, що їх з'єднує, необхідно побудуватися деталь, скориставшись функцією «По сечениям» панелі інструментів «Моделирование». Для цього після вибору зазначеної функції слід вибрати 2 контури сплайна, потім встановити режим «Тело», далі натиснути клавішу «Enter» і вказати в якості «Направляющей» лінію сплайна. Після натискання «Enter» з'явиться фігурна ніжка столу у вигляді тривимірної деталі.

Для створення кришки столу доцільно скористатися функцією «Сдвиг» панелі інструментів «Моделирование». Для здійснення цієї операції необхідно попередньо підготувати 2 об'єкти: траєкторію зсуву (круглу форму кришки), розташувавши її симетрично щодо майбутніх 4 ніжок, і профіль кришки. Профіль кришки столу зручно створювати за допомогою функції «Полилиния» інструментальної панелі «Рисование», вибравши висоту профілю згідно майбутньої висоті кришки. При використанні функції «Сдвиг» обов'язково слід поставити «Базовую точку», яка буде точкою дотику профілю і траєкторії. Центральне наповнення кришки легко поставити, використовуючи функцію «Цилиндр» панелі інструментів «Моделирование», вказавши початкову точку, радіус і висоту циліндра.

Останнім етапом створення 3D моделі столу з фігурними ніжками є копіювання існуючої ніжки за допомогою функції «Круговой массив» інструментальної панелі «Редактирование».

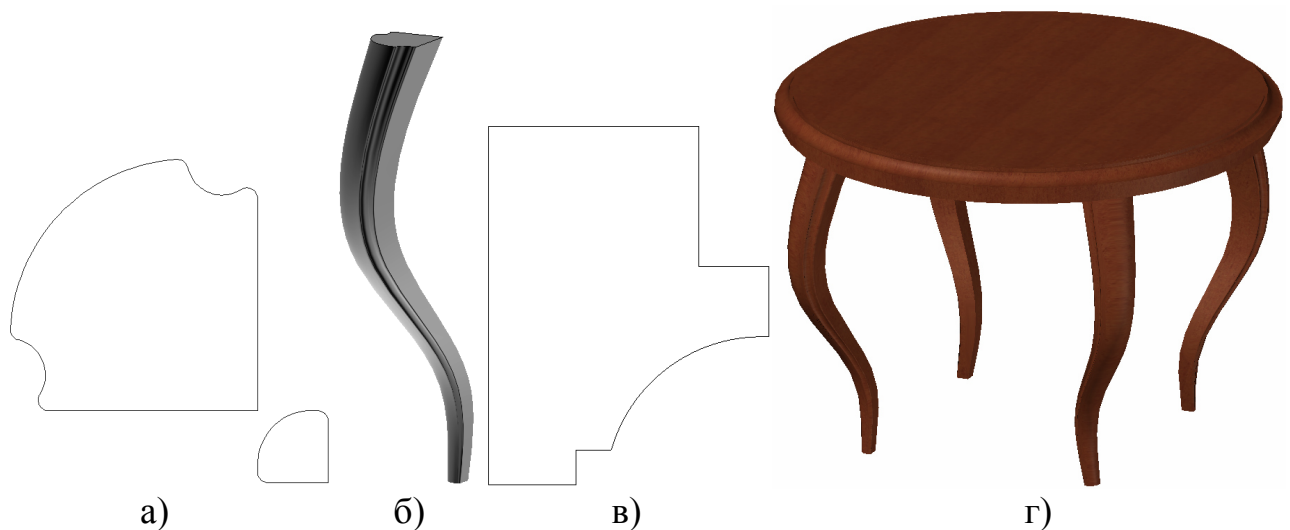


Рис. 2.4.1 Стіл з фігурними ніжками.

а) контури для фігурної ніжки; б) тривимірна фігурна ніжка;  
в) профіль кришки столу; г) 3D модель столу

Задавати матеріал елементів деталей рекомендується до їх копіювання за допомогою масиву.

## Модель сюрікену

Сюрікен, як правило, має форму симетричної п'ятикутної зірки, отже, його контур доцільно створювати на основі правильного п'ятикутника. Для цього можна скористатися функцією «Многоугольник» на панелі інструментів «Рисование», вказавши кількість кутів - 5. Далі за допомогою «Полилинии» слід створити зірку по вершинах п'ятикутника, а сам п'ятикутник після закінчення операції видалити.

Наступним кроком необхідно побудувати в точках пересічних променів зірки окружності, які в подальшому слід використовувати для відсікання зайвих елементів базового контуру сюрікена, і коло меншого діаметра в центрі зірки (рис. 2.4.2, а). Видалення непотрібних ліній проводиться за допомогою команди «Обрезать» панелі інструментів «Редактирование», результат застосування якої представлений на рис. 2.4.2, б.

Створення контура меншого розміру, що відповідає заточеним граням сюрікена, слід почати з копіювання наявної зірки. Далі робота з копією здійснюється за допомогою операції «Смещение» інструментальної панелі «Редактирование»: вказавши відстань зсуву, необхідно перемістити всі зовнішні межі копії зірки ближче до її центру. Кінці всіх отриманих ліній необхідно довести до дуг кіл, використовуючи функцію «Обрезать» із затиснутою клавішею «Shift» для виконання команди подовження, попередньо виділивши всі дуги в якості кінцевих об'єктів. Обрізавши непотрібні кінці ліній дуг, отримаємо копію сюрікена з променями меншої довжини.

Далі необхідно контури обох наявних зірок перетворити в замкнутий контур (центральну окружність в контур включати не слід). Для цього можна скористатися функцією «Соединить» на панелі інструментів «Редактирование». Наступним кроком є об'єднання наших двох контурів накладанням один на одного операцією «Копирование» щодо центру зірки. Результат операції представлений на рис. 2.4.2, в.

Подальші дії слід починати зі зміни кута зору на тривимірний вигляд і переходу на візуальний стиль «Каркас». Далі необхідно перенести менший контур на невелику (відповідну половині товщини сюрікена) відстань вгору, скориставшись стрілками системи координат, що з'явилася після вибору контуру.

За допомогою команди «По сечениям» виконаємо побудову тривимірного об'єкту. Після активації даної команди і вибору двох наявних контурів слід натиснути клавішу «Enter», далі вибрати «Параметры» і у вікні, вказати тип поверхні «Кусочно-линейчатая». Далі необхідно вирізати отвір в центрі зірки за наявною окружністю. Для цього слід використовувати функцію «Выдавить», а потім «Тело, Вычитание» на панелі інструментів «Редактир. тело». Результат виконання даних операцій наведено на рис. 2.4.2, г.

Другу половину тривимірного сюрікена необхідно побудувати, використовуючи функцію «3D зеркало» на панелі інструментів «Редактирование». Активувавши зазначену функцію і вибравши контури зірки, натиснути клавішу

«Enter», а потім в якості площини відображення вказати площину «ХУ» і точку, через яку пройде ця площина.

Останнім кроком створення моделі буде установка скруглень на всіх гранях деталі, які не мають заточку. Цю операцію можна виконати, скориставшись функцією «Сопряжение по кромке» меню «Тело» панелі інструментів «Редактир. тело».

Готова 3D модель сюрікена з активованим візуальним стилем «Реалистичный» показана на рис. 2.4.2, д.

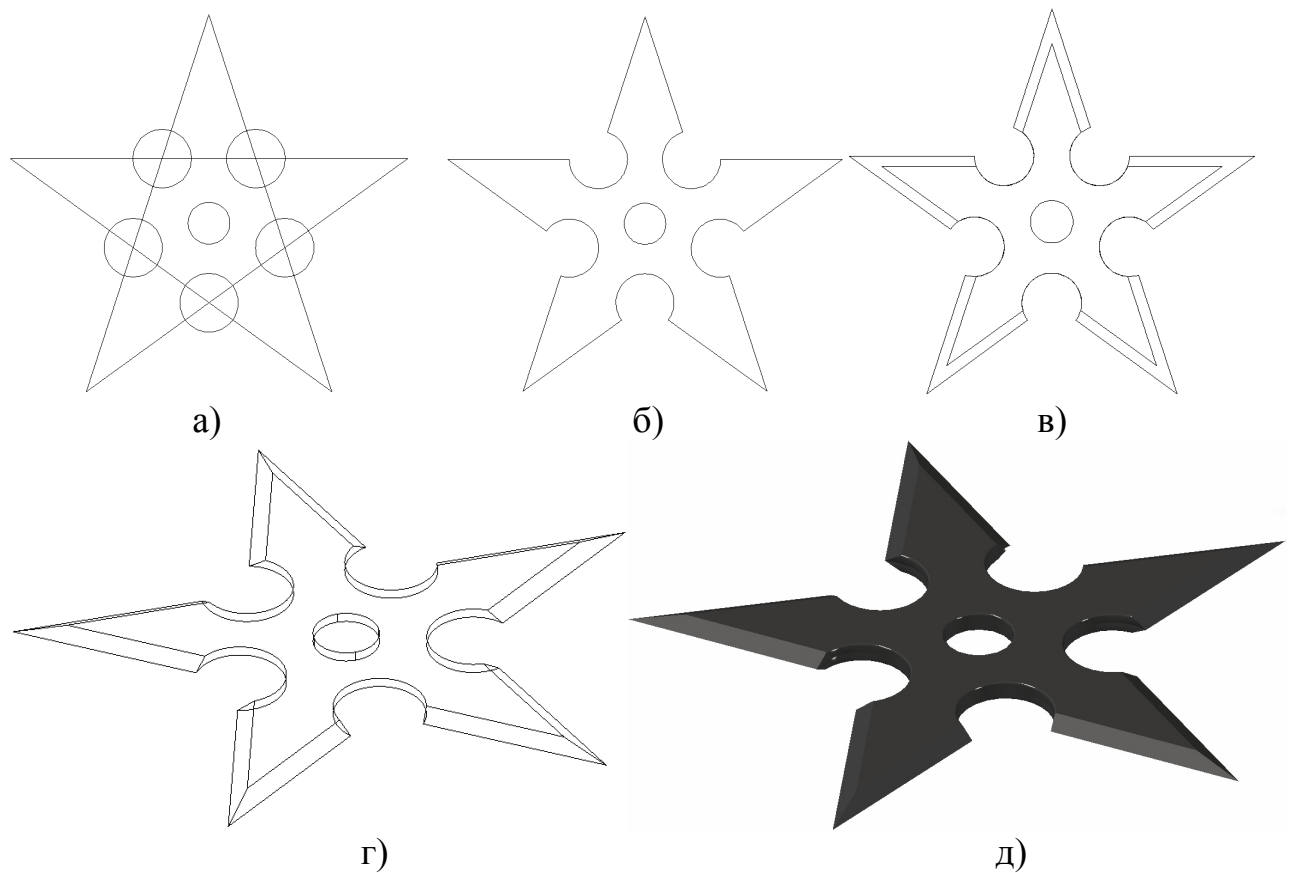


Рис. 2.4.2 Сюрікен.

- а) заготівка під контур; б) основний контур;  
в) два суміщених контури: основний і зі зменшеними променями;  
г) половина 3D каркаса; д) 3D модель сюрікена

Матеріал сюрікена необхідно задати для обох дзеркальних частин деталі.

### **Завдання:**

1. Створити тривимірну модель столу, показану на рис. 2.4.1, г. Розміри деталі вибрати довільно з конструктивних міркувань. Встановити матеріалом деталі «Красное дерево».

2. Побудувати 3D модель сюрікена, наведену на рис. 2.4.2, д. Матеріалом деталі задати «Сталь поліровану».

## Практичне заняття № 2.5

### Тема: 3D проектування в AutoCAD. Болт з різьбою. Побудова асоціативного 2D креслення

#### *Болт з різьбою*

Створимо болт M16, що має відповідно метричну різьбу з номінальним діаметром 16 мм і кроком 2 мм. В якості базового контуру необхідно вибрати описаний навколо кола радіусом 12 мм шестикутник. Далі слід застосувати до отриманого контуру операцію «Выдавливания» на висоту 10 мм. Наступним кроком буде побудова щодо центру плоскої грані капелюшка кола радіусом 8 мм, яке необхідно видавити на висоту 60 мм. На отриману заготовку болта слід нанести скруглення для граней капелюшка і фаску в основі стержня. При цьому довжина фаски повинна відповідати кроку різьби.

Далі слід перейти до створення різьби з зазначеними вище параметрами. Для цього необхідно перейти на візуальний стиль «2D каркас» і побудувати вісь для спіралі - відрізок, що йде від нижньої грані болта (з фаскою) в сторону капелюшка довжиною 44 мм, а потім ще один відрізок в тому ж напрямку довжиною 4 мм. Продовжити отриману вісь вниз (в напрямку від капелюшка болта) на відстань 2 мм. Наступну операцію рекомендується виконувати з включеним режимом «Орто». На панелі інструментів «Рисование» потрібно вибрати функцію «Спираль», в якості центру вказати початок осі та ввести радіус першої основи 8 мм і радіус другої основи - також 8 мм. Висоту спіралі слід задати 46 мм, прив'язавшись вручну до потрібної точки на осі стержня.

Для формування збігу різьби необхідно створити другу спіраль з центром на висоті осі 46 мм і з початком, що точно збігається з кінцем першої спіралі (при вказівці даної точки рекомендується включити миттєву прив'язку «Конточка»). Радіус другої основи слід вказати 11 мм, а висоту спіралі прив'язати до кінця відрізка на осі, довжина якого 4 мм.

Далі у першій спіралі після подвійного кліку лівою кнопкою миші на ній необхідно задати кількість витків 23, а у другій спіралі - 2 штуки, тим самим, отримавши крок різьби 2 мм. З'єднати отримані спіралі в одну.

На верхньому кінці отриманої спіралі (найближчому до капелюшка) побудуємо трикутник з основою 1,99 мм і кутом при вершині 60°. Середина основи трикутника повинна точно збігатися з точкою початку спіралі. За допомогою функції «3D поворот» на панелі інструментів «Редактирование» необхідно розгорнути трикутник на 90° так, щоб його профіль формував метричну різьбу при русі по траєкторії спіралі, і відсунути від спіралі на 0,2 мм, щоб контури профілю не перетиналися під час руху по траєкторії (рис. 2.5.1, а).

Наступним кроком буде зсув профілю зуба різьби по траєкторії спіралі. Для цього можна використовувати функцію «Сдвиг» на панелі інструментів «Моделирование». Результат операції на візуальному стилі «Концептуальный» показаний на рис. 2.5.1, б.

Останнім кроком для отримання профілю різьби з заданими параметрами і правильним стоком є віднімання профілю спіралі зі стержня болта.

Як матеріал болта доцільно призначити «Сталь гальванізовану». Готова деталь, відображена на візуальному стилі «Реалістичний» приведена на рис. 2.5.1, в.

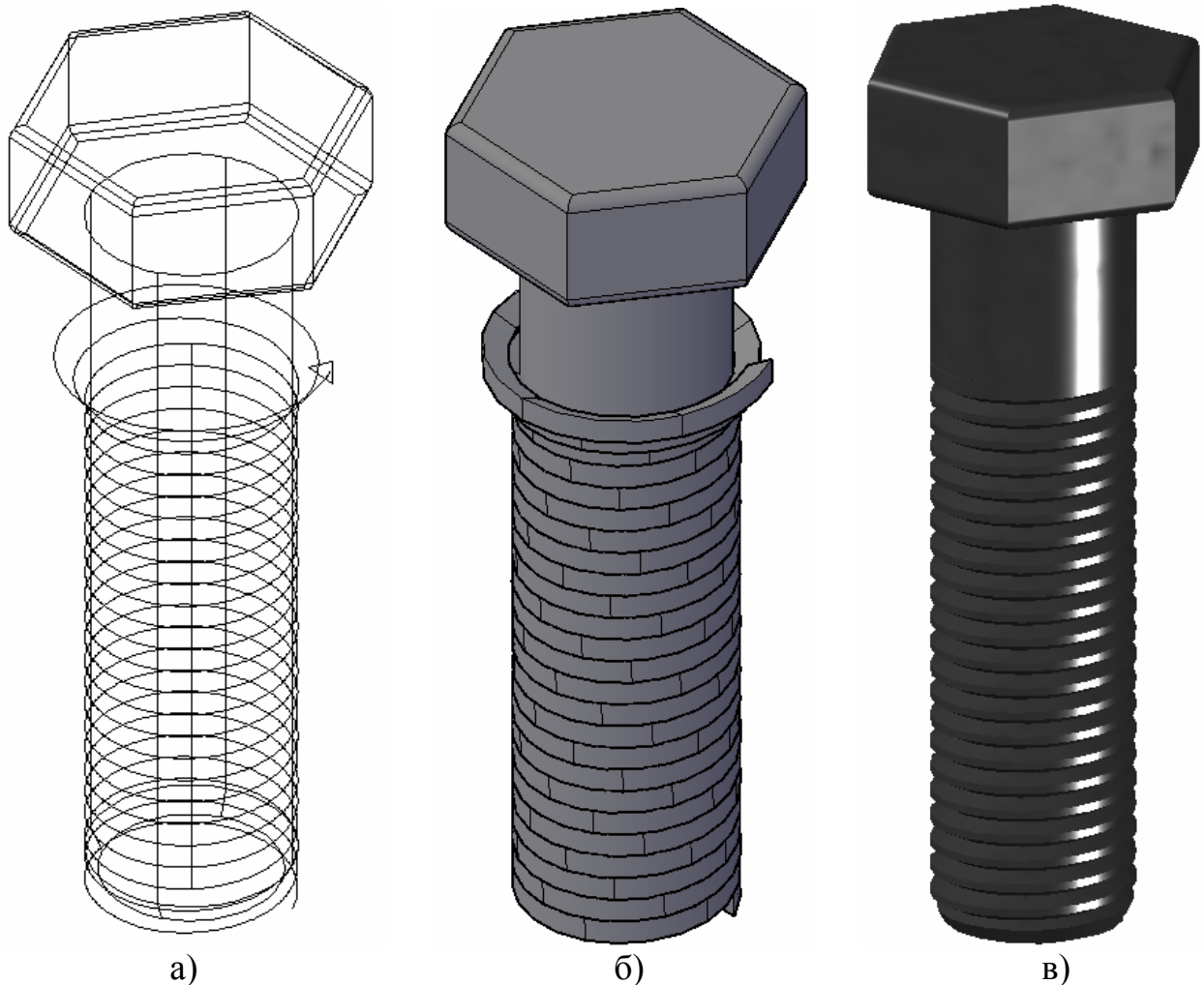


Рис. 2.5.1 Болт з різьбою.

а) заготовка «2D каркас»; б) заготовка на візуальному стилі «Концептуальний»; в) готова деталь на візуальному стилі «Реалістичний»

### *Побудова асоціативного 2D креслення*

В AutoCAD існує можливість за наявною 3D моделлю швидко побудувати 2D креслення з потрібною кількістю асоціативних видів деталі. Для цього у відкритому документі з моделлю необхідно в меню «Лист» на панелі інструментів «Создать вид» вибрати функцію «Базовый», а як джерело вибрати «Из пространства модели». Далі слід вказати які об'єкти (або вся модель) будуть використовуватися при побудові асоціативних видів і назву нового «Листа». Автоматично буде виконаний перехід в простір створеного «Листа» з можливістю по черзі задати положення всіх можливих автоматичних асоціативних видів 3D деталі.

Слід пам'ятати, що будь-які зміни 3D деталі на моделі спричинять симетричні зміни в її асоціативних видах, побудованих на «Листе».

**Завдання:**

1. Створити болт М16, показаний на рис. 2.4.1. Як матеріал деталі задати «Сталь гальванізована».
2. Побудувати 2D креслення асоціативних видів болта з різьбою. Проставити всі необхідні розміри. Додати рамку і заповнити основний напис креслення.

## Відеоуроки для вивчення САПР AutoCAD

1. Создание 2D чертежа детали  
<https://www.youtube.com/watch?v=tpQJflqYzEs>
2. Слои в AutoCAD  
<https://www.youtube.com/watch?v=NdLDxKCj5GQ>
3. Как сделать 3D модель в AutoCAD  
<https://www.youtube.com/watch?v=e1eHuFF6dfY>
4. Стол на гнутых ножках  
<https://www.youtube.com/watch?v=YzhQZnNezKM>
5. 3D моделирование и визуализация сюррикена  
<https://www.youtube.com/watch?v=3dh2DbcjxE&t=1s>
6. 3D моделирование и визуализация гайки  
[https://www.youtube.com/watch?v=qko4W\\_gLBMA&t=1532s](https://www.youtube.com/watch?v=qko4W_gLBMA&t=1532s)
7. 3D болт с резьбой  
<https://www.youtube.com/watch?v=F7E4nhY-Iwc>
8. Ассоциативный чертеж в AutoCAD  
[https://www.youtube.com/watch?v=d\\_UFj0Sxulc](https://www.youtube.com/watch?v=d_UFj0Sxulc)

## Розділ 3. САПР SolidWorks

SolidWorks – програмний комплекс САПР для автоматизації робіт промислового підприємства на етапах конструкторської та технологічної підготовки виробництва. Забезпечує розробку виробів і технічної документації будь-якого ступеня складності і призначення.

Прикладні програми пакету SolidWorks охоплюють всі аспекти процесу розробки виробу за допомогою інтегрованої системи документообігу, перевірки, стійкого проектування, обміну та управління даними. Дизайнери і інженери можуть легко охопити кілька напрямків і стадій розробки продукту, скоротити цикл проектування, підвищити продуктивність і швидше вводити інноваційні рішення в виробничий процес.

САПР розроблена компанією SolidWorks Corporation, з 1997 року є незалежним підрозділом компанії Dassault Systemes (Франція). Розробка програми розпочалася в 1993 році, а вже в 1995 вона склала вагому конкуренцію таким продуктам, як AutoCAD, Autodesk Mechanical Desktop і Pro ENGINEER.

Система SolidWorks стала першою САПР, що підтримує твердотільне моделювання для платформи Windows.

Особливостями САПР є: інтуїтивний інтерфейс програми, наявність широкого вибору функцій і можливостей для проектування і підготовки технічної документації будь-якої складності, можливість автоматичної адаптації конструкторської документації для управління автоматизованими верстатами з програмним керуванням, проведення досліджень впливу різних факторів на конструкцію і характеристики виробу.

Дані методичні вказівки розроблені для версії програми SolidWorks 2013, однак можуть використовуватися і для інших версій пакету.

### Практичне заняття № 3.1

#### Тема: Основи роботи з інтерфейсом САПР SolidWorks. **Двовірне проектування**

Робота в САПР SolidWorks починається з відкриття вже створеного документа або вибору виду нового документа:

- двовірне креслення;
- тривірний деталь;
- складання тривірних деталей або об'єднання декількох збірок.

Для створення двовірного креслення деталі необхідно вибрати вид документа «чертеж», а далі встановити необхідний формат аркуша. При виборі формату листа є можливість використання заданого користувачем або стандартного розміру листа. SolidWorks за замовчуванням містить всі формати з основними написами і рамками по ЄСТД (Єдиний стандарт технічної документації). Редагування основного напису після його появи на робочому

аркуші здійснюється вибором в контекстному меню робочого поля аркуша пункту «Редактировать основную надпись».

### *Интерфейс програми*

Інтерфейс пакету SolidWorks налаштовується індивідуально під конкретного користувача. У контекстному меню панелі інструментів є можливість викликати для швидкого доступу необхідні кнопки і меню з наступним їх переміщенням в бажану частину вікна програми.

Рекомендується перед початком роботи вивести найбільш часто використовувані панелі кнопок, такі як: «Формат линии», «Форматирование», «Быстрые привязки», «Эскиз», «Размеры/Взаимосвязи», «Слой» і розташувати їх на зручних позиціях, що значно прискорить роботу з двовимірним кресленням.

Для збільшення робочого поля аркуша рекомендується зменшити розмір розсувних бокових панелей і розміри іконок основної панелі інструментів, знявши прапорець «Использовать большие кнопки с текстом» в її контекстному меню.

Основна робоча панель інструментів документа «Чертеж» містить 5 вкладок:

1. *Расположение вида* – створення двовірних видів деталі на основі наявної 3D моделі, автоматична побудова перетинів, розрізів, видів і розривів.

2. *Примечание* – меню містить постановку всіх видів розмірів і позначень (шорсткість поверхні, бази, розстановка позицій елементів креслення), нанесення штрихування і написів.

3. *Эскиз* – елементи побудови 2D креслення (лінія, багатокутник, фаска, скруглення, сплайн та ін.), основні функції для спрощення роботи з двовірними об'єктами (обрізати, подовжити, дзеркальне відображення, масив, зсув).

4. *Анализировать* – меню містить функції аналізу вмісту документа: вимірювання відстаней між елементами, перевірка орфографії тексту, статистика креслення (кількість розрізів, видів, блоків, осьових ліній і т.д.)

5. *Продукты Office* – завантаження набору додаткових прикладних програм пакета SolidWorks: SolidWorks Simulation - додаток для моделювання впливу різних факторів на конструкцію та дослідження її характеристик; SolidWorks Motion - створення анімованих дій; PhotoView 360 - створення зображень об'єктів з високою реалістичністю. При включенні будь-якої прикладної програми всі її функції будуть автоматично завантажені в робочий інтерфейс основного пакету. Панель інструментів завантаженої програми можна вивести в робоче вікно САПР через контекстне меню панелі інструментів SolidWorks.

Повторний виклик раніше використаної функції здійснюється натисканням клавіші «Enter», скасування останньої дії - комбінацією клавіш «Ctrl + Z», закриття вікна властивостей елемента після внесення необхідних змін - клавішею «Esc» або кліком лівої кнопки миші при наведенні курсорі на вільну ділянку робочого поля листа.

### **Завдання:**

1. Створити креслення формату А3 альбомної орієнтації з рамкою і основним написом відповідно до ГОСТ 2.301-68.
2. Налаштувати інтерфейс САПР SolidWorks для особистої зручності користування, відобразивши і компактно розмістивши найбільш часто використовувані панелі інструментів швидкого доступу.
3. Створити креслення деталі відповідно до наведеної на рис. 3.1.1 аксонометрії. Розміри деталі вибрати довільно зі збереженням пропорцій між елементами.
4. Заповнити основний напис креслення.
5. Домогтися коректного відображення креслення деталі з рамкою і основним написом при попередньому перегляді документа.

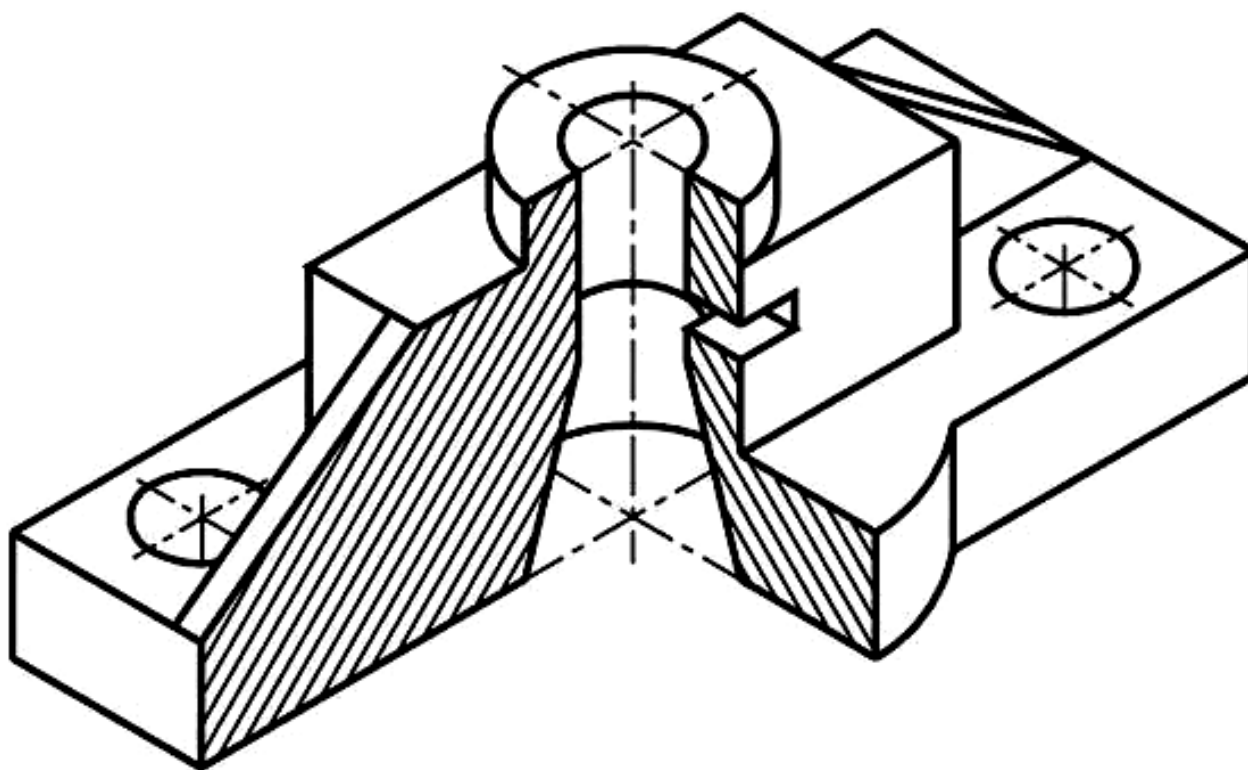


Рис. 3.1.1 Аксонометрія деталі

### **Практичне заняття № 3.2**

#### **Тема: Проектування 3D моделей. Робота з масивами**

При роботі в програмі SolidWorks з декількома документами швидке перемикання між ними здійснюється натисненням комбінації клавіш «Ctrl + Tab». Перегляд списку всіх відкритих документів здійснюється через головну панель управління (висувна панель в самій верхній частині екрану) у вкладці «Окно», де можна закрити будь-який з відкритих документів або відобразити файл даного документа в папці жорсткого диску комп'ютера.

## *Проектування 3D моделей*

Побудова тривимірної моделі в САПР SolidWorks починається з вибору площини в дереві конструювання (першій вкладці на лівій висувній панелі інструментів) і створення на ній ескізу. Рекомендується вибирати в якості базової площини ту, на якій можна побудувати найскладніший контур для ескізу майбутньої моделі з плоскими гранями. У разі, якщо деталь має неплоскі (круглі, еліптичні або складної форми) грані, рекомендується починати її побудову з ескізу, який відображає основу елемента майбутньої деталі для витягування або обертання. При виборі площини в дереві конструювання відразу з'являється можливість побудови на ній ескізу або установки її відображення перпендикулярно до лінії погляду користувача (в площині, паралельній екрану монітора).

Побудова 3D моделей в середовищі SolidWorks відбувається за тим же принципом, що і в програмі Компас: після створення базового ескізу і перетворення його в тривимірний об'єкт, на отриманих гранях і площинах відбувається подальша побудова двомірних ескізів з подальшим їх перетворенням в тривимірні елементи при використанні таких функцій як «Вытянутая бобышка/основание», «Повернутая бобышка/основание». Така ж пара функцій існує і для реалізації операцій віднімання обсягу деталі: «Вытянутый вырез» та «Повернутый вырез». Часто вживаними є також функції тривимірного моделювання «Фаска» і «Скругление».

Всі перераховані функції знаходяться на вкладці «Элементы» основної робочої панелі інструментів програми, а також можуть бути винесені у вигляді окремих кнопок на панель швидкого доступу при активації в контекстному меню робочої панелі інструментів. Велика частина зазначених функцій стає активна тільки після виходу з режиму ескізу.

САПР SolidWorks дозволяє редагувати вже наявні елементи моделі в будь-якій послідовності з автоматичною перебудовою всієї конструкції після внесення коректив. Для цього необхідно в дереві конструювання вибрати будь-який пункт і натиснути «Редактировать определение». Також в дереві конструювання є можливість «Скрыть» і знову «Отобразить» будь-які елементи моделі.

### *Модель трійника розтруба*

Побудова моделі сполучної труби-трійника (рис. 3.2.1, а), слід почати з ескізу на площині «Справа», на якому необхідно створити два кола (профіль стінки труби) довільного діаметру.

Коригування розмірів елементів ескізу в середовищі SolidWorks зручно реалізовувати в такий спосіб: після побудови елементів довільного розміру слід за допомогою функції «Автоматическое нанесение размеров» нанести розміри на елементи, далі у властивостях розмірів встановити потрібні значення. Після проведення зазначених дій геометричні розміри самих елементів ескізу автоматично будуть змінені на зазначені.

Далі за допомогою функції «Вытянутая бобышка/основание» необхідно створити циліндр з отвором (трубу).

Дану деталь можна побудувати і іншим способом: на основі однієї окружності ескізу витягнути циліндр при активній функції «Тонкостенный элемент» із зазначенням товщини стінки.

Для побудови ескізу на неплоскій (круглій) грані необхідно створити додаткову площину. Дана операція виконується при використанні функції «Плоскость» меню «Справочная геометрия» вкладки «Элементы» основною робочою панелі інструментів програми.

Наступним кроком необхідно побудувати сполучні розтруби на кінцях основної труби. Спочатку слід створити на одному краю труби ділянку перехідного діаметру. Для цього можна скористатися функцією «Бобышка/основание по сечениям», попередньо створивши кілька площин з колами необхідних діаметрів на ескізах. Активувавши зазначену функцію, вибрати всі перетини і кромку основної труби і, включивши «Тонкостенный элемент», побудувати необхідний сегмент моделі. Повторити операції для іншого кінця основної труби. Також можна скористатися функцією «Зеркальное отражение» з копіюванням тіл.

Далі необхідно створити площину на деякій відстані від площини «Сверху» і побудувати на ній ескіз профілю бокового входу сполучної труби, узгодивши діаметри основного і бічного розгалужень. Витягнути ескіз із зазначенням напряму «До поверхності» (вибравши в якості поверхні наявну грань основної труби). При виконанні операції обов'язковим є включена умова «Объединить результаты». Далі створити ескіз окружності на торці бічної труби і операцією «Вытянутый вырез» з вказівкою напрямку «До поверхності» до внутрішньої стінки основної труби сформувати трубу-трійник.

На бічному вході труби сформувати стикувальний млинець з кріпильними отворами. Отвори розподіляються за допомогою функції «Круговой массив» із зазначенням їх необхідної кількості.

Останнім етапом є завдання матеріалу, кольору і настройка відтворення моделі для більш реалістичного її відображення.

### *Налаштування відображення моделі*

Елементарне управління відображенням моделі здійснюється перемиканням стилів відображення під основною робочою панеллю інструментів. Є в наявності наступні стилі: «Закрасить с кромками», «Закрасить» ... «Каркасное представление».

Після закінчення побудови моделі слід задати матеріал тіла або деталей. Для цього на правій висувній панелі інструментів необхідно відкрити вкладку «Внешние виды, сцены и надписи», вибрати зі списку необхідний матеріал з певним видом обробки поверхні і перетягнути його на модель. Після цього в точці перетягування з'являться кнопки вибору обсягу застосування операції: грань, елемент, тіло («Body») або документ (назва поточного документа).

Швидко обрати матеріал всієї моделі можна в дереві конструювання, вибравши «Редактировать материал» в контекстному меню пункту «Материал».

Налаштування кольору поверхні (деталі, тіла) здійснюється на вкладці «Display manager» лівої висувної панелі інструментів, де в списку зовнішніх видів можна після подвійного кліку лівою кнопкою миші у властивостях виду задати будь-який колір для елемента моделі.

Для більш реалістичного отримання зображення моделі з детальною настройкою якості і спецефектів відображення слід використовувати прикладну програму пакета SolidWorks, яка отримала назву PhotoView 360. Щоб скористатися функціями даної програми необхідно попередньо завантажити її в середовище САПР, скориставшись вкладкою «Продукты Office» основної робочої панелі інструментів. Після цього стане доступна нова вкладка «Инструменты отрисовки» на цій же панелі. В меню вкладки «Инструменты отрисовки» слід настроїти якість відображення моделі в пункті «Параметры», потім рекомендується запустити «Окно предварительного просмотра», а далі «Окончательную отрисовку». Слід пам'ятати, що остання операція при установці високої якості формованого зображення може зайняти багато часу і вимагати високу продуктивність комп'ютера для реалізації.

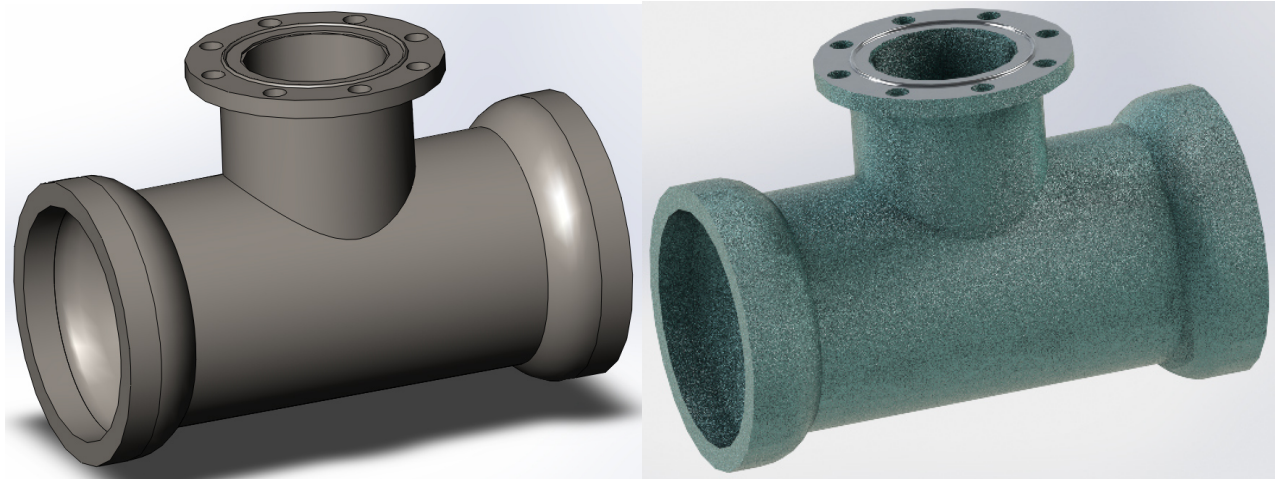
### **Завдання:**

1. Створити модель трійника розтруба, показану на рис. 3.2.1, б, в. Як матеріал моделі вибрати сталь піскоструминної обробки. Задати необхідний колір деталі. Домогтися максимальної реалістичності моделі та ідентичності її з зображенням, наведеним на рис. 3.2.1, а.

2. Створити модель (деталь) шестерні, креслення якої наведено в додатку 3, а зображення - на рис. 3.2.2. Як матеріал деталі вибрати просту вуглецеву сталь.



a)



б)

в)

Рис. 3.2.1 З'єднувальний трійник розтруб: а) зображення, б) модель в середовищі SolidWorks з простим відображенням; в) модель в середовищі SolidWorks з відображенням за допомогою прикладної програми PhotoView 360

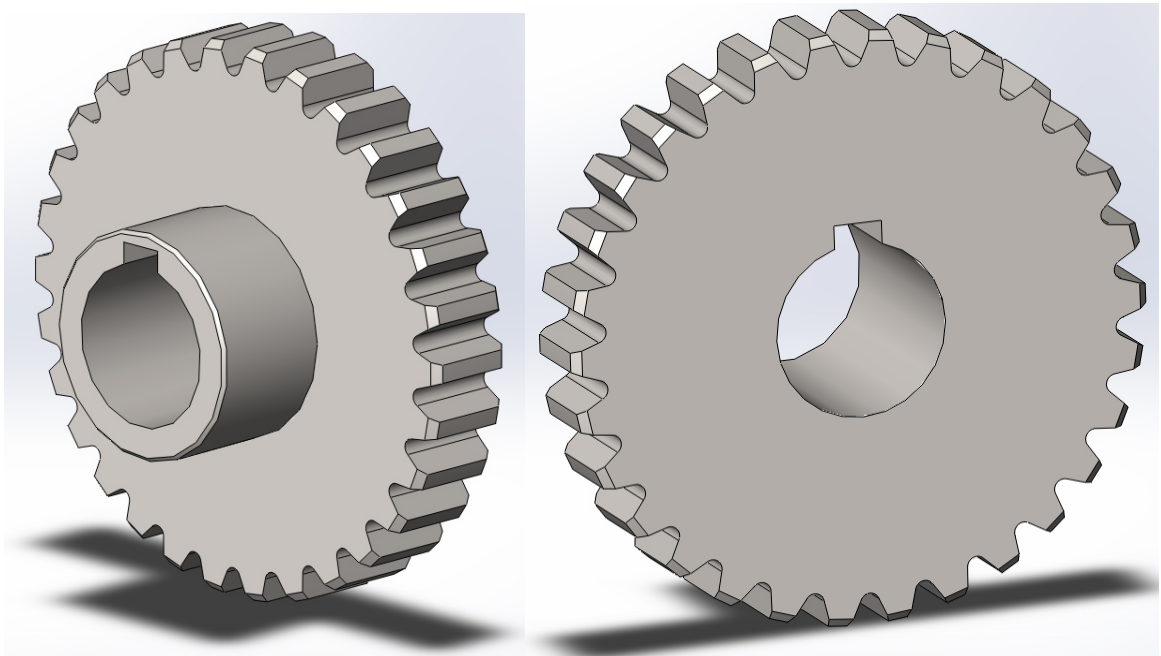


Рис. 3.2.2 Модель шестерні

### Практичне заняття № 3.3

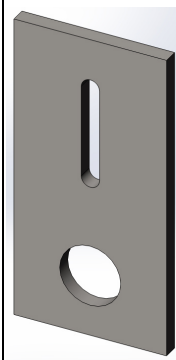
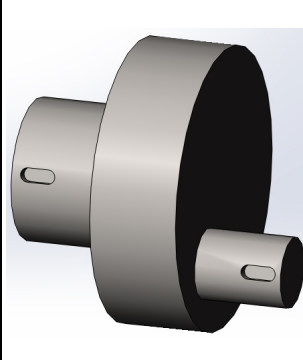
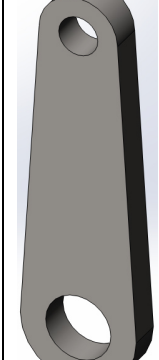
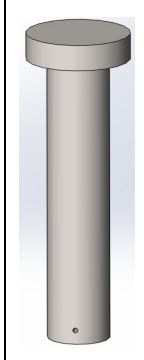
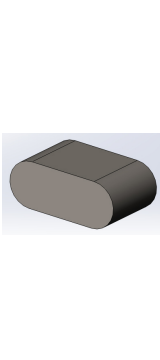
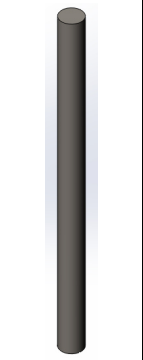
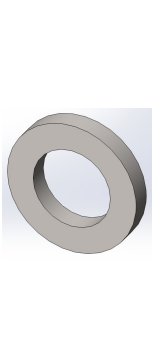
**Тема: Складання деталей. Проста анімація збірки.  
Побудова асоціативного 2D креслення**

Створення збірки деталей починається з відкриття нового документа «Сборка», в якому буде відбуватися побудова і узгодження складальних елементів і блоків. Перед побудовою збірки необхідна наявність збережених файлів деталей, з'єднувальні розміри яких будуть узгоджені між собою.

Розглянемо побудову рухомої збірки, що складається з чотирьох простих деталей: корпуса, колінвалу, осі і шатуна. Для фіксації елементів в збірці

будуть використовуватися дві шпонки, кільце і дрід (табл. 3.3.1). Колінвал містить дві канавки під шпонки, а вісь має отвір для вставки дроту.

Таблиця 3.3.1 Деталі та сполучні елементи збірки

						
Корпус	Колінвал	Шатун	Вісь	Шпонка	Дрід	Кільце

Після створення нового документу збірки все відкриті в програмі деталі будуть автоматично завантажені в список елементів для вставки, в іншому випадку необхідно додати деталі вручну. Додавання деталей в робоче поле збірки здійснюється через вкладку «Сборка» основної робочої панелі інструментів програми через пункт «Вставити компоненти».

Редагування деталей можна здійснювати безпосередньо з документа збірки після його збереження. Для цього необхідно вибрати в контекстному меню потрібної деталі в дереві конструювання «Редактировать деталь», «Открыть деталь». Після внесення коректив в одну з деталей і повернення до документа збірки буде автоматично запропоновано перебудувати складальну конструкцію. Для перебудови збірки необхідною умовою є закриття режиму ескизу на всіх її деталях.

Після додавання всіх деталей в документ складання необхідно вказати сполучення між деталями і їх елементами (гранями, площинами). Для цього слід використовувати пункт «Условия сопряжения» вкладки «Сборка» основної робочої панелі інструментів програми.

Для створення вищеописаної збірки потрібно наступні типи сполучень: концентричність (співвісність), збіг, дотичність, паралельність і заблокувати. Останній тип сполучення жорстко прив'язує дві деталі одна до одної без можливості будь-яких подальших переміщень.

Зображення отриманої збірки наведені на рис. 3.3.1.



Рис. 3.3.1 Збірка

Після побудови збірки її роботу в динаміці можна наочно побачити за допомогою функцій «Переместить \ Вращать компонент».

#### *Проста анімація збірки*

САПР SolidWorks дозволяє швидко отримати запис (відео-файл) анімації збирання-розбирання складальної конструкції. Для створення анімованих дій попередньо необхідно, включивши «Вид з рознесеними частинами» на основній робочій панелі інструментів програми, побудувати покроково рознесення всіх деталей збірки. Отримана збірка прийме вигляд, що показано на рис. 3.3.2.

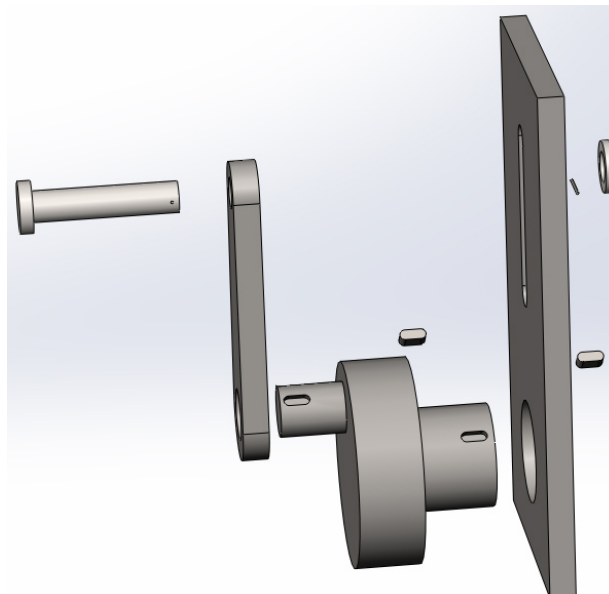


Рис. 3.3.2 Збірка з рознесеними деталями

Для створення анімації далі необхідно на вкладці «ConfigurationManager» лівої висувної панелі інструментів в таблиці «Конфигурации» відкрити в дереві конструювання контекстне меню «Вида с разнесенными частями» і вибрати пункт «Анимировать составление элементов». Після цього відкриється панель настройки швидкої анімації з можливістю зберегти файл-відео. Під час ходу анімації залишається доступною можливість змінювати ракурс огляду збірки.

### *Побудова асоціативного 2D креслення*

Після збереження файлу збірки стає можливим побудувати автоматично її креслення з необхідними асоціативними образами. Для цього необхідно після створення нового документа типу «Чертеж» вибрати на лівій висувній панелі інструментів програми «Деталь/Сборку для вставки». Далі вказати на кресленні положення трьох основних асоціативних видів та ізометрії.

Для винесення додаткових видів необхідно на правій висувній панелі інструментів вибрати меню «Палитра видов», вказати в верхній частині вікна документ (деталь або складання) і перетягнути наявні види в робоче поле креслення. Приклад отриманого креслення наведений на рис. 3.3.3.

Побудова автоматичних розрізів на кресленні з асоціативними видами реалізується через пункт «Розріз» вкладки «Розташування виду» основний панелі інструментів програми. SolidWorks версії 2012 підтримує тільки автоматичне створення простих розрізів, більш пізні версії програми дозволяють миттєво будувати і складні розрізи.

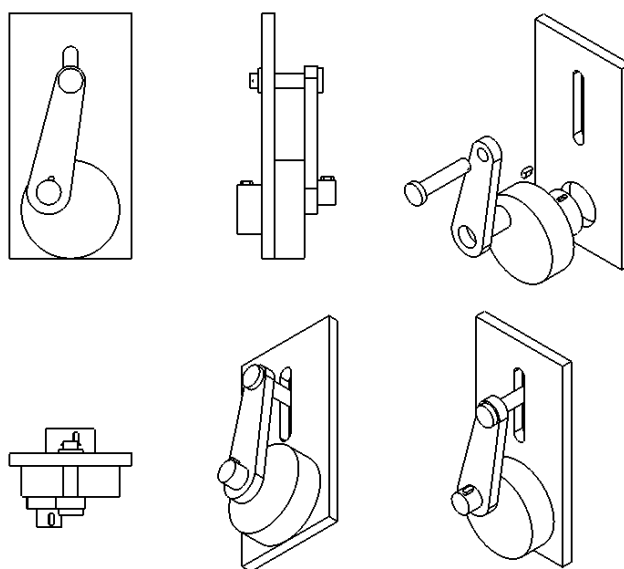


Рис 3.3.3 Креслення збірки з асоціативними видами

### **Завдання:**

1. Створити деталі і сполучні елементи, показані в табл. 3.3.1. Матеріалами деталей задати наступні: для корпусу - лита легована сталь; для колінвалу - легована сталь; для осі - проста вуглецева сталь; для шатуна - лита

легована сталь; для шпонок - листова вуглецева сталь; для дроту - сталь холодновитягнута; для кільця - проста вуглецева сталь.

2. Створити збірку, зображення якої наведено на рис. 3.3.1.

3. Створити вид з рознесеними частинами (рис. 3.3.2) і реалізувати анімацію збірки конструкції.

4. Створити асоціативне креслення збірки з чотирма видами і розрізом та проставити на ньому габаритні розміри.

### **Практичне заняття № 3.4**

#### **Тема: Складна анімація. Використання програми SolidWorks Motion**

Базовий пакет програми SolidWorks дозволяє створювати не тільки анімацію збирання-розбирання конструкції, але і моделювати рух із взаємозв'язками між деталями.

Створення анімації починається з переходу на вкладку «Анімація1» під робочим полем вікна програми. Якщо дана вкладка недоступна, необхідно в контекстному меню основної панелі інструментів активувати «MotionManager». Панель настройки анімації містить своє дерево побудови і часову шкалу дій. У базовій версії пакету SolidWorks 2012 доступно два види анімації:

- «Движение сборки» – простий рух деталей по ключових точках із застосуванням двигунів і урахуванням усіх сполучень між деталями;
- «Базовое движение» – більш реалістична анімована модель, що дозволяє розраховувати рух пружин і вплив сили тяжіння.

Простий приклад реалізації анімації руху можна розглянути на збірці, наведеній на рис. 3.3.1. На панелі анімації, вибравши функцію двигун, тип двигуна – двигун, що обертається, вказати в якості компонента грань деталі Колінвал (при цьому з'явиться червона стрілка напрямку обертання, який можна змінити на протилежний). Далі вибрати «Движение с постоянной скоростью» і вказати швидкість обертання колінвалу. Закрити вікно «Двигатель» і на панелі анімації вибрати «Рассчитать». Після закінчення розрахунку руху всіх деталей збірки можна запустити анімацію клавішею «Воспроизведение».

#### *Використання прикладної програми SolidWorks Motion*

Для розгляду деяких можливостей програми SolidWorks Motion, що дозволяє створити складну і красиву анімацію з можливістю запису високоякісного відео, створимо збірку маятника Ньютона, наведену на рис. 3.4.1. Зображення деталей, що входять в збірку, містить табл. 3.4.1.

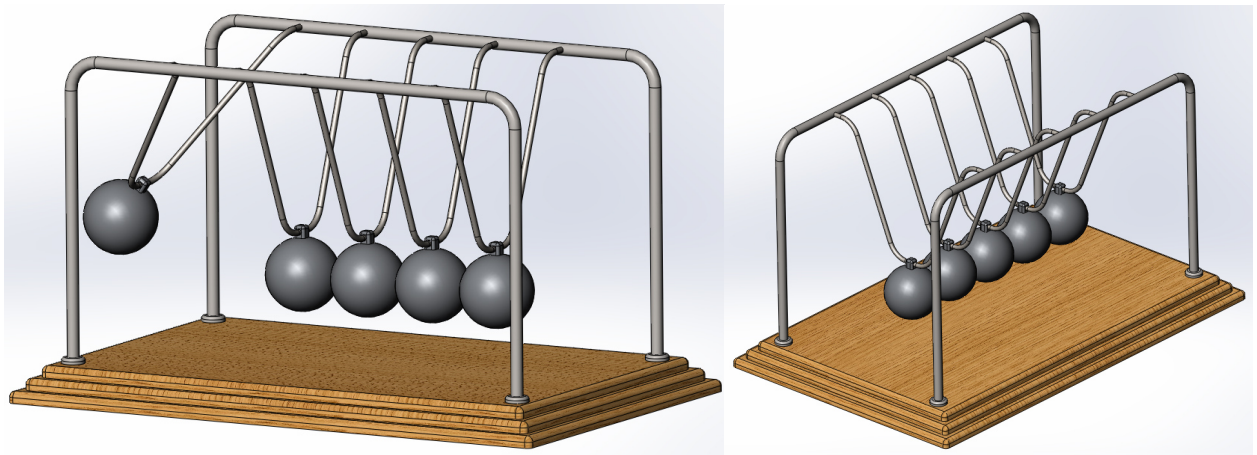

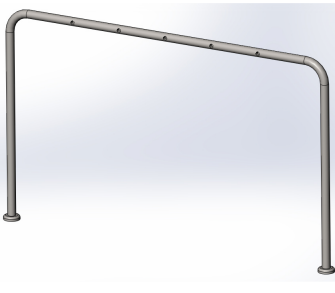
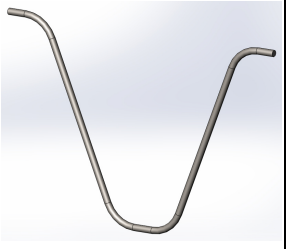
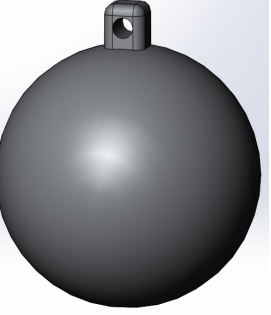


Рис. 3.4.1 Збірка маятника Ньютона

Таблиця 3.4.1 Деталі збірки

			
Основа	Планка	Дріт	Шар

Створюючи елементи збірки, необхідно пам'ятати про узгодження всіх кріпильних і габаритних розмірів деталей, що до неї входять. Особливу увагу слід звернути на розмір кріпильних отворів (ненаскрізних) на планці і відстані між ними, товщину дроту і розмір кріпильного отвору кулі, а також діаметр останнього.

При створенні моделей дроту і планки настійно рекомендується використовувати лінію, побудовану на 3D ескізі (як траєкторії) з подальшим застосуванням функції «Бобышка/Основание по траектории» на основі 2D ескізу окружності.

Після винесення всіх деталей в документ збірки необхідно встановити наступні сполучення між їх елементами:

- збіг підстав двох планок і поверхні основи маятника;
- паралельність між планками (їх площинами в дереві конструювання) і потрібними гранями основи маятника;
- задані (однакові) відстані від граней основи до площин планок для осесиметричного і паралельного розташування останніх на основі маятника;
- концентричність кріпильних ділянок дротів і отворів в планці;
- збіг торців кріпильних ділянок дротів і дна отворів в планці;
- концентричність отворів куль і центру дротів;
- збіг певних площин всіх куль з відповідними площинами всіх дротів;

- збіг певних площин всіх куль з додатково створеної площиною, що відповідає центральній осі симетрії всієї конструкції маятника, для точної установки шарів на одній осі;

Наступним кроком необхідно активувати функції програми SolidWorks Motion на вкладці «Продукты Office» основної робочої панелі інструментів програми. Після цього на вкладці «Анимация1» стане доступним третій вид анімації «Анализ движения» у висувному списку над деревом побудови анімації. При виборі типу моделювання «Анализ движения», стануть доступні додаткові функції анімації.

Слід установити на панелі налаштування анімації «Силу тяжести», спрямовану строго вниз і рівну  $9,8 \text{ м/с}^2$ .

Далі необхідно створити «Контакты» між кожною парою сусідніх шарів типу «Твердые тела»: в діалоговому вікні даної функції відключити опції «Материал» та «Свойства упругости» (зняти галочки), а в другій вкладці «Свойства упругости» задати «Коэффициент восстановления» рівним 0,9.

Далі слід вручну наклонити один з крайніх шарів на початковий кут для створення руху в системі маятника під дією сили тяжіння на вкладці «Анимация1». Заключною дією є активація розрахунку анімованих дій кнопкою «Расчитать». Після закінчення даного процесу можна запустити анімацію кнопкою «Воспроизведение».

Панель анімації містить також налаштування швидкості і циклічності дій, а також можливість зберегти файл-відео (підтримує формат фалів \*.avi).

У дереві побудови анімації можна також налаштувати освітлення: включити \ вимкнути різні його типи, а також задати ракурс джерела освітлення і яскравість.

### *Налаштування камер анімації*

У дереві побудови анімації за замовчуванням задана проста камера, що володіє ефектами збільшення \ зменшення зображення і декількома видами траєкторії руху (пряма, дуга). Навпроти кожного елемента дерева побудови анімації розташовується рядок часової шкали, на якій і буде виконано повне встановлення дій для кожного об'єкта в будь-який момент часу. При виборі рядка «Ориентация и виды камер» з'являється можливість на часовій шкалі встановити «ключ», що відповідає певному положенню камери в конкретний поточний момент часу. У контекстному меню ключа задаються параметри траєкторії руху камери після проходження даної часової точки.

Створення та налагодження додаткової камери здійснюється наступним чином: попередньо на вкладці «Модель» необхідно задати траєкторію руху створюваної камери. Для цього слід створити додаткову площину, в якій сплайном намалювати цю траєкторію. Далі на вкладці «Анимация1» в дереві побудови вибрати в контекстному меню пункту «Источники света, камеры и сцены» параметр «Добавить камеру». У діалоговому вікні задати «Место, определяющее базу» (точку, в яку буде завжди спрямована камера) і «Расположение камеры» (траєкторію її рухів - задану лінію-сплайн). Також в

даному вікні можна задати різні параметри самої камери: тип об'єктива, розмір кадру і інші. Після створення камери необхідно прив'язати її рух до часових точок. Для цього, розгорнувши пункт «Источники света, камеры и сцены», в контекстному меню рядка «Камера» вибрати «Вид камеры». Далі у відповідному рядку часової шкали встановити точку часового інтервалу і в «Свойствах» контекстного меню пункту «Камера» задати «Расположение камеры»: процентну відстань уздовж обраної траєкторії. Необхідно поставити кілька таких часових точок і відповідні їм відсотки проходження камери по траєкторії: наприклад, для 0, середини і кінця всього часового відрізка анімації задати відсотки проходження траєкторії 0, 50% і 100% відповідно. Задані часові точки відобразяться у вигляді ключів, що не можна редагувати, на шкалі. Останніми діями є запуск «Расчета» і «Воспроизведение» самої анімації.

### **Завдання:**

1. Створити анімацію руху збірки, наведеної на рис. 3.3.1, з обертанням колінвалу.
2. Створити деталі, показані в табл. 3.4.1. Матеріалами деталей задати наступні: для основи - дуб; для планки - легрована сталь; для дроту - сталь холоднокатана; для кулі - срібло без домішок.
3. Створити збірку маятника Ньютона, зображення якої наведені на рис. 3.4.1, з усіма необхідними для анімації руху сполученнями між деталями.
4. Створити реалістичну анімацію руху збірки маятника Ньютона з додатковою камерою, яка буде рухатися по круговій траєкторії навколо конструкції. Зберегти файл-відео цієї анімації.

## **Практичне заняття № 3.5**

### **Тема: Моделювання процесів і впливів. Додаток SolidWorks Simulation**

Прикладна програма SolidWorks Simulation є повністю інтегрованою і часто входить в базову комплектацію даної САПР та являє собою систему аналізу конструкцій будь-якої складності. Пакет випускається в трьох модифікаціях, кожна з яких спрямована на вирішення спеціальних завдань різної складності:

- *SolidWorks Simulation Standard*. Версія пакета дозволяє здійснювати моделювання конструкції на основі лінійного статистичного аналізу.
- *SolidWorks Simulation Professional*. Пакет містить розширений набір функцій і можливостей, дозволяє здійснювати просторовий структурний аналіз, аналіз температурних полів, провести симуляцію частоти вібрацій, а також здійснювати моделювання руху елементів конструкцій і збірок.

- *SolidWorks Simulation Premium*. Найбільш повна версія пакета, яка дозволяє проводити моделювання процесів з урахуванням нелінійної залежності властивостей матеріалів і характеристик конструкцій, динамічний аналіз компонентів і збірок, а також використовувати реалістичні моделі композитних матеріалів.

Для вирішення інженерних завдань із застосуванням пакета SolidWorks Simulation необхідна висока продуктивність комп'ютера, вимоги до якої різко підвищуються зі збільшенням складності і кількості деталей в конструкції, а також точності розрахунку.

Програма SolidWorks Simulation дозволяє проводити 9 типів аналізу:

- |                    |                         |                     |
|--------------------|-------------------------|---------------------|
| • статичний        | • термічний             | • нелінійний        |
| • частотний        | • ударного навантаження | • лінійної динаміки |
| • втрата стійкості | • втомний               | • посуд тиску       |

Для проведення досліджень необхідно попередньо активувати пакет і завантажити його функції в середовище SolidWorks, скориставшись вкладкою «Продукты Office» основної робочої панелі інструментів САПР. Завантаження програми призведе до появи нової вкладки «Simulation», на якій і здійснюється робота.

На вкладці «Simulation» необхідно вибрати пункт меню «Новое исследование», після чого задати ім'я дослідження (рекомендується привласнювати логічні назви для зручності орієнтації при проведенні декількох видів аналізу однієї конструкції) і його тип. Розширені версії пакету дозволяють також на даному етапі активувати функцію «Использовать 2D упрощение», що зменшить вимоги до продуктивності комп'ютера і часові витрати для проведення дослідження, однак значно знизить точність результатів аналізу.

Для базового знайомства з можливостями пакету SolidWorks Simulation проведемо три типи досліджень: статичне, частотне і втомний аналіз.

### *Статичний аналіз*

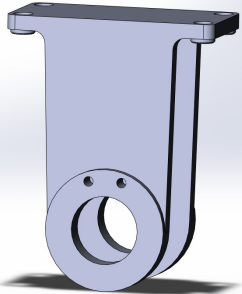

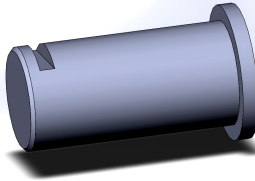
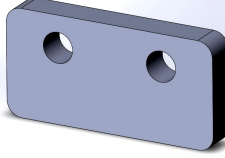
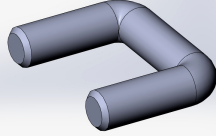
Статичний аналіз містить в собі дослідження внутрішніх напружень, переміщень елементів під дією навантажень, деформації конструкції.

Виконаємо аналіз статичних навантажень на прикладі канатного блоку типової конструкції.

*Примітка.* Блок канатний - елемент для підйому вантажу на певну висоту, має один або кілька струмків, які служать напрямними для канатів. Найчастіше канатні блоки використовуються в вантажопідйомній техніці.

Деталі збірки показані в табл. 3.5.1, а конструкція на рис. 3.5.1.

Таблиця 3.5.1 Деталі збірки

				
Кронштейн	Ролик	Вісь	Втулка	Скоба

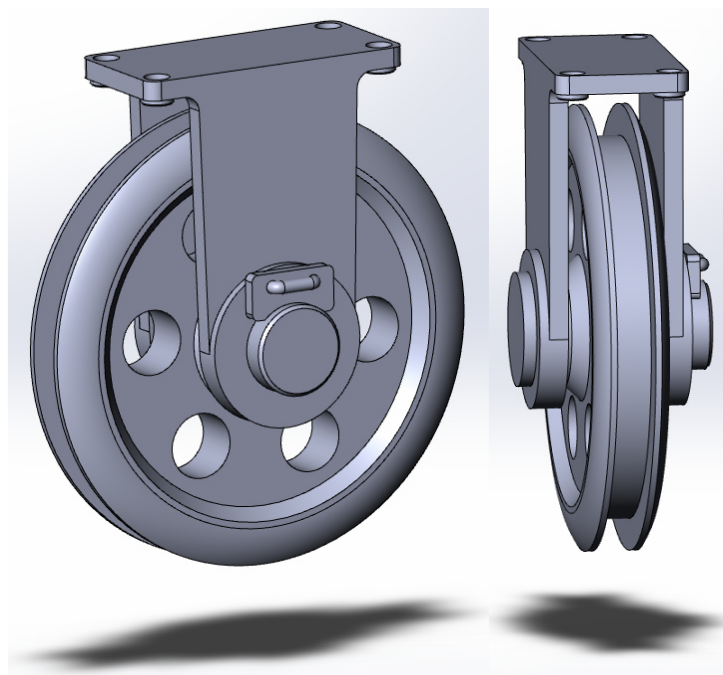


Рис. 3.5.1 Збірка канатного блоку

Статичний аналіз збірки після запуску відобразиться у вигляді дерева конструювання дослідження. До запуску аналізу необхідно попереднього виконати наступні дії:

1. У дереві конструювання на вкладці «Детали» задати всі матеріали елементів збірки. Якщо матеріал не був заданий при створенні деталі, його можна вказати в контекстному меню використавши пункт «Применить \ Редактировать материал». Зелена галочка на іконці деталі вказує на те, що матеріал компонента визначено.

2. Вказати кріплення всієї збірки, скориставшись основною панеллю інструментів програми. Для даної конструкції достатньо буде задати всього два типи кріплення:

- «Ролик \ скольжение» → «Ролик \ ползун» для верхньої грані кронштейна;
- «Фиксированный шарнир» → «Зафиксированный шарнир» для отворів на верхній грані кронштейна, призначених під болтове кріплення.

Задані кріплення змодельюють реальне з'єднання канатного блоку з підвісом або площиною, на якій він буде кріпитися при експлуатації.

Після виконання зазначених дій на вкладці «Крепления» дерева побудови дослідження відобразиться повний список заданих кріплень збірки, а в робочому вікні програми - набір стрілок на конструкції, які можуть мати різний колір і форму в залежності від виду обраного кріплення.

3. Задати зовнішні навантаження, які будуть діяти на конструкцію в ході моделювання, що імітують реальну експлуатацію виробу. На канатний блок діє два види навантаження: сила тяжіння (рівна приблизно  $9,81 \text{ м/с}^2$ ) і сила тиску каната і вантажу, прикріпленого до нього, на ролик блоку. Зовнішні навантаження можна задати, скориставшись пунктами «Сила» і «Сила тяжести» меню основної панелі інструментів програми. При вказівці сили тяжіння необхідно правильно задати напрямок сили і її величину, а при визначенні сили тиску на ролик - величину і грань конструкції, на яку буде здійснюватися вплив. Після виконання зазначених дій вони відобразяться в пункті «Внешние нагрузки» дерева побудови дослідження.

4. Останнім пунктом перед початком аналізу слід створити сітку елементарних комірок, які будуть виступати тілами для проведення аналізу всієї конструкції. Для цього необхідно в контекстному меню пункту «Сетка» дерева побудови дослідження вибрати «Создать сетку». Найбільш важливим параметром сітки є розмір елементарної комірки, від якого безпосередньо залежить точність результатів проведеного аналізу. Груба сітка знизить точність дослідження, але потребуватиме меншої продуктивності комп'ютера в ході розрахунку. Висока щільність сітки дозволить зробити більш точні обчислення, але затребує більше ресурсів на побудову і проведення аналізу. Слід пам'ятати, що конструкція, яка містить дрібні елементи (наприклад, різьби з дрібним кроком) або поверхні складної форми потребують створення сітки високої щільності.

Успішне створення сітки буде відображено не тільки на самій конструкції, а й у дереві побудови дослідження: на значку деталі в пункті «Сетка» з'явиться зелена галочка і відобразиться побудова сітки, також це буде відображено в пункті «Детали» на іконці кожного елемента збірки.

При невдалій побудові сітки необхідно повторити процедуру її створення, змінивши початкові параметри: точність сітки або кількість точок Якобіана.

Після виконання пунктів 1-4 конструкція набуде вигляду, що показаний на рис. 3.5.2.

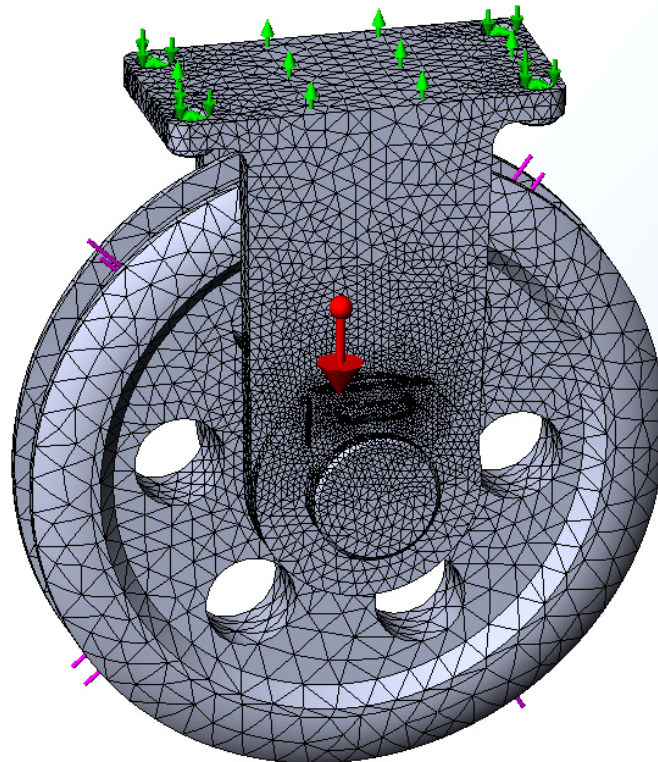


Рис. 3.5.2 Модель канатного блоку перед запуском розрахунку

У разі відсутності сітки на конструкції вона буде створена автоматично при запуску аналізу.

Перед запуском розрахунку настійно рекомендується перевірити всі вхідні дані, що значно заощадить час проведення дослідження та отримання адекватних результатів.

Початок розрахунку моделі по заданих параметрах здійснюється натисканням кнопки «Запуск» на основній панелі інструментів програми.

Результати розрахунку представлені в дереві побудови дослідження трьома основними пунктами: «Напряжение1», «Перемещение1» и «Деформация1», зображення яких наведено на рис. 3.5.3. Перехід між моделями результатів здійснюється подвійним кліком миші. Для більш реалістичного вигляду моделей існує можливість в контекстних меню пунктів «Крепления» і «Внешние нагрузки» дерева побудови дослідження відключити відображення стрілок.

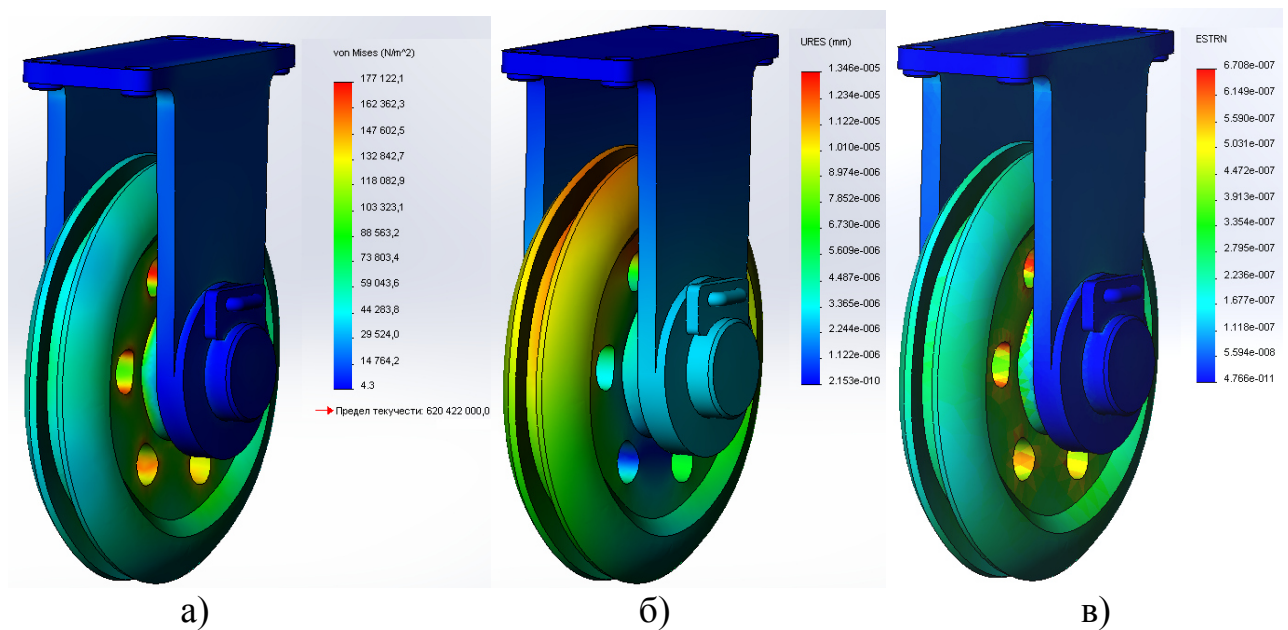


Рис. 3.5.3 Результати статичного аналізу:  
 а) напруження, б) переміщення, в) деформація

Епюра «Напряжение» показує розподіл внутрішніх напружень в конструкції.

Епюра «Перемещение» - зміна положення кожної точки збірки по відношенню до початкового стану під дією зовнішніх навантажень.

Епюра «Деформация» описує зміна форми і розмірів елементарних осередків збірки по відношенню до ненавантаженого стану.

Кожна епюра містить «спектральну» шкалу із зазначенням величини змін в конструкції відповідно до кольору ділянки.

У контекстному меню дерева побудова дослідження для активної епюри можна активувати функцію «Анимировать», де буде наочно показано процес впливу заданих статичних навантажень на параметри (форму, розміри) конструкції.

Статичний аналіз дозволяє також провести оптимізацію конструкції, спрямовану на посилення найбільш навантажених ділянок, що подовжить термін служби виробу і підвищить його надійність та експлуатаційні параметри, а також на вдосконалення масогабаритних властивостей збірки з метою економії матеріалів при виготовленні продукту. Інформація, необхідна для проведення такої оптимізації, наочно представлена на епюрі «Design Insight» (рис. 3.5.4), яку можна викликати з контекстного меню пункту «Результаты» дерева побудови дослідження.

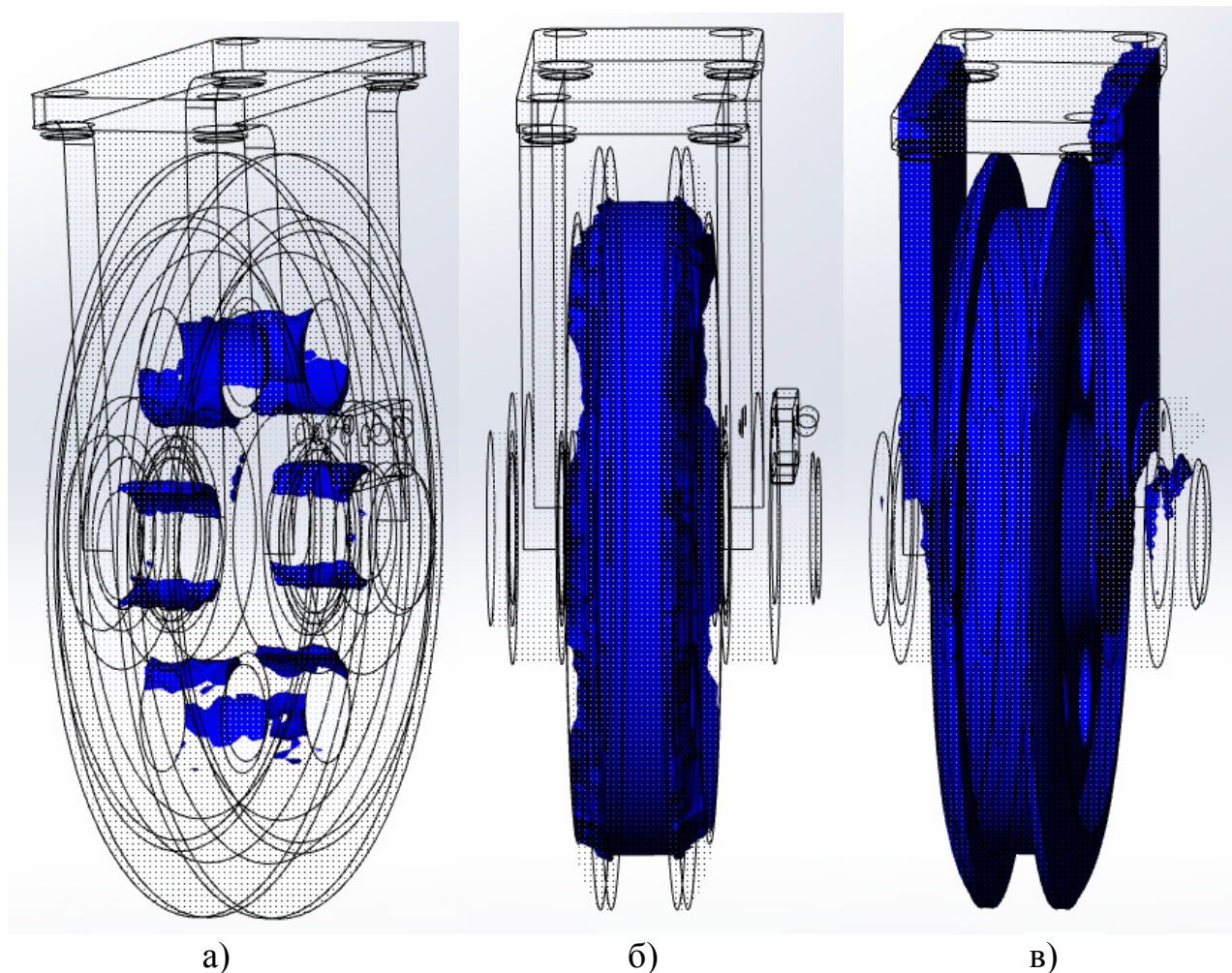


Рис. 3.5.4 Епюра «Design Insight»

Дана епюра демонструє зміну рівня навантаження в об'ємі конструкції. Динамічний аналіз розподілу внутрішнього навантаження в конструкції дозволяє визначити місця, які піддаються найбільшому навантаженню (сині області на рис. 3.5.4, а) і локалізації найменших навантажень (прозорі області на рис. 3.5.4, в).

Не виходячи з епюри «Design Insight», існує можливість оптимізувати збірку - видалити матеріал з ненавантажених областей. Це відбувається тим же шляхом, що і на вкладці «Модель»: створенням ескізів і подальшим формуванням тривимірних елементів за допомогою функцій «Вытянутый вырез» і «Повернутый вырез».

Для посилення («наторощування») матеріалу на ділянках, що піддаються впливу найбільших навантажень, необхідно перейти на вкладку «Модель», де і провести доопрацювання конструкції.

### *Частотний аналіз*

Метою частотного аналізу є розрахунок резонансних частот конструкції для зіставлення їх з частотами коливань зовнішнього середовища або несучих елементів. Збіг цих частот в ході експлуатації виробу може привести до

виникнення резонансу, значного посилення амплітуди коливань і руйнування або значної зміни характеристик конструкції.

При створенні ще одного дослідження типу «Частота» немає необхідності заново визначати кріплення збірки, створювати сітку елементарних комірок або задавати матеріали деталей. Існує можливість переносити параметри між дослідженнями простим перетягуванням елементів дерева побудови дослідження.

Частотний аналіз можна виконати з урахуванням зовнішній навантажень і без нього. У першому випадку необхідно використовувати програму розрахунку «Direct Sparse», у другому - FFEPlus. Слід пам'ятати, що рішення задачі частотного аналізу з урахуванням зовнішніх навантажень багаторазово збільшить вимоги до продуктивності комп'ютера і потребує значних витрат часу на виконання розрахунку.

Вибір програми для розрахунку виконується через пункт «Свойства» контекстного меню першого рядка (в якому міститься назва, присвоєна дослідженню) дерева побудови дослідження. При виборі типу «Автоматическая» пакет самостійно вибере потрібну програму виходячи із заданих параметрів дослідження.

Результатом частотного аналізу є епюри переміщень, які також мають функцію анімації. Найбільш важливою інформацією даного типу дослідження є список резонансних частот конструкції (табл. 3.5.2) і список переміщень вузлів збірки.

Таблица 3.5.2 Резонансні частоти конструкції

Режим No.	Частотный(Рад/сек)	Частотный(Герц)	Период(Секунды)
1	73504	11699	8.5481e-005
2	1.0804e+005	17196	5.8153e-005
3	1.0826e+005	17230	5.8039e-005
4	1.9683e+005	31327	3.1921e-005
5	2.0138e+005	32051	3.12e-005

### *Дослідження типу втома*

Аналіз втоми конструкції спрямований на визначення життєвого циклу виробу і його вузлів. На основі даного типу дослідження можна визначити, скільки циклів навантаження заданого типу зможуть витримати елементи збірки, а також спрогнозувати, в якій області відбудеться руйнування конструкції під впливом циклічних навантажень.

Для наочності і простоти інтерпретації результатів втомний аналіз виконаємо на прикладі нескладної збірки пружинного елемента, що виконує функції амортизатора коливань. Деталі збірки наведені в табл. 3.5.3, а зображення конструкції - на рис. 3.5.5.

Таблиця 3.5.3 Деталі збірки

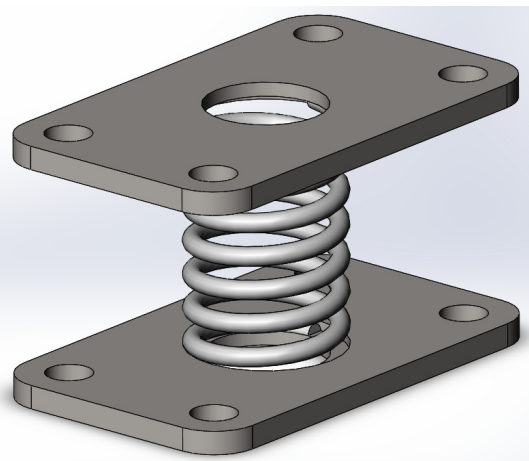
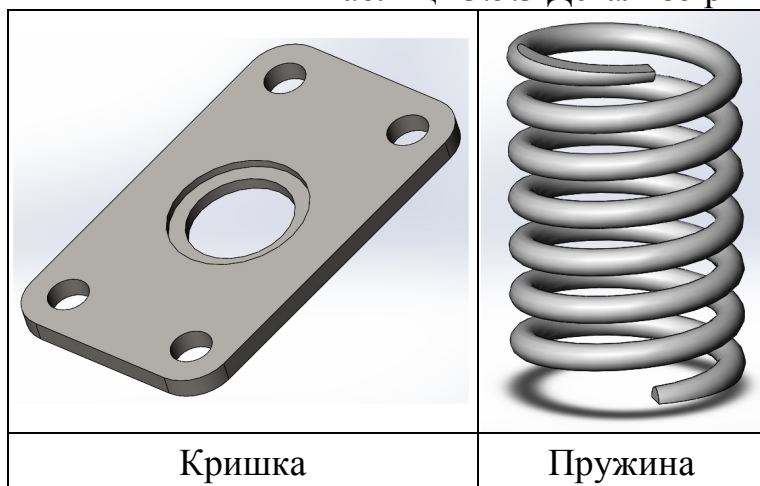


Рис. 3.5.5 Збірка пружинного елемента

Для моделювання пружинних елементів доцільно використовувати тип кріплення «Поддержка упругости» («Упругое основание»).

Дослідження втомі конструкції слід почати з «добавлення события» в контекстному меню пункту «Нагрузка» дерева побудови дослідження. У події необхідно задати кількість циклів навантаження і його тип (наприклад, тип «полностью реверсировано» означає, що навантаження буде повністю зніматися і подаватися вказане число циклів), а також вказати в таблиці, з якого дослідження будуть взяті параметри зовнішніх навантажень для аналізу конструкції (якщо досліджень вже створено декілька).

Після створення події в дереві побудови дослідження відобразиться список деталей збірки, зібраних в пункті «Детали». Для кожної деталі за допомогою її контекстного меню необхідно визначити «данные усталости». Найбільш простим методом завдання цих параметрів є «их получение из модуля упругости материала». Про успішне визначення даних втомі для кожної деталі сигналізує наявність на її іконці зеленої галочки.

Результатом аналізу втомі є дві епюри: «Повреждение» і «Срок службы», наведені на рис. 3.5.6.

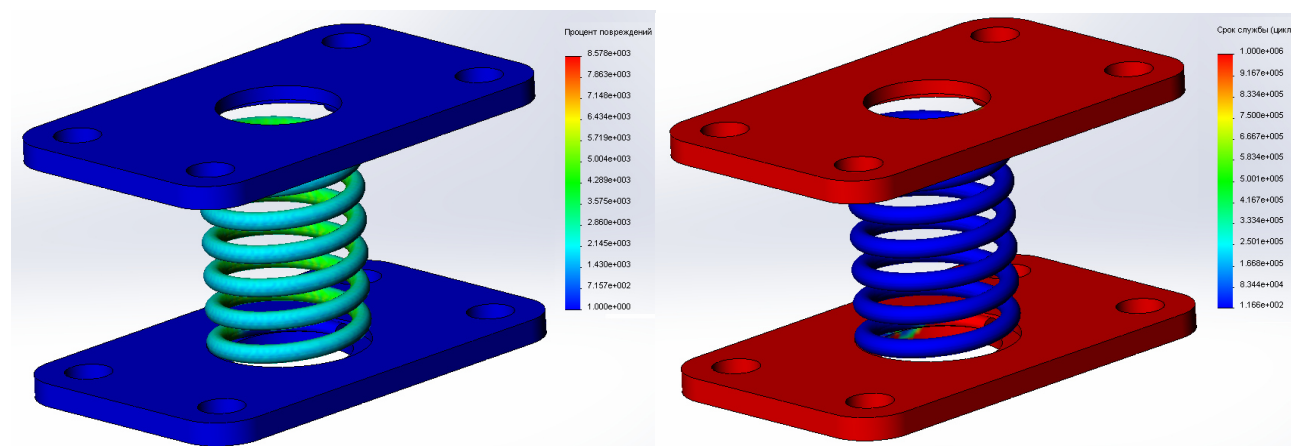


Рис. 3.5.6 Результати аналізу втомі:  
а) пошкодження, б) термін служби

Епюра «Повреждение» відображає в процентному співвідношенні пошкодження конструкції після завершення заданого числа циклів навантаження. 100% пошкоджень в будь-якій точці відповідають повному руйнуванню виробу в даній локальній області.

Епюра «Срок служби» містить дані про кількість циклів заданого навантаження, які витримає певна точка конструкції до початку руйнування.

На підставі цих даних розраховується, наприклад, термін експлуатації виробу і гарантійний термін обслуговування.

### **Завдання:**

1. Створити деталі, показані в табл. 3.5.1, і об'єднати їх у збірку, зображення якої наведено на рис. 3.5.1.

2. Виконати статичний аналіз отриманої конструкції під впливом сили тяжіння і сили, яка тисне на ролик канатного блоку, величиною 100 Н. Визначити області максимальних напружень, переміщень і деформацій і їх величину.

3. Оптимізувати масогабаритні властивості конструкції (зменшити вагу не менш ніж на 10%), видаливши матеріал з малонавантажених областей. Переконайтеся, що видалення матеріалу не привело до значного збільшення деформацій збірки.

4. Провести частотний аналіз конструкції канатного блоку з метою визначення перших п'яти резонансних частот збірки.

5. Створити деталі, показані в табл. 3.5.3, і об'єднати їх в збірку, зображення якої наведено на рис. 3.5.5.

6. Провести дослідження втоми пружинного елемента з метою визначення кількості циклів навантаження, величину якої слід задати з конструктивних міркувань, які витримає дана збірка без руйнування будь-яких елементів конструкції.

## **Практичне заняття № 3.6**

### **Тема: Основи роботи, налагодження та друк на 3D принтері**

На сьогоднішній день все більш широку популярність у якості конструкційних матеріалів отримують полімерні сполуки, пластики та пластмаси, витісняючи інші матеріали завдяки своїй низькій вартості, хорошим механічним властивостям, малій питомій вазі, легкості в обробці та номенклатурі, що постійно розширюється.

Сучасні технології дозволяють створювати твердотільні деталі високої точності на основі їх тривимірних моделей. Прикладом реалізації такої технології є 3D принтер, зображення якого приведено на рис. 3.6.1. Пристрій дозволяє друкувати деталі з різних видів пластику: ABS, PLA, Nylon та ін. Мінімальна товщина шару, що формує даний 3D принтер, становить 0,1 мм. Максимальна температура екструдера досягає 245°C, нагрівального елемента

стола - 120°C. Максимальні габарити деталі, що здатен відтворювати 3D принтер, складають 20 × 20 × 20 см.

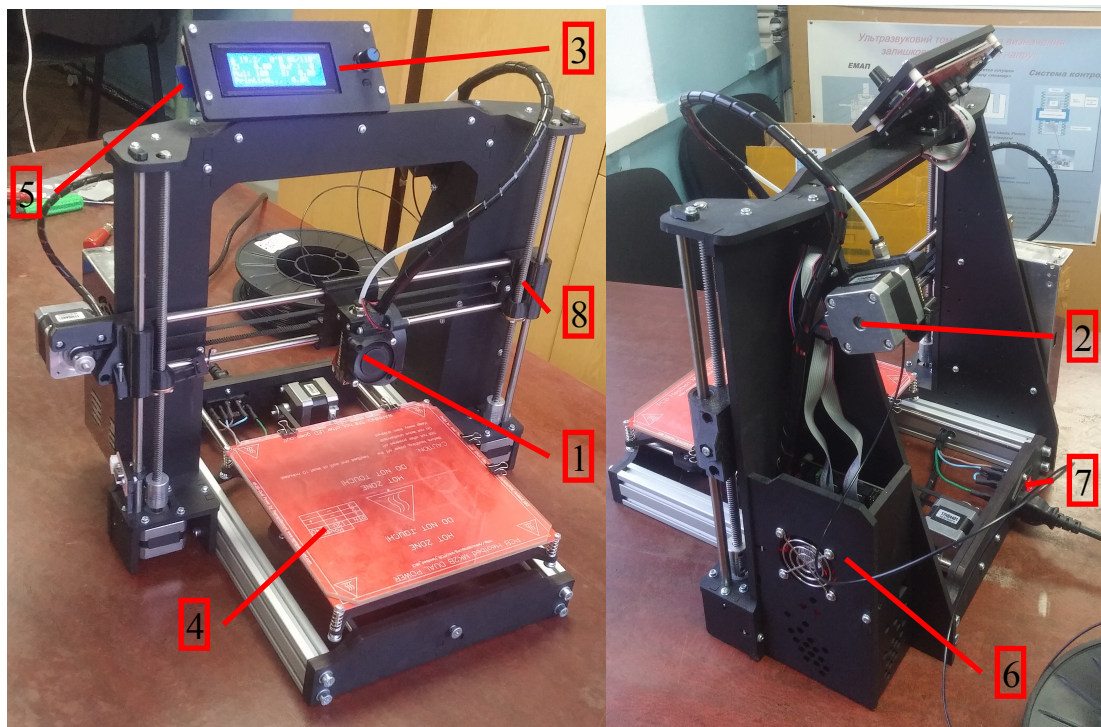


Рис. 3.6.1 3D принтер

До основних елементів конструкції 3D принтера (згідно рис. 3.6.1) можна віднести: 1 - блок екструдера, що складається з нагрівача, сопла і двох кулерів охолодження; 2 - блок подачі матеріалу, в конструкцію якого входять двигун, шестерня, що забезпечує подачу матеріалу, і притисний ролик; 3 - панель керування, що містить дисплей і кнопчне реле; 4 - нагрівальний столик; 5 - слот для підключення SD карти пам'яті; 6 - блок живлення; 7 - кнопка включення живлення принтера; 8 - система позиціонування.

### *Створення коду програми для 3D принтера*

Побудову тривимірної моделі для подальшої її друку на 3D принтері можна здійснити в САПР, яка підтримує файли з розширенням \*.STL (stereolithography), до числа яких належить SolidWokrs.

Тривимірна модель, створена в середовищі SolidWokrs, обов'язково повинна бути твердотільною. При побудові моделі необхідно заздалегідь враховувати її габарити, масу і форму. Для цього необхідно задати матеріал деталі (або всіх деталей, що входять в збірку), що дасть можливість відстежувати масу конструкції скориставшись пунктом «Массовые характеристики» вкладки «Анализировать» основної панелі інструментів програми.

Деталі слід формувати виходячи з міркувань можливостей і особливостей майбутнього процесу 3D друку. Конструкція повинна мати якомога менше елементів, формування яких потребує нарощування підтримок для уникнення

провисання частин деталі під час друку. При необхідності конструкцію рекомендується розділити на кілька окремих деталей, які в потім будуть збиратися вручну на основі розбірних або нерозбірних з'єднань, і друкувати кожен з них окремо. Також слід пам'ятати про те, що елементи конструкції, товщина яких менше діаметра сопла принтера, можуть бути спотворені або не відображені зовсім.

Після створення тривимірної моделі деталі в SolidWorks слід зберегти файл у форматі \*.STL. Слід пам'ятати, що відкрити файл з таким розширенням SolidWorks не зможе, тому настійно рекомендується також зберігати моделі в редагованому форматі.

Перетворення файлу з розширенням \*.STL в програмний код здійснюється за допомогою програми Cura, інтерфейс якої версії 15.04.3 показаний на рис. 3.6.3.

Робота з програмою починається з налаштування 3D принтера, на якому будуть друкуватися деталі. При виборі «типа машини» слід вказати «Другие». Після створення принтера необхідно в «Настройках принтера» вказати «Максимальные ширину, глубину и высоту (мм)» деталі, яку здатний відтворити принтер. Всі три значення необхідно вказати по 200 мм і закрити вікно настройки принтера кнопкою «ОК».

Далі необхідно перенести раніше створену модель (файл з розширенням \*.STL) в програму Cura. Для цього можна скористатися пунктом меню «Файл» → «Загрузить файл модели...» або просто перетягнути файл у вікно програми. Також є можливість відкрити відразу декілька моделей для їх подальшого одночасного друку на принтері. Після завантаження деталі вона з'явиться в робочому полі вікна програми.

Вибір деталі у вікні програми відкриє доступ до кнопок її повороту, нахилу, масштабування та інших функцій. До надзвичайно корисних можна віднести функції перегляду пустот в деталі (прозорого відображення) і відображення пошарового формування деталі в процесі друку.

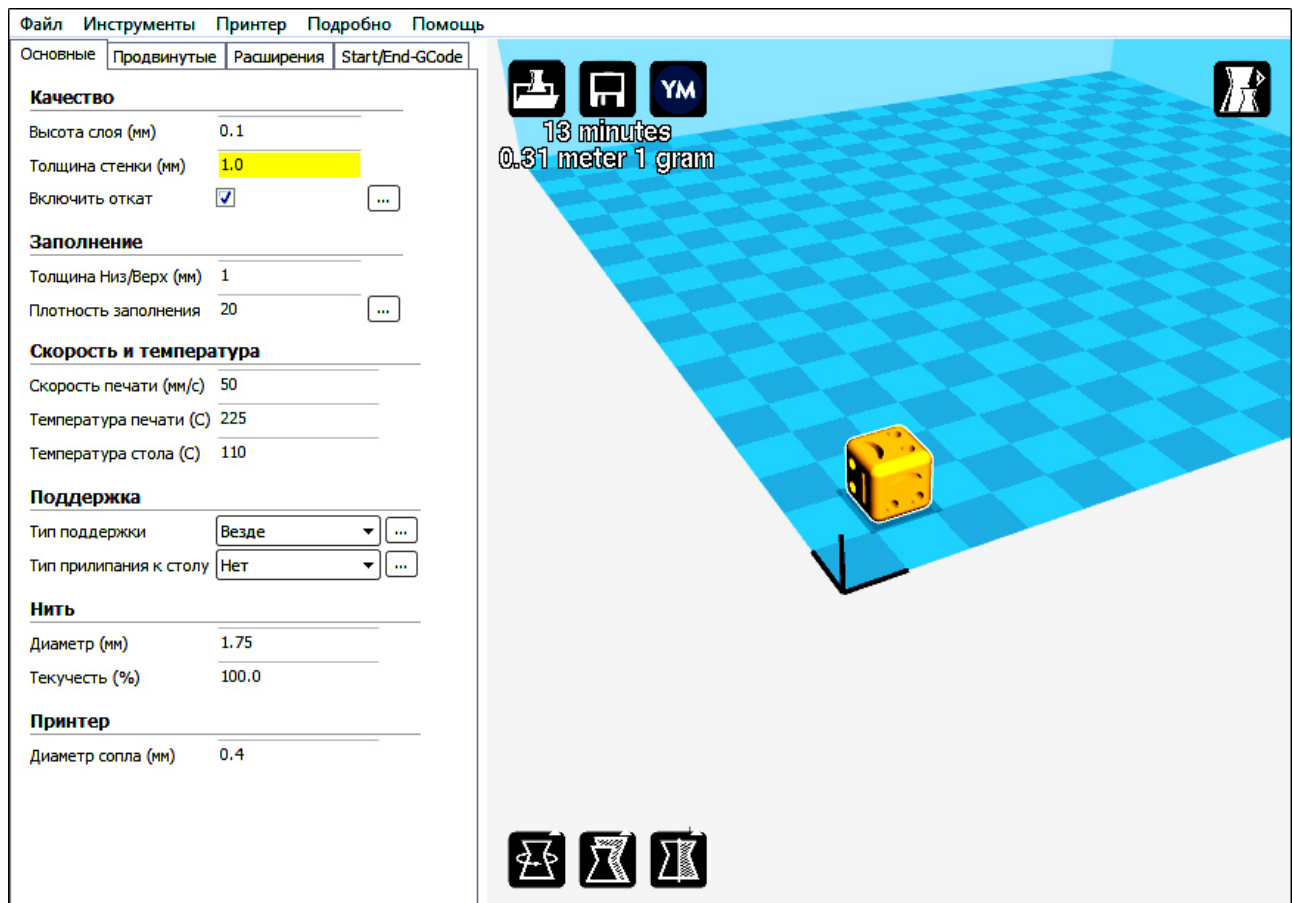


Рис. 3.6.2 Интерфейс программы Cura

Робоче поле вікна програми Cura містить віртуальний стіл 3D принтера, розміри якого відповідають заданим в налаштуваннях принтера. Деталь слід встановити в області столу, яка буде оброблена зв'язуючою рідиною перед початком друку. Орієнтуватися на віртуальному столі можна за допомогою системи координат (відображається чорним кольором), центр якої відповідає лівій передній точці столу принтера.

У програмі обов'язково необхідно вказати наступні параметри, величини яких слід встановлювати виходячи з конструктивних міркувань:

- «Высота слоя (мм)» - рекомендується 0,1-0,2;
- «Толщина стенки (мм)» - рекомендується не менше 1;
- «Толщина Низ / Верх (мм)» - рекомендується не менше 1;
- «Плотность заполнения (%)» - рекомендується не менше 20;
- «Температура печати (C)» - для ABS пластику встановити 225;
- «Температура стола (C)» - для ABS пластику встановити 110;
- «Тип поддержки» - вибирається виходячи з форми деталі і наявності в ній пустот;
- «Тип прилипания к столу» - рекомендується встановлювати «нет» і забезпечувати прилипання зв'язуючою рідиною потрібного типу.
- «Диаметр (мм)» - відповідно до документації на матеріал;
- «Диаметр сопла (мм)» - вказати діаметр сопла, яке в даний момент встановлено в екструдері (0,2, 0,4 або 0,5);

При наведенні курсору миші на кожен параметр буде відображено докладний опис з рекомендаціями.

Параметри діаметра нитки матеріалу, а також необхідні для його друку температури столу і екструдера наведені в документації, що зберігається в коробці з пластиком.

При вказівці будь-якого параметра або масштабування деталі програма автоматично виконає перерахунок часу друку, довжини матеріалу і його маси, що буде витрачено для друку. Ці параметри завжди відображаються в лівому верхньому кутку робочого поля середовища Cura.

Після внесення всіх необхідних параметрів та установки деталі в потрібне положення на робочому столі принтера слід зберегти файл коду програми, використовуючи пункт «Save GCode» меню «Файл» інтерфейсу Cura. Результуючий файл повинен мати розширення \*.gcode та має бути поміщений на SD карту пам'яті для подальшого перенесення на 3D принтер.

### *Підготовка 3D принтера до роботи*

Перед початком роботи з принтером необхідно провести його калібрування і налаштування згідно параметрів майбутнього друку. Перш за все, слід обрати сопло екструдера, від діаметра отвору якого залежить точність друку і можливість коректно відтворити більш дрібні елементи деталі. Однак слід пам'ятати, що вибір сопла з меншим діаметром різко збільшить час друку деталі. У комплекті з даними 3D принтером є три сопла: 0,5 мм, 0,4 мм і 0,2 мм. Заміна сопла екструдера проводиться за допомогою відповідних інструментів (розвідних ключів) виключно в присутності викладача при нагрітому до робочої температури екструдері.

Наступним кроком підготовки принтера до роботи є заправка його необхідним для друку матеріалом. Обраний матеріал необхідно просунути через трубку подачі, яка починається в блоці подачі матеріалу і закінчується в екструдері. Для цього необхідно вручну віджати притискний ролик блоку подачі матеріалу і пропустити пластик через отвір, наявний в його основі. Баbinу з матеріалом слід встановити на спеціальну підставку з роликами, що забезпечує автоматичне розмотування пластика по мірі необхідності.

Виходячи з необхідної (заданої в файлі програмного коду) товщини шару при друку деталі, слід здійснити калібрування зазору між соплом екструдера і нагрівальним столом. Ця операція проводиться для того, щоб поверхня столу була строго паралельна площині XY системи координат позиціонування принтера, перший шар матеріалу був рівномірно розподілений по поверхні столу, а також забезпечувалося надійне прилипання пластика до столу і при цьому не спотворювалася товщина першого шару матеріалу. Калібрування здійснюється програмно переміщенням екструдера над столом і установкою потрібного зазору між соплом і столом. Для цього слід попередньо включити пристрій кнопкою живлення, обрати відповідну опцію інтерфейсу програми і переміщати екструдер в площині XY при постійній координаті  $Z = 0$ . Розмір зазору встановлюється за допомогою щупів (металевих еталонних пластин) і

обертання системи регулювання висоти на кожній з ніжок стола. Достатнім для точної роботи пристрою є відкалібрувати зазор в чотирьох крайніх точках столу. При товщині шару формування деталі 0,2 мм рекомендується встановити зазор між соплом і нагрівальним столом трохи менше цього значення (наприклад, 0,15 мм), що забезпечить надійне прилипання першого шару пластика.

Після заправки принтера матеріалом рекомендується зробити попередній ручний прогін пластика для забезпечення його правильної подачі і видалення залишків попереднього матеріалу з сопла екструдера. Для виконання цієї процедури необхідно запустити програму «PREHEAD ABS (PLA)», вибравши її з меню «QUICK SETTINGS» інтерфейсу принтера. Дана програма нагріє екструдер і стіл пристрою до температур, необхідних для друку відповідним видом пластику. Процес виходу принтера на заданий режим можна динамічно спостерігати на дисплеї, у першому рядку якого при виході з усіх опцій відображаються поточне / задане значення температур екструдера і стола (рис. 3.6.3).



Рис. 3.6.3 Дисплей 3D принтера

Після виходу на заданий режим необхідно вручну, віджавши притискний ролик блоку подачі матеріалу, почати поступово проштовхувати пластик в екструдер до його появи з сопла. Як тільки пластик почав виходити з сопла, процедура вважається закінченою і залишається лише вручну видалити видавлений з сопла матеріал.

### *Друк на 3D принтері*

Процедура друку деталі на підготовленому до роботи і відкаліброваному принтері (зазор між соплом екструдера і столом повинен бути узгоджений з товщиною шару при друку деталі, що задано в програмному коді) проводиться на основі наступного алгоритму:

1. вставити SD карту пам'яті з файлом коду програми у відповідний слот, що знаходиться за дисплеєм пристрою. Файл повинен мати розширення \*.gcode і може перебувати як в корені карти пам'яті, так і в будь-якій папці;

2. включити живлення пристрою;
3. переконатися, що необхідний (відповідно параметрам, заданим в файлі програмного коду) матеріал заправлений в принтер;
4. виходячи із заданого в програмному коді положення деталі на нагрівальному столі, обробити потрібну область столу спеціальним спиртовим розчином, що забезпечує надійне прилипання деталі до поверхні. Наносити зв'язуючу рідину потрібно тонким рівномірним шаром за допомогою пензлика. В наявності є кілька видів розчинів, що мають різну ступінь прилипання до столу, вибір між якими слід робити виходячи з габаритів деталі, що друкується, і площі її дотику до поверхні столу. При виникненні труднощів вибору рекомендується узгодити тип застосовуваної рідини з викладачем;
5. обрати в інтерфейсі 3D принтера пункт «SD CARD», далі знайти і вибрати необхідний файл коду програми та запустити друк натисненням пункту «PRINT»;
6. в разі необхідності існує можливість скорегувати температуру столу, екструдера і інші параметри друку через програмний інтерфейс принтера в процесі друку деталі;
7. автоматично почнеться підготовка принтера до друку, виходячи з параметрів, заданих у файлі програмного коду. Вихід принтера на робочий режим і відсоток виконаного друку деталі динамічно відображаються на дисплеї пристрою (рис. 3.6.3). Слід пам'ятати, що при запуску друку в першу чергу здійснюється нагрів столу до заданої в програмі температури, а лише потім починається нагрів екструдера;
8. після завершення процесу друку необхідно вимкнути живлення 3D принтера (якщо не планується друк наступної деталі), дочекатися остигання столу до температури навколишнього середовища і обережно зняти з нього деталь. Якщо при знятті деталі виникли труднощі, слід обережно побризкати водою кімнатної температури на стик між деталлю і нагрівальним столом, дочекатися, поки вода просочиться в капіляри, після чого зняття деталі відбудеться без докладання якихось зусиль;
9. після зняття деталі зі столу необхідно очистити стіл від залишків пластику і зв'язуючої рідини за допомогою широкого леза або шпателя. Робити це слід дуже обережно, щоб не порушити калібрування системи позиціонування принтера;
10. прибрати сміття, яке виникло після друку деталі, зі столу, на якому встановлений 3D принтер, і прилеглої області в приміщенні.

### **Завдання:**

1. Створити тривимірну твердотільну модель довільної деталі в САПР SolidWorks.
2. Перенести модель в середовище програми Cura і, встановивши необхідні параметри, отримати файл програмного коду для друку на 3D принтері. Записати файл на SD карту пам'яті.

3. Підготувати 3D принтер до роботи. При необхідності відкалібрувати пристрій.

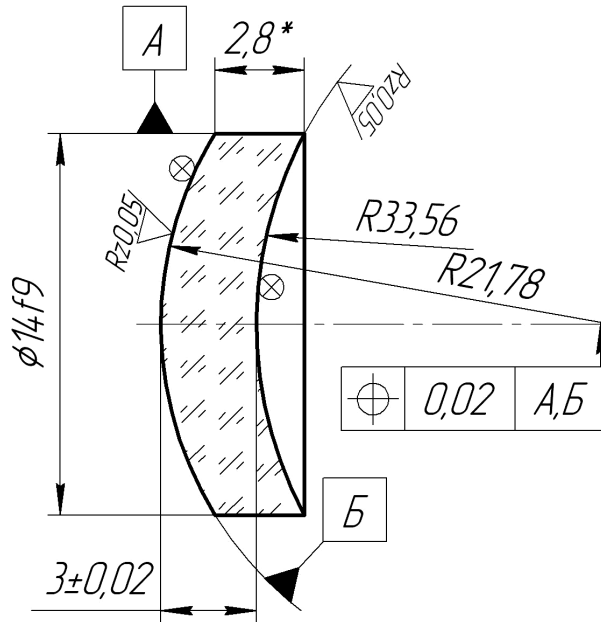
4. Роздрукувати деталь на 3D принтері. Домогтися отримання якісної деталі з високою точністю відповідності побудованій в середовищі SolidWorks тривимірній моделі.

## Відеоуроки для вивчення САПР SolidWorks

1. SolidWorks Урок 1. Введение.  
[https://www.youtube.com/watch?v=DoI6yE\\_7lOw](https://www.youtube.com/watch?v=DoI6yE_7lOw)
2. SolidWorks Урок 2. Создание эскиза.  
<https://www.youtube.com/watch?v=qV1cecLTv8I&t=1157s>
3. SolidWorks Урок 3. Создание 3D детали.  
[https://www.youtube.com/watch?v=dLDxe\\_pdgiw&t=973s](https://www.youtube.com/watch?v=dLDxe_pdgiw&t=973s)
4. Solidworks. Создание модели шестерни.  
[https://www.youtube.com/watch?v=A6A\\_PuID4OY](https://www.youtube.com/watch?v=A6A_PuID4OY)
5. Как сделать сборку в SOLIDWORKS.  
<https://www.youtube.com/watch?v=LNDO7pe-zmY>
6. Уроки SolidWorks - построение трехмерной модели, габаритного чертежа.  
[https://www.youtube.com/watch?v=M2txN1\\_vWj8](https://www.youtube.com/watch?v=M2txN1_vWj8)
7. Создание анимации в SOLIDWORKS.  
<https://www.youtube.com/watch?v=yUWMBvN7jEY>
8. SolidWorks Animation (1/4). Анимация работы домкрата. Создание камеры.  
<https://www.youtube.com/watch?v=GpTkXtislw0>
9. SolidWorks Motion Simulation tutorial - Newton's Cradle (with audio). Анимация маятника Ньютона.  
<https://www.youtube.com/watch?v=0xzoKf-afp4>
10. Как делать расчеты с помощью SolidWorks Simulation.  
<https://www.youtube.com/watch?v=FJ3fb7FdTLM>

### Додаток 1. Креслення лінзи

0,5  
✓ (✓)

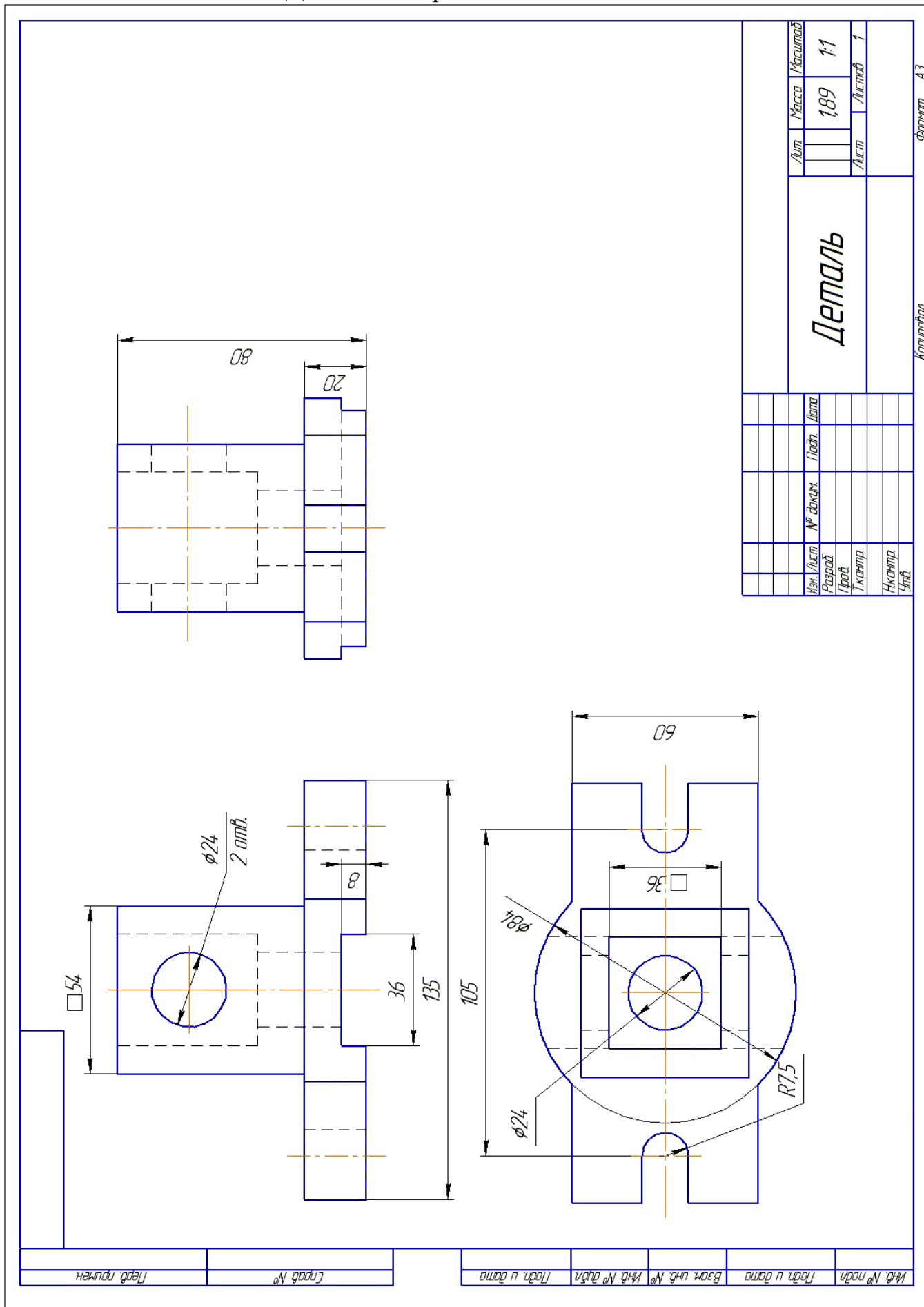


$\Delta n_e$	2B
$\Delta(n_F - n_C)$	2B
Однорядність	2
Дв. Лучепр.	3
Светопоглощен.	2
Бессвильн.	3B
Пузырність	2A
$N_{AB}$	5
$\Delta N_{AB}$	0,5
$P_A$	IV
$P_B$	V
$\Delta R_{AB}$	3
$f'$	216
$S_F$	18,3
$S_{F'}$	19,5
Св.ФА	14,0
Св.ФБ	13,04

- \*Разміри для довідок
- Діаметр кружка розсіювання – не більше 0,1 мм
- Покриття матових поверхонь емаллю ХС-543 ТУ 6-10-1669-78
- ⊗ – просвітлює 13 К. 12 К. по ГОСТ 3-1901-75

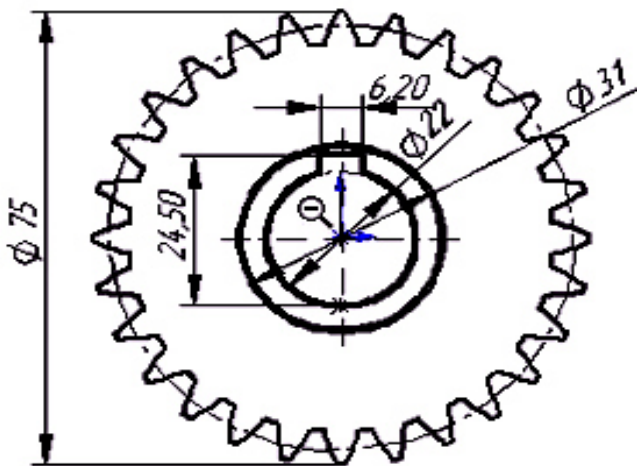
				ПКХХ.ХХ0000.001			
Изм./Лист	№ док-м.	Подп.	Дата	<b>Лінза</b>	Лист	Масса	Масштаб
Разрад.							4:1
Пров.					Лист	Листов	1
Т.контр.					Кремній Si ГОСТ 3514-76		
Н.контр.							
Утв.	Мчравіюв О.В.						

## Додаток 2. Креслення деталі



Копіювати Формат А3

### Додаток 3. Креслення шестерні



Модуль,  $m=2.5$   
 Угол профиля,  $\alpha=20^\circ$   
 Число зубьев,  $z=28$   
 Диаметр делительной  
 окружности  $d_d=70$   
 Коэффициент высоты  
 головки,  $h_a=1$   
 Коэффициент высоты ножки,  
 $h_f=1.25$



1. Острые края притупить.
2. Фаски  $0.5 \times 45$ .
3.  $HRc\ 40 \dots 45$

## ЗМІСТ

<b>Розділ 1. САПР Компас</b> .....	1
Практичне заняття № 1.1. Основи роботи з інтерфейсом САПР Компас. Оформлення креслення.....	1
Практичне заняття № 1.2. Проектування 2D об'єктів. Управління шарами.....	6
Практичне заняття № 1.3. Основи 3D проектування в Компас. Прості деталі. Масиви.....	8
Практичне заняття № 1.4. 3D проектування в Компас. Складні деталі.....	14
Практичне заняття № 1.5. 3D проектування в Компас. Створення збірки деталей. Бібліотеки. Розріз з винятками деталей. Рознесення деталей.....	19
Відеоуроки для вивчення САПР Компас.....	22
<b>Розділ 2. САПР AutoCAD</b> .....	23
Практичне заняття № 2.1. Основи роботи з інтерфейсом САПР AutoCAD. Оформлення креслення.....	23
Практичне заняття № 2.2 Проектування 2D об'єктів. Позначення різьби на кресленнях .....	27
Практичне заняття № 2.3. Основи 3D проектування в AutoCAD. Прості деталі.....	29
Практичне заняття № 2.4. 3D проектування в AutoCAD. Складні деталі.....	30
Практичне заняття № 2.5. 3D проектування в AutoCAD. Болт з різьбою. Побудова асоціативного 2D креслення.....	34
Відеоуроки для вивчення САПР AutoCAD.....	37
<b>Розділ 3. САПР SolidWorks</b> .....	38
Практичне заняття № 3.1. Основи роботи з інтерфейсом САПР SolidWorks. Двомірне проектування.....	38
Практичне заняття № 3.2. Проектування 3D моделей. Робота з масивами.....	40
Практичне заняття № 3.3. Складання деталей. Проста анімація збірки. Побудова асоціативного 2D креслення.....	44
Практичне заняття № 3.4. Складна анімація. Використання програми SolidWorks Motion.....	48
Практичне заняття № 3.5. Моделювання процесів і впливів. Додаток SolidWorks Simulation.....	51
Практичне заняття № 3.6. Основи роботи, налагодження та друк на 3D принтері.....	61
Відеоуроки для вивчення САПР SolidWorks.....	69
Додатки.....	70