

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Запорізький національний технічний університет

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт з дисципліни
**"Автоматизоване проектування елементів автотранспортних
засобів та засобів їх діагностування"**
для студентів спеціальності 133 "Галузеве машинобудування"
("Колісні та гусеничні транспортні засоби"),
усіх форм навчання

Частина 5.

Виконання розрахунків у SimulationXpress. Створення анімацій
та фотореалістичних зображень у PhotoWorks.
Варіанти завдань для самостійних робіт

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни "Автоматизоване проектування елементів автотранспортних засобів та засобів їх діагностування" для студентів спеціальності 133 "Галузеве машинобудування" ("Колісні та гусеничні транспортні засоби") усіх форм навчання. Частина 5. Виконання розрахунків у SimulationXpress. Створення анімацій та фотореалістичних зображень у PhotoWorks. Варіанти завдань для самостійних робіт / Укл. : О. М. Артюх, О. В. Дударенко, А. Ю. Сосик, А. В. Щербина. Запоріжжя : ЗНТУ, 2019. 62 с.

Укладачі: О.М. Артюх, доцент, канд.техн.наук;
О.В. Дударенко, доцент, канд.техн.наук;
А.Ю. Сосик, доцент, канд.техн.наук;
А.В. Щербина, доцент, канд.техн.наук

Рецензенти: О.С. Слюсаров, доцент, канд.техн.наук;
С.М. Турпак, професор, д-р.техн.наук

Відповідальний за випуск: А.Ю. Сосик, доцент, канд.техн.наук

Затверджено
на засіданні кафедри «Автомобілі»
Протокол № 8
від « 22 » лютого 2019.

Рекомендовано для видання
НМК Транспортного факультету
Протокол № 72
від « 15 » березня 2019.

ЗМІСТ

Частина 5	
Вступ	300
Лабораторна робота № 9. Виконання розрахунків в SimulationXpress	302
9.1 Загальні відомості	302
9.2 Завдання до лабораторної роботи	304
9.3 Порядок проведення лабораторної роботи	304
Контрольні запитання	324
Лабораторна робота № 10. Створення анімацій та фотореалістичних зображень	325
10.1 Загальні відомості	325
10.2 Завдання до лабораторної роботи	326
10.3 Порядок проведення лабораторної роботи	326
Контрольні запитання	338
Варіанти завдань для самостійних робіт	339
Рекомендована література	357
Основна	357
Додаткова	357
Інформаційні ресурси	357

ВСТУП

Вперше пакети твердотільного параметричного моделювання із промисловими можливостями стали доступні користувачам персональних комп'ютерів лише в середині 90-х років XX століття. Прийнято вважати, що саме 1995-й рік став переломним для світового ринку систем CAD/CAM масового застосування. Одне із кращих рішень такого рівня змогла запропонувати американська компанія SolidWorks Corporation. Ця компанія була створена в 1993 році, і вже через два роки, у листопаді 1995-го, на базі геометричного ядра Parasolid, випустила свій перший програмний продукт - систему тривимірного твердотільного моделювання SolidWorks.

Цей пакет програм твердотільного параметричного моделювання SolidWorks 95 відразу зайняв провідні позиції серед продуктів цього класу, буквально ввірвавшись у світову "табелю про ранги" систем CAD/CAE. З появою нових версій операційної системи Windows з'являлися й нові версії SolidWorks, що використовують можливості операційних систем, підвищуючи швидкодію пакетів SolidWorks.

Сьогодні SolidWorks завойовує міцні позиції на промислових машинобудівних підприємствах Західної Європи та країн СНД, а широта області використання цього програмного комплексу тільки продовжує збільшуватися. Щоб переконатися в цьому, досить відвідати веб-сайт компанії виробника www.solidworks.com.

Продукт американської фірми SolidWorks Inc. являє собою систему тривимірного твердотільного параметричного проектування механічних вузлів і конструкцій, розроблену спеціально для роботи в середовищі операційної системи Windows.

Локалізація версій програми проводиться безпосередньо самою фірмою SolidWorks а її орієнтація на використання середовища Windows, робить систему легко освоюваною й швидко працюючою.

Система SolidWorks реалізує класичний процес тривимірного параметричного проектування - від ідеї до об'ємної моделі, від моделі до креслення. Незважаючи на легкість освоєння, в SolidWorks реалізуються складні геометричні побудови завдяки використанню об'ємного ядра Parasolid. При цьому можливості твердотільного моделювання, реалізовані в системі, цілком порівнянні з можливостями систем САПР "важкого" класу, що працюють на платформі UNIX, таких як CATIA, NX, PTC Creo Elements/Pro.

Оскільки система SolidWorks працює під управлінням Windows, то вона підтримує багатовіконний режим роботи, підтримку методу "drag-and-drop", інтерфейс настроюваний користувачем, використання буфера обміну й повну підтримку технології OLE Automation. Будучи стандартним додатком Windows, SolidWorks дуже простий у використанні і, що особливо важливо, легкий а значить і швидкий у вивченні.

У частині 1 даних методичних вказівок розглянуті основні принципи роботи у SolidWorks та загальний алгоритм проектування, способи створення ескізів, методи побудови об'ємної моделі деталі.

У частині 2 розглянуті принципи та методи побудови у SolidWorks твердих тіл складної конфігурації, основні правила створення та редагування креслень в системі SolidWorks.

У частині 3 розглянуті методи створення деталей з листового металу, а також методи роботи зі складаннями.

У частині 4 розглянуто послідовність операцій та інструменти для роботи з ливарними формами в SolidWorks при проектуванні виробів, а також розглянуті принципи створення складних поверхонь та деталей на їх основі.

У частині 5 розглянуто порядок проведення розрахунків та аналізу спроектованих конструкцій за допомогою вбудованого додатку SimulationXpress. Також розглянуто порядок створення анімації для наочної демонстрації деталей та елементів складань в процесі руху. Розглянуто використання додатку SolidWorks – PhotoWorks для створення реалістичних зображень деталей або складань.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 9. ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКІВ В SIMULATIONXPRESS

Мета: Засвоїти принципи виконання розрахунків у додатку SimulationXpress.

9.1 Загальні відомості

При створенні вузлів і агрегатів у машинобудуванні конструювання деталей є лише частиною процесу проектування. Складеним елементом проектування є розрахунки деталей і вузлів на міцність, тобто розгляд наступних питань:

- чи витримає спроектована деталь задані навантаження?
- яким чином вона буде деформуватися й чи будуть виконуватися умови жорсткості?
- чи можна провести оптимізацію форми деталі, щоб використовувати менший обсяг матеріалу без шкоди міцності та експлуатаційним характеристикам деталі?

За відсутності інструментів аналізу на ці питання можна відповісти лише пройшовши всі цикли розробки виробу, які дорогі та займають масу часу. Кожний цикл розробки виробу звичайно включає наступні етапи:

- побудова моделі в системі тривимірного твердотілого проектування;
- створення дослідного зразка виробу;
- виробничі випробування дослідного зразка;
- оцінка результатів виробничих випробувань;
- зміна моделі на основі результатів виробничих випробувань.

Цей процес виконується циклічно, і триває доти, поки не буде отриманий задовільне рішення. За допомогою аналізу на міцність можна виконати наступні завдання:

- знизити витрати, виконавши тестування моделі на міцність на комп'ютері, а не в процесі дорогих виробничих випробувань;
- скоротити час розробки шляхом зменшення кількості циклів розробки виробу;
- оптимізувати проект, швидко змодельовавши декілька концепцій.

пцій і сценаріїв перед ухваленням остаточного рішення й відвівши більший час на обмірковування нових проєктів.

В основі аналізу на міцність, реалізованого в SimulationXpress, лежить метод кінцевих елементів (МКЕ). МКЕ це надійний чисельний метод аналізу завдань по проєктуванню. МКЕ розбиває складне завдання на декілька простих. У яких модель ділиться на кілька простих форм, названих елементами (кінцевими елементами). Елементи мають загальні точки, названі вузлами.

Поведінка цих елементів добре відома при будь-яких можливих сценаріях з використанням опор і додаванням навантажень. Рух кожного вузла повністю описується переміщеннями в напрямках X , Y і Z . Вони називаються ступенями волі. SimulationXpress складає рівняння, управляючі поведінкою кожного елемента й враховуючі його зв'язки з іншими елементами. Ці рівняння встановлюють взаємозв'язок між переміщеннями й відомими властивостями матеріалів, обмеженнями й навантаженнями.

Потім програма перетворює рівняння в більшу систему алгебраїчних рівнянь. Вирішальна програма виявляє переміщення в напрямках X , Y і Z у кожному вузлі.

Використовуючи переміщення, програма розраховує навантаження, що діють у різних напрямках. Нарешті, програма використовує математичні вирази для розрахунків напружень.

У процесі аналізу напружень або статичного аналізу на основі завдання матеріалу, обмежень і навантажень розраховуються переміщення, навантаження й напруження в деталі. Матеріал руйнується, коли напруження досягне певного рівня. Різні матеріали руйнуються при різних рівнях напружень. Для запуску процесу аналізу на міцність необхідно визначити матеріал деталі (механічні властивості), навантаження на деталь та обмеження.

В якості навантажень на деталь або складання, можна задати наступні величини:

- зосереджену силу;
- силу зі змінюваним розподілом;
- рівномірний або нерівномірний тиск у будь-якому напрямку;
- об'ємну силу (гравітаційні або відцентрові навантаження);
- дистанційну силу;
- вплив температур на різні ділянки деталі.

У результаті зміни температури на деталь впливають напруги,

які називаються термічними. SimulationXpress автоматично зчитує профіль температур, наявний у розрахунках температур, і проводить аналіз термічного напруження.

Дистанційними називаються сили, прикладені в місцях, що перебувають на відстані від деталі та з'єднані з нею твердими зв'язками.

Для встановлення обмежень на деталь можна застосувати наступні способи:

- визначити тверді зв'язки, шпильки, болти, пружини й підтримки пружності;
- застосувати обмеження для крайок і вершин;
- застосувати обмеження в певному напрямку. Наприклад, можна обмежити рух циліндричної поверхні в радіальному напрямку;
- вказати для переміщення в будь-якому напрямку нуль (без руху) або будь-яку задану величину;
- вказати умову симетрії. Цей параметр дозволяє використовувати симетрію, щоб виконувати аналіз частини моделі;
- вказати умову ковзання, при якому плоска або неплоска грань може ковзати, але не може переміщатися перпендикулярно.

Крім статичного аналізу, SimulationXpress дозволяє проводити частотний аналіз (визначати частоту власних коливань конструкції), проводити розрахунки на втрату стійкості деталей, здійснювати розрахунки з обліком теплових впливів (термічні розрахунки), проводити випробування на ударне навантаження, а також проводити розрахунки на утомну міцність.

9.2 Завдання до лабораторної роботи

Виконати розрахунки деталі на міцність у додатку SimulationXpress.

9.3 Порядок проведення лабораторної роботи

Завантаження деталі й запуск Simulationxpress.

Завантажите файл деталі "Хомут.sldprt" (Заняття 2 \ Приклади побудов 2). Без деталі майстер розрахунків на міцність не запуститься. Тепер викличте майстер Simulationxpress, вибравши команду **"Інструменти | Simulationxpress"** або натиснувши кнопку **"Помощник**

выполнения анализа Simulationxpress". У правій частині екрана з'явиться вікно майстра розрахунків SolidWorks SimulationXpress. Спочатку з'явиться перша сторінка майстра "**Добро пожаловать**", на якій натисніть кнопку "**Параметры**" (рис. 9.1).

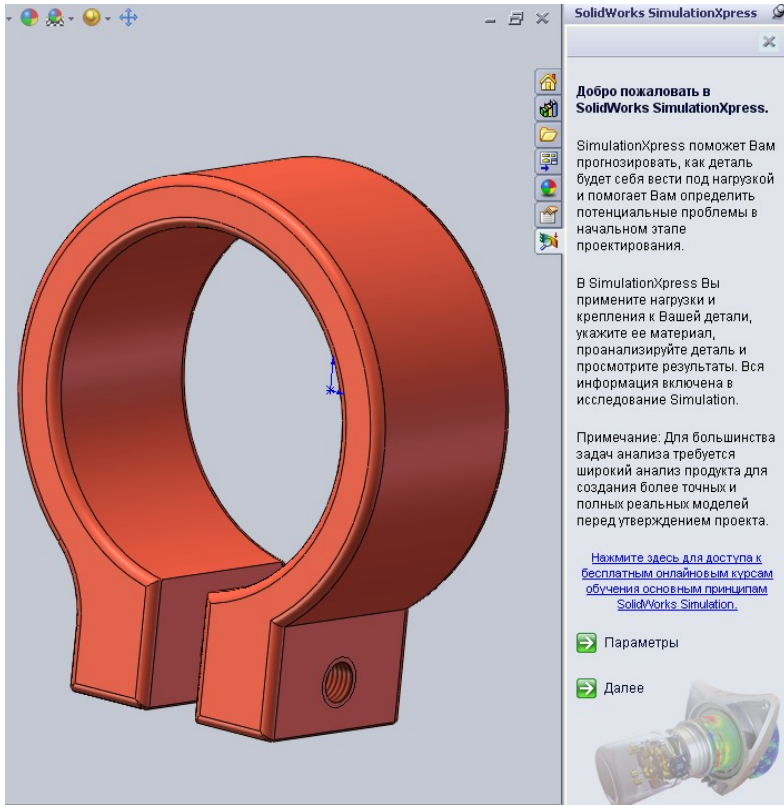


Рисунок 9.1 – Запуск майстра розрахунків SimulationXpress

Відкриється вікно "**Параметры Simulationxpress**" (рис. 9.2). Перевірте, що в списку одиниць виміру обране значення СИ (міжнародна система одиниць СИ). У полі "**Место расположения результатов**" за замовчуванням зазначений каталог C:\Temp. Якщо вам потрібно зберігати результати в якусь конкретну папку, то треба змінити цей параметр, натиснувши кнопку. Встановіть прапорець "**Показывать примечание для максимума и минимума в эпюрах результата**

тов" для більш наочного пред'явлення результатів. Перевірте по рис. 9.2 відповідність усіх параметрів. Після всіх маніпуляцій закрийте SolidWorks SimulationXpress, натиснувши кнопку **"OK"**, потім натисніть кнопку **"Далее"**, і відбудеться перехід на наступну сторінку майстра - установка кріплення (рис. 9.3).

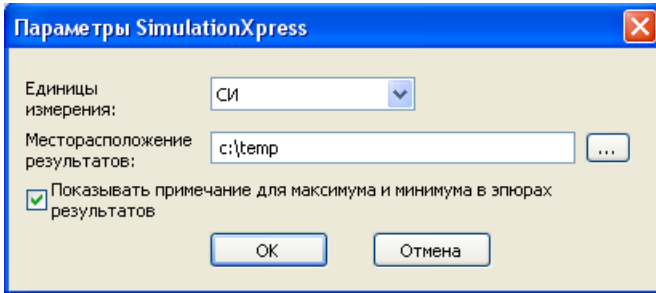


Рисунок 9.2 – Діалогове вікно "Параметры SimulationXpress"

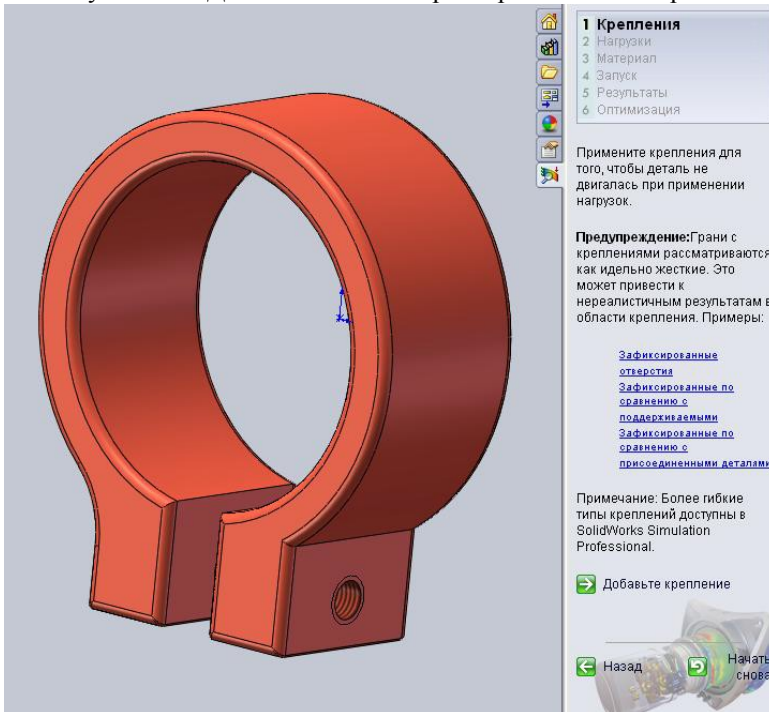


Рисунок 9.3 – Закріплювання деталі

Установка кріплення.

Тепер необхідно зафіксувати яку-небудь грань деталі, щодо якої буде відбуватися її деформування. Для продовження на сторінці майстра "**Крепления**" натисніть кнопку "**Добавьте крепление**" (рис. 9.3). У вікні "**Менеджер свойств**" відкриється діалогове вікно "**Крепления**" (рис. 9.4), за допомогою якого мишею треба вибрати зафіксовану грань. Виберіть, наприклад, грань, показану на рис. 9.4.

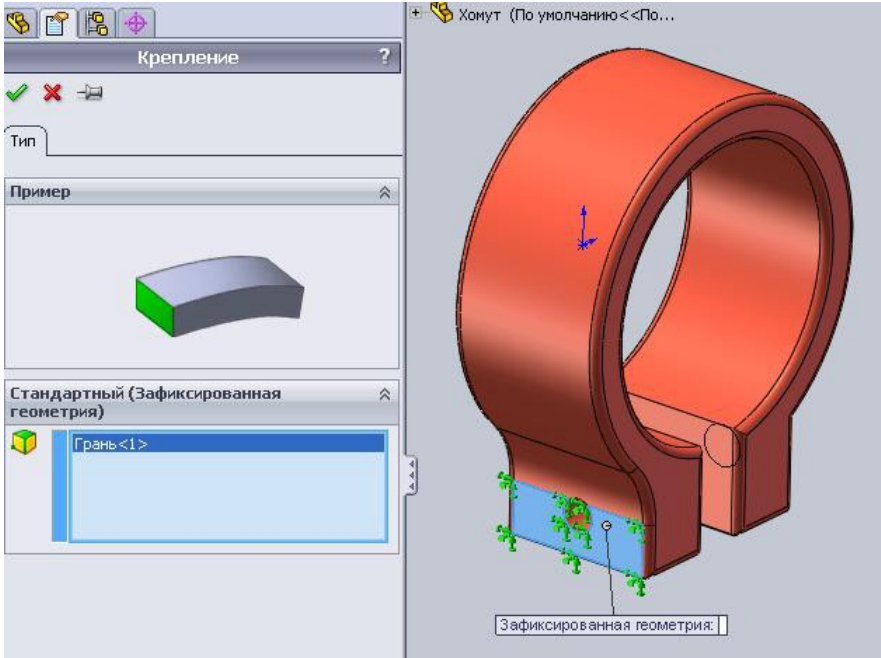


Рисунок 9.4 – Вибір боку деталі для закріплення

Зелені стрілки на грані вказують, що на грань накладене обмеження. Натисніть кнопку "**ОК**" для завершення команди установки кріплення. Під вікном "**Дерево конструирования**" виникне "**Дерево исследования SimulationXpress**" (рис. 9.5). У цьому дереві будуть відображатися всі маніпуляції з моделлю в процесі проведення розрахунків. У такий спосіб за допомогою кнопки "**Добавить крепление**" можна задати будь-яку кількість кріплень і зафіксувати кілька граней.

Щоб відредагувати існуюче кріплення, необхідно клацнути пра-

вою кнопкою миші на пункті **"Зафиксированный"** у вікні **"Дерево исследования"** та у контекстному меню вибрати пункт – **"Редактировать определение"** (рис. 9.6).

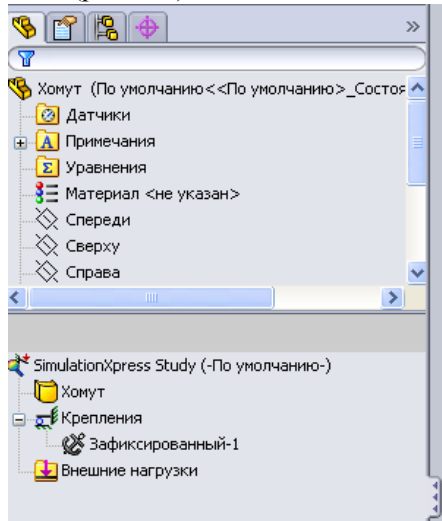


Рисунок 9.5 – Діалогове вікно "Дерево исследования SimulationXpress"

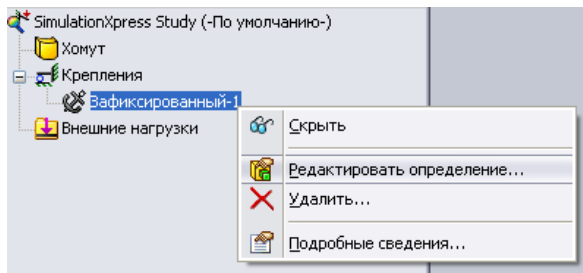


Рисунок 9.6 – Редагування закріплення у контекстному вікні

Теж саме можна зробити й на сторінці майстра, натиснувши кнопку **"Отредактируйте существующее крепление"**. Крім того, на цій же сторінці можна почати нове дослідження, натиснувши кнопку **"Начать снова"**, або повернутися на попередню сторінку, натиснувши кнопку **"Назад"**. Якщо задані всі кріплення, то натисніть кнопку **"Далее"** й перейдіть на сторінку додавання навантажень (рис. 9.7).

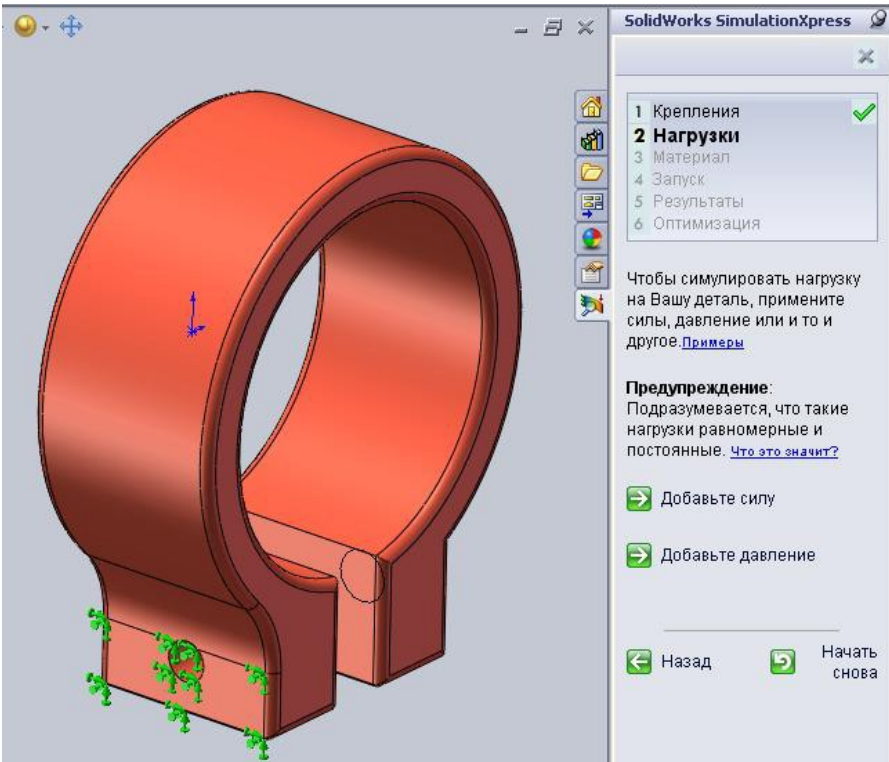


Рисунок 9.7 – Сторінка додавання навантажень

Завдання навантаження.

Нова сторінка майстра **"Нагрузки"** необхідна для збору інформації про навантаження що діє на деталь. Для початку завдання навантаження натисніть кнопку **"Добавьте силу"** (зосереджене навантаження) або **"Добавьте давление"** (розподілене навантаження). В якості навантаження задамо силу зі зворотної сторони хомута.

Для цього натисніть кнопку **"Добавьте силу"**. У вікні **"Менеджер свойств"** відкриється діалогове вікно **"Сила"**. Тепер виберіть грань із іншої сторони хомута так, як зазначено на рис. 9.8. При цьому за замовчуванням сила діє перпендикулярно поверхні - про це говорить перемикач у положенні **"Нормальная"**. Якщо необхідно вибрати інший напрямок діючої сили, то встановіть перемикач у положення

"Выбранное направление" і вкажіть об'єкт деталі (площина), відповідне цьому напрямку. Якщо такої площини немає, то необхідно її створити.

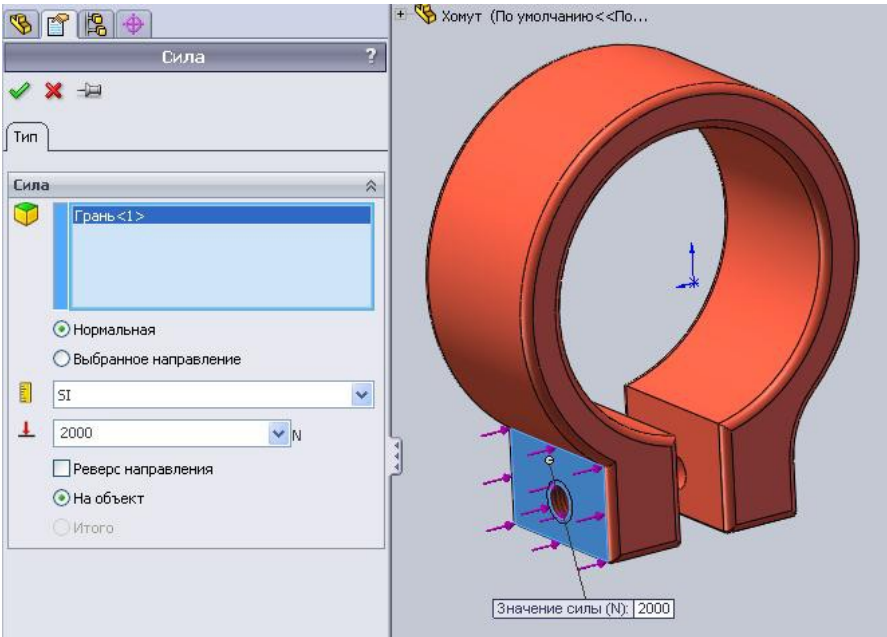


Рисунок 9.8 - Додавання сили (зосереджене навантаження)

В області **"Грани для силы"** повинне з'явитися найменування грані **"Грань<1>"**. Потім необхідно вказати величину сили, наприклад, 2000. Розмірність сили повинна бути Н (Ньютон). Для зміни напрямку дії сили (або тиску) слугує параметр **"Ревёрс направления"**.

Перевірте правильність установок по рис. 9.8 і натисніть кнопку **"ОК"** для завершення команди завдання навантаження. При цьому в Дереві дослідження з'явиться новий елемент **"Сила"** (рис. 9.9). Редагування заданого навантаження здійснюється аналогічно редагуванню заданого кріплення. Після завдання всіх навантажень на сторінці майстра натисніть кнопку **"Далее"** і перейдіть на сторінку вибору матеріалу (рис. 9.10).

Вибір матеріалу.

Тепер вам потрібно вибрати найбільш підходящий матеріал для

деталі. В програмі SimulationXpress можна редагувати або додавати новий матеріал. Для вибору матеріалу на сторінці майстра натисніть кнопку **"Выберите материал"**.

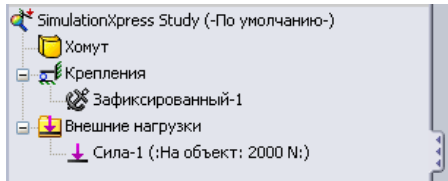


Рисунок 9.9 – Редагування заданої сили (навантаження)

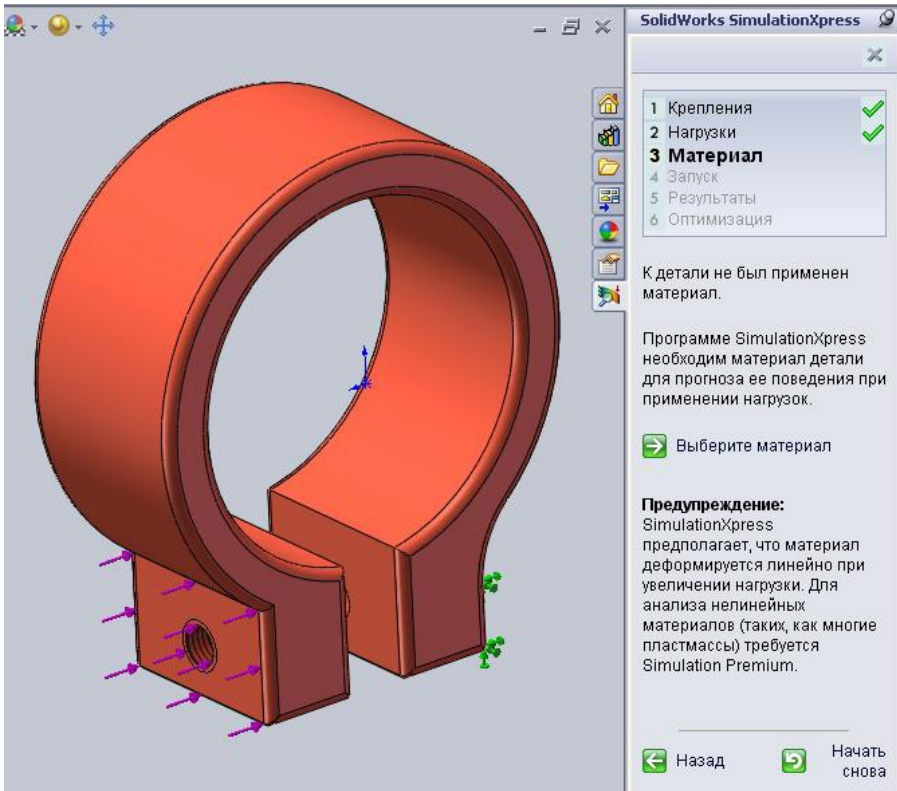


Рисунок 9.10 – Сторінка вибору матеріалу

Відкриється діалогове вікно **"Материал"**. Відшукайте в списку, наприклад, значення **Легована сталь** і натисніть кнопку **"Приме-**

нить". Прийнятий до застосування матеріал відіб'ється на сторінці майстра (рис. 9.11).

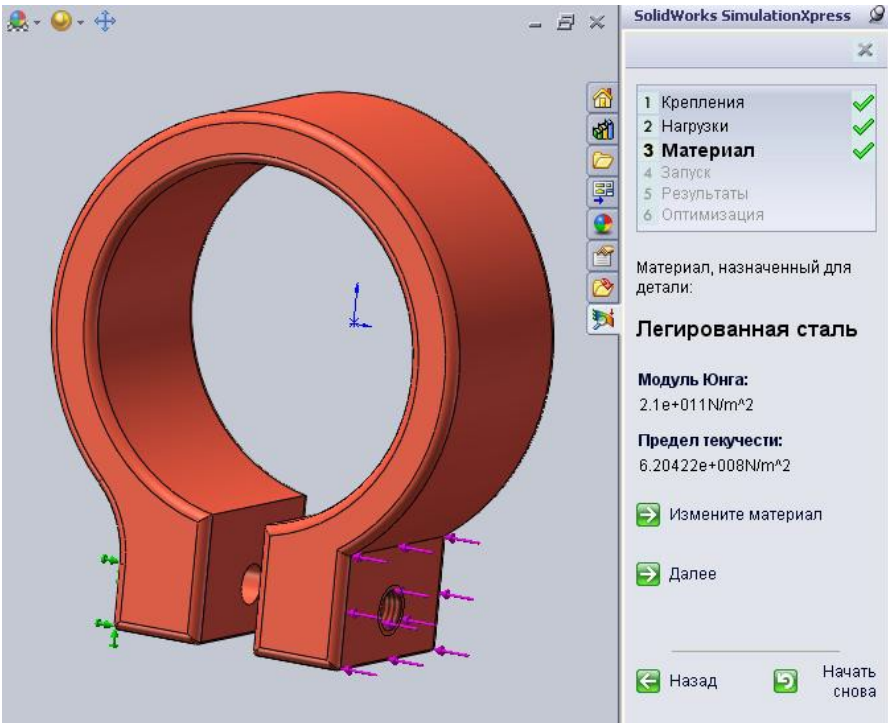


Рисунок 9.11 – Призначення типу матеріалу

Тут же відобразяться основні властивості матеріалу, що беруть участь у розрахунках деталі на міцність. Для зміни матеріалу натисніть кнопку **"Изменить материал"** на сторінці майстра. Після вибору матеріалу натисніть кнопку **"Далее"** на сторінці майстра.

Проведення розрахунків деталі на міцність.

Тепер програма перейшла на сторінку майстра **"Запуск"**, з якої можна ще повернутися в режим зміни параметрів або запустити розрахунки. Проведемо розрахунки, натиснувши кнопку **"Запуск моделирования"** (рис. 9.12). Почнеться процес виконання розрахунків, тривалість якого залежить від складності деталі й кількості кінцевих

елементів.

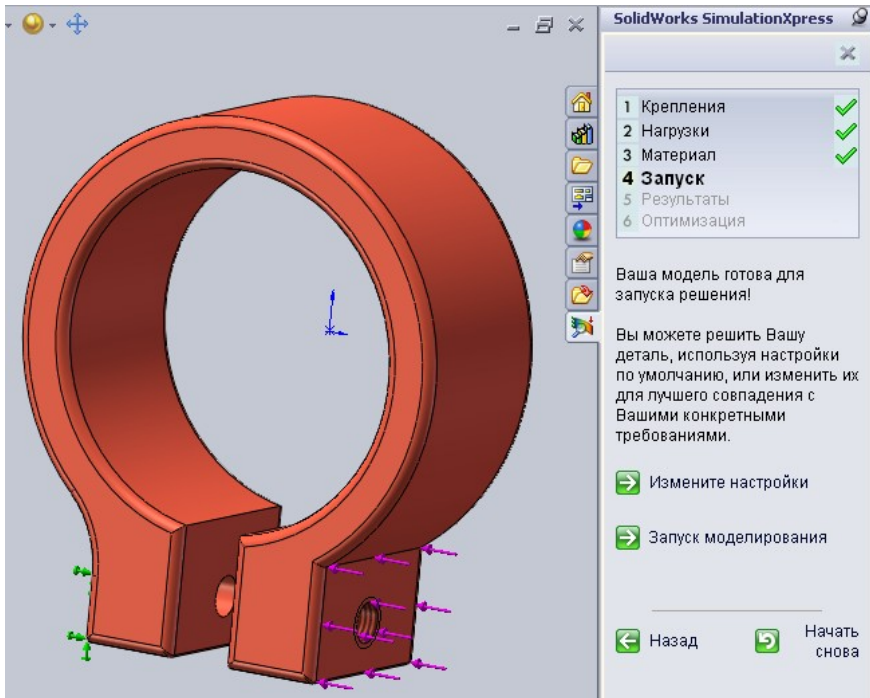


Рисунок 9.12 – Початок запуску розрахунків

Аналіз результатів.

Після закінчення розрахунків відкриється сторінка майстра "**Результаты**", на якій буде відбуватися анімація деформації деталі (рис. 9.13). За допомогою кнопки "**Воспроизведение анимации**" ви можете запустити процес анімації деформації деталі зі зміною напруженого стану. Кнопка "**Остановка анимации**" призначена для припинення анімації. Зупиніть анімацію, натиснувши на кнопку.

Основні результати будуть представлені в "**Дерево исследования**" (рис. 9.14). Проаналізуємо їх. Зробіть подвійне клацання лівою кнопкою миші на першому елементі результатів "**Дерева исследования**" **Stress(vonmises)**. Відобразиться розфарбована в усі кольори веселки модель. Результатом роботи програми є еквівалентні напруги по Мізесу в Па (N/m^2), що діють в матеріалі деталі.

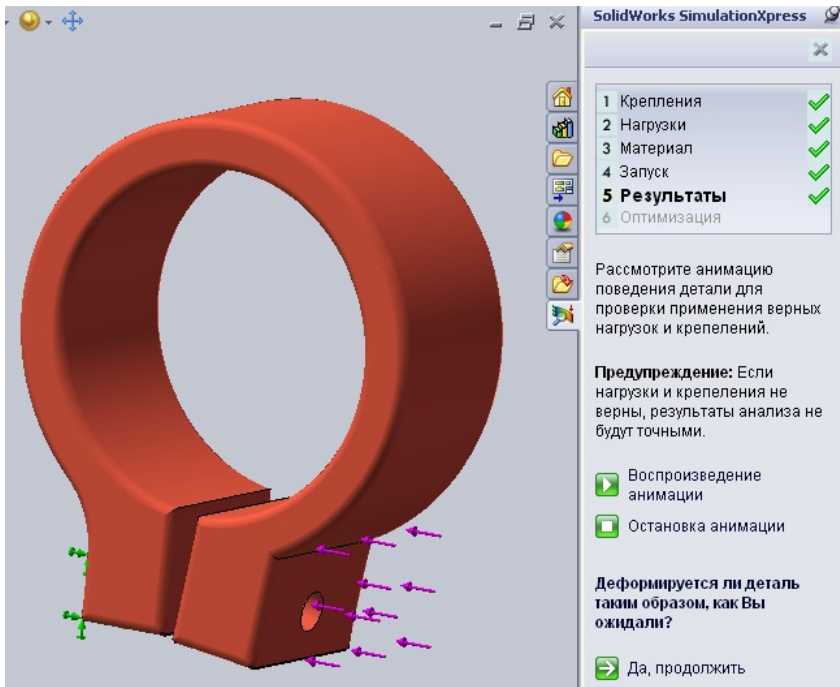


Рисунок 9.13 – Діалогове вікно "Результати"

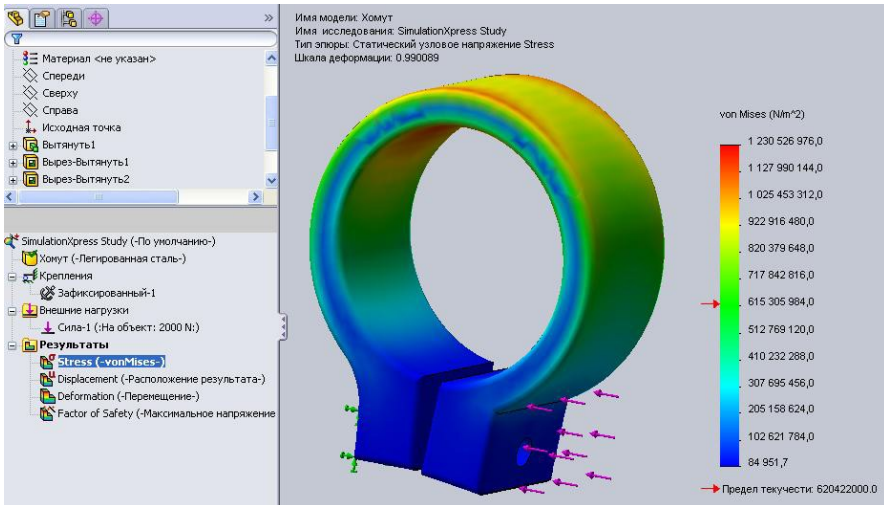


Рисунок 9.14 – Зміна кольору моделі під час розрахунків

Поруч із моделлю розташовується шкала, на якій кольором позначені значення діючих у моделі напруг: червоним позначається більш напружений стан матеріалу, синім - менш напружений. Зліва від шкали може розташовуватися червона стрілка, що показує границю текучості матеріалу. По цій стрілці можна відразу судити, чи витримує деталь дані навантаження. У нашому прикладі стрілка розташовується посередині шкали, це свідчить про те що у матеріалі є напруження, які перевищують границю текучості цього матеріалу, і тому деталь не витримає задані навантаження.

Тепер виконаєте подвійне клацання лівою кнопкою миші на другому елементі результатів **"Дерево исследования" Displacement (-Расположение результата-)** (рис. 9.15).

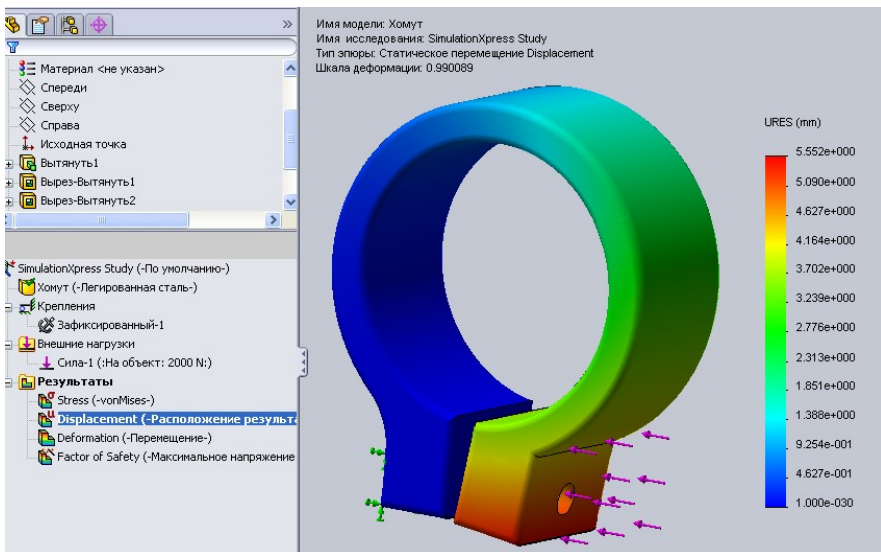


Рисунок 9.15 – Аналіз переміщення точок деталі за кольоровою шкалою

Розцвічення моделі зміниться. Тепер за допомогою кольорової шкали можна проаналізувати переміщення точок деталі від вихідного стану в міліметрах (mm): червоним кольором пофарбовані елементи деталі, що мають найбільше переміщення точок, синім - найменше переміщення. Третій елемент результатів **"Дерево исследования" Deformation (-Перемещение-)** (рис. 9.16) показує максимальний деформований стан деталі після додавання навантажень.

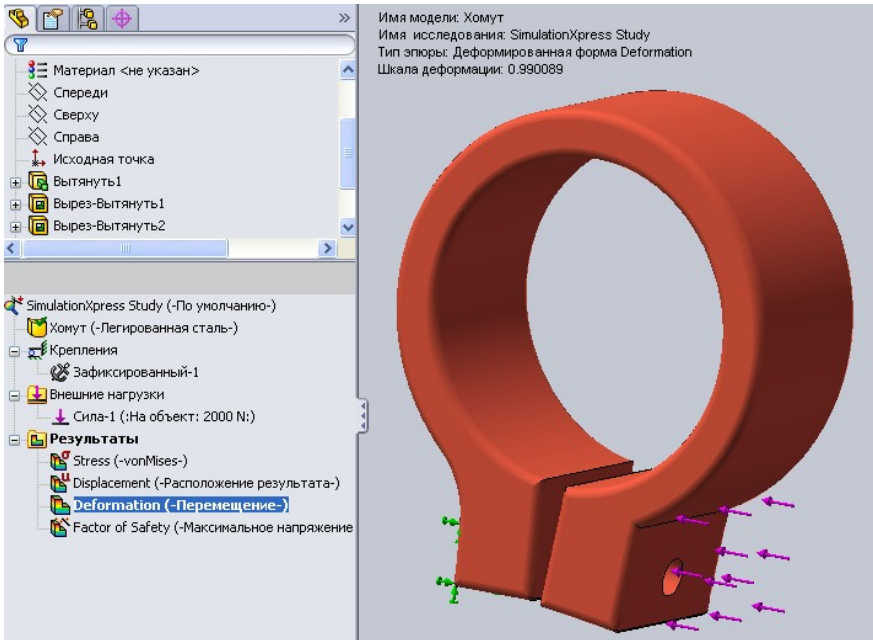


Рисунок 9.16 - Максимальний деформований стан деталі після додавання навантажень

І нарешті, виконайте подвійне клацання лівою кнопкою миші на четвертому елементі результатів **"Дерево исследования" Factor of Safety ("Максимальное напряжение")** (рис. 9.17). У цьому випадку фарбування проводиться відповідно до критерію розподілу коефіцієнта безпеки по матеріалу деталі. У нашому прикладі цей коефіцієнт становить 1. Тому в синій колір пофарбовані частини деталі, де цей коефіцієнт більше 1, а в червоний - менше 1, тобто червоний колір вказує, що матеріал у цій місці не проходить по міцності (не витримує навантаження). Користувач може задавати цей коефіцієнт за своїм розсудом. Тепер повернемося на сторінку майстра **"Результаты"**. Після перегляду результатів ми повинні відповісти на запитання: "- чи деформується деталь таким чином, як Ви очікували?" Якщо нажати кнопку **"Нет, вернуться к Нагрузкам/креплениям"**, то програма повернеться до завдання кріплення й навантажень, де ви зможете задати нові значення й провести розрахунки ще раз.

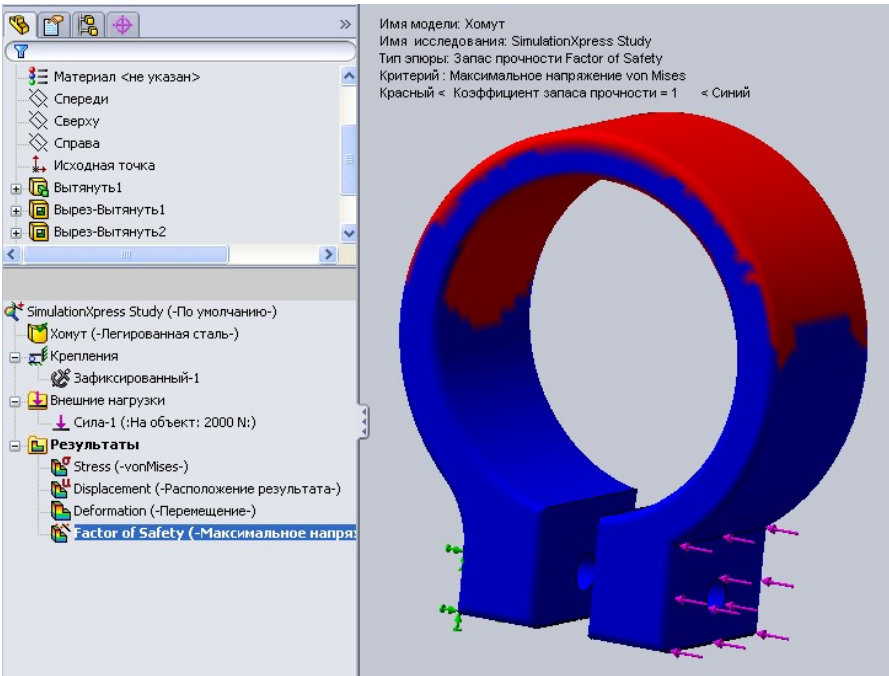


Рисунок 9.17 - Фарбування деталі відповідно до критерію розподілу коефіцієнта безпеки по матеріалу деталі

Але в нас деталь деформувалася правильно, тому натисніть кнопку **"Да, продолжить"**. Відкриється друга сторінка результатів (рис. 9.18), на якій можна задати коефіцієнт запасу міцності, провести анімацію результатів і переглянути всі вищерозглянуті результати.

На цій же сторінці вказується мінімальний запас міцності, отриманий у даному проекті. По закінченню перегляду результатів натисніть кнопку **"Просмотр результатов завершен"**. Відкриється третя сторінка результатів майстра (рис. 9.19). На цій сторінці ви можете натиснути кнопку **"Создать отчет в формате HTML"** і одержати звіт в Html-форматі для переміщення на Web-Сторінку або передати іншому користувачеві (розширення файлу - .htm). Натиснувши на кнопку **"Создать файл eDrawings"**, можна створити файли результатів (розширення файлів - .analysis.eprt), які відкриваються за допомогою програми eDrawings, що входить у комплект SolidWorks.

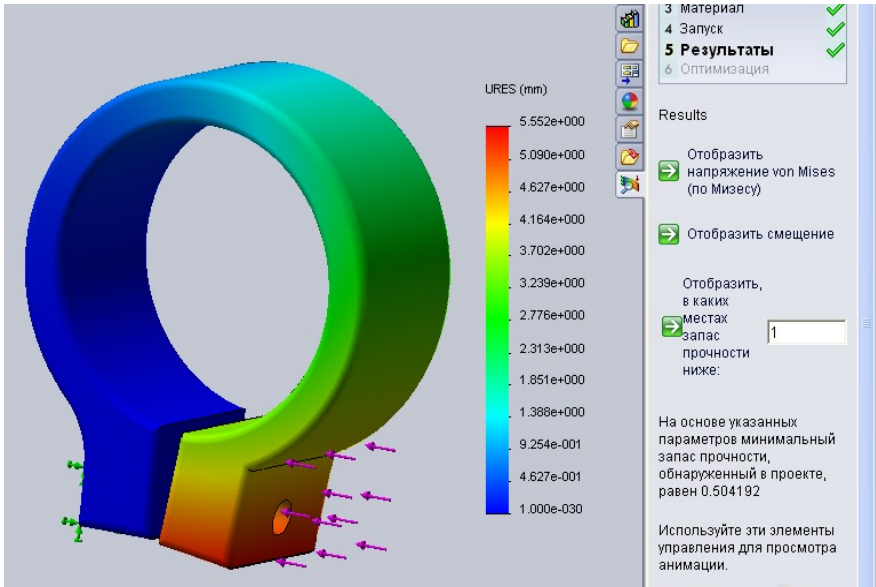


Рисунок 9.18 – Вікно задавання коефіцієнту запасу міцності

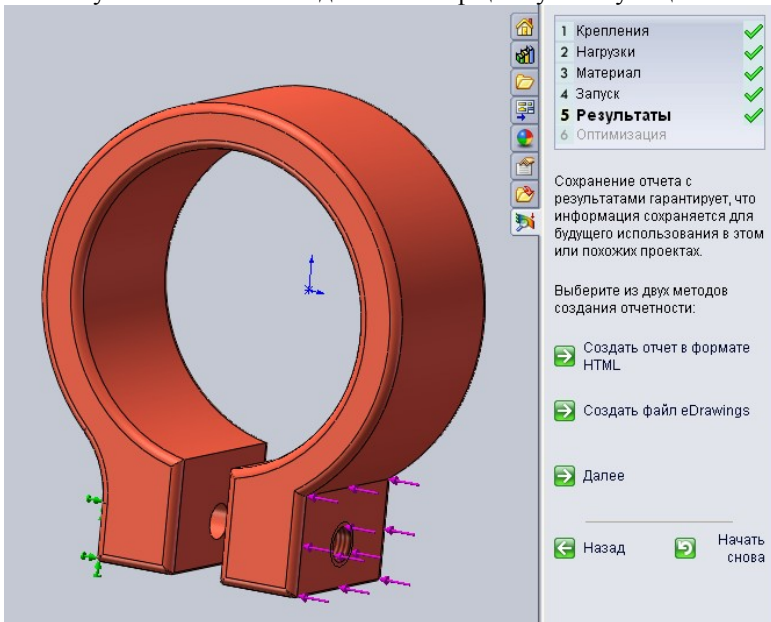


Рисунок 9.19 – Завершення розрахунків

Якщо звіт створювати не потрібно, то просто натисніть кнопку **"Далее"**. Відбудеться перехід на сторінку **"Оптимизация"** майстра. **"Оптимизация"** призначена для визначення таких розмірів деталі, при призначенні яких деталей витримуватиме задані навантаження.

Оптимізацію можна проводити за наступними критеріями.

Запас міцності (коефіцієнт безпеки FOS) - коефіцієнт запасу міцності. Щоб деталь витримувала задані навантаження, коефіцієнт безпеки повинен бути більше 1. У цьому випадку програма шукає таку величину заданого розміру, щоб задовольнялася умова перевищення заданого коефіцієнта безпеки.

Макс. напруження (максимальне значення напруження) - це таке значення діючого напруження, яке не повинне перевищувати, припустиме напруження для заданого матеріалу деталі. Припустимим напруженням вважається границя текучості матеріалу (МПа). При виборі цього критерію програма буде шукати таку величину заданого розміру, при якому діючі напруження не будуть перевищувати максимально припустимих значень заданих користувачем.

Макс. переміщення - задається максимальна деформація деталі. Слід враховувати, що величина деформації залежить від діючих напруг відповідно до закону Гука. При виборі цього критерію програма буде підбирати таку величину обраного розміру, щоб деформація в будь-якій точці деталі не перевищувала заданого максимального зсуву.

Проведемо оптимізацію за критерієм заданого коефіцієнта безпеки. Для цього встановіть перемикач у положення **"Yes"** і натисніть кнопку **"Далее"**. Відкриється друга сторінка вікна **"Оптимизация"**. На цій сторінці натисніть кнопку **"Выберите размер"**, у деталі з'являться розміри, задані в ескізі, і відкриється таблиця критеріїв оптимізації (рис. 9.20). Тепер знайдіть на деталі розмір 20 і клацніть по ньому лівою кнопкою миші. Цей розмір відповідає за ширину нашого хомута, і його ми виберемо в якості оптимізаційного параметра.

Тобто програма оптимізації буде шукати таку ширину хомута, при якій буде виконуватися умова міцності. Ім'я даного розміру (**D1@Витягнуты1@Хомут.Part**) повинне відобразитися в діалоговому вікні **"Добавить настройку"** (рис. 9.21). Натисніть кнопку **"ОК"**, і це ім'я з'явиться в розділі **"Переменные"** таблиці критеріїв (рис. 9.22).

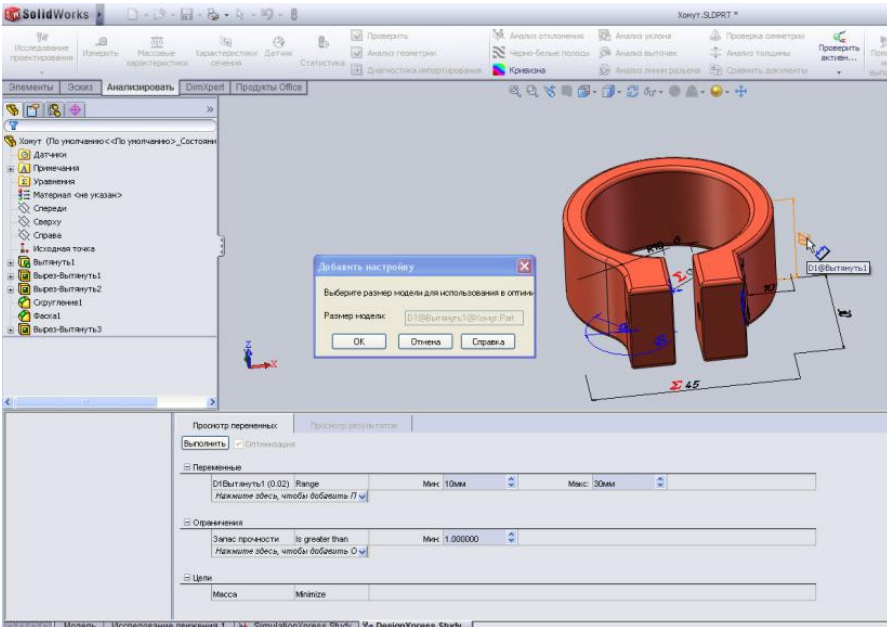


Рисунок 9.20 - Оптимізація форми деталі за критерієм заданого коефіцієнта безпеки

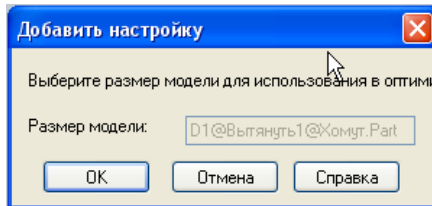


Рисунок 9.21 – Діалогове вікно зміни розміру деталі

Встановіть мінімальне значення параметра, рівне 10 мм, а максимальне значення - 50 мм. У цьому діапазоні програма буде шукати необхідне значення ширини хомута. Якщо ми задамо діапазон, у якому розв'язок не буде знайдений, то програма повідомить "**Сбой оптимизации**". Тоді оптимізацію слід повторити з іншими граничними значеннями.

Потім перейдіть у розділ "**Ограничения**" й натисніть в області, де написано "**Нажмите здесь, чтобы добавить**". Відкриється випа-

даючий список, у якому виберіть пункт **"Запас прочности"**. Після цього задайте мінімальне значення запасу міцності, рівне 1 (рис. 9.22).

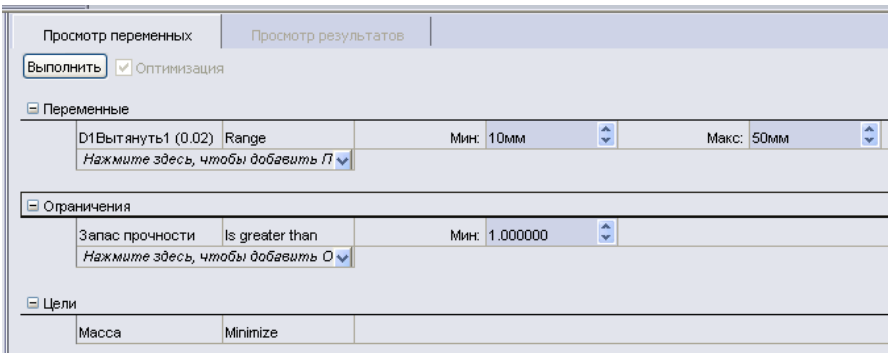


Рисунок 9.22 – Встановлення запасу міцності

Таким чином, ми задали два критерії оптимізації: перший - діапазон змінюваного параметра (ширина хомута), другий - мінімальний запас міцності. Тепер можна провести оптимізацію деталі для добору обраного розміру, відповідно до заданих навантажень. Для цього натисніть кнопку **"Выполнить"** в таблиці вибору критеріїв на вкладці **"Просмотр переменных"**. Відкриється вікно **"DesignXpress Study"**, за допомогою якого можна контролювати процес пошуку рішення (рис. 9.23).

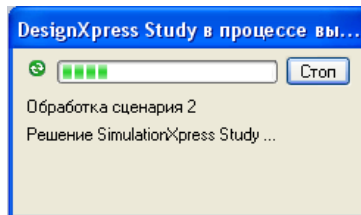


Рисунок 9.23 – Діалогове вікно процесу пошуку рішення

Після успішної оптимізації в результаті ми встановили, що нова деталь важить на 126 % більше вихідної деталі, тому що ширина хомута збільшилася з 20 до 44,6 мм. Перегляньте результати й переконаєтесь, що нова деталь витримує задані навантаження.

Для завершення роботи натисніть кнопку **"Заккрыть"**. Програма

SimulationXpress запитає, чи зберегти результати розрахунків. При необхідності натисніть кнопку "Да".

Повністю аналогічно виконуються розрахунки в програмі Simulation. Оскільки в основі аналізу на міцність, реалізованого в як SimulationXpress так і в Simulation, лежить метод кінцевих елементів.

Перш ніж почати використовувати пакет Simulation, його необхідно додати в панель управління програмою, тому що він також поставляється із Solidworks. Проте слід пам'ятати, якщо ви встановили режим розрахунків у пакеті Simulation, то працювати в пакеті SimulationXpress буде неможливо. Для того щоб знову повернутися до пакета SimulationXpress, необхідно зняти прапорець Solidworks Simulation у вікні "Додавання" (рис. 9.24).

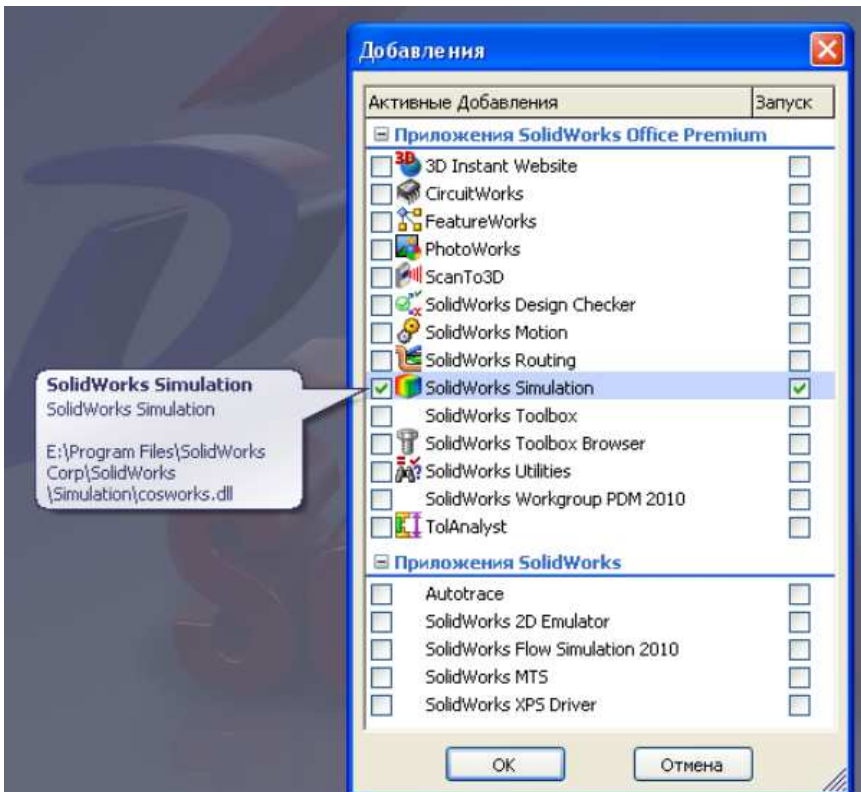


Рисунок 9.24 – Додавання пакету Simulation в панель управління

Різниця використання **"Simulation"** і **"SimulationXpress"** у тому, що кожний розрахунок в **"Simulation"** виконується у вигляді дослідження. Отже почніть роботу, вибравши команду **"Simulation | Исследование"**. У менеджері властивостей з'явиться діалогове вікно **"Исследование"**, показане на рис. 9.25, у якому можна задавати будь-яку кількість розрахунків з однією й тою же деталлю.

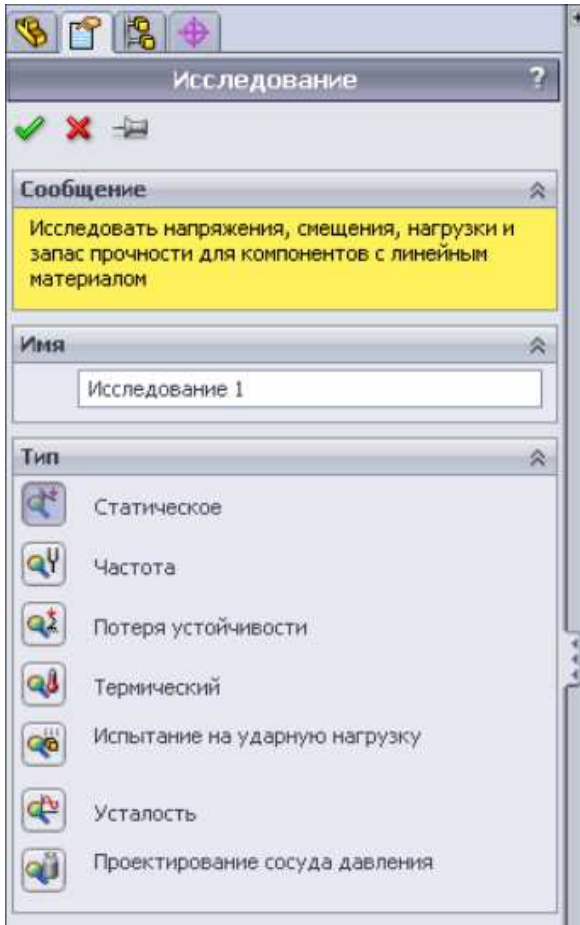


Рисунок 9.25 – Діалгове вікно вибору типу розрахунку

Це буває корисно при оптимізації конструкції деталі й призна-

ченні різних навантажень і обмежень. Вибором миші активізуйте поле **"Имя"** і задайте його ім'я, наприклад, **"Хомут1"**. Тепер перейдіть у наступне поле **"Тип"**, у якому задається тип аналізу, і виберіть **"Статичне"**. Будьте уважні, тому що після завдання типу розрахунку ці параметри вже не можна буде поміняти (рис. 9.25). Усі наступні кроки при виконанні розрахунків аналогічні **SimulationXpress**.

Контрольні запитання

1. Які основні етапи зазвичай містить у собі цикл розробки виробу?
2. Які основні питання розглядають при розрахунках деталей і вузлів на міцність?
3. Що лежить в основі аналізу на міцність реалізованого в SimulationXpress?
4. Які види навантажень задаються в SimulationXpress?
5. Які способи установки обмежень на деталь ви можете назвати?
6. Що необхідно зробити перед запуском процесу аналізу деталі на міцність?

Література

[1], с.21-50; [2], с.27-46; [3], с.41-115.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 10. СТВОРЕННЯ АНІМАЦІЙ ТА ФОТОРЕАЛІСТИЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Мета: Засвоїти принципи та порядок створення анімації та фотореалістичних зображень за допомогою додатків SolidWorks.

10.1 Загальні відомості

Анімація в SolidWorks призначена для наочної демонстрації деталей або елементів складання в русі, а також способів складання виробу з деталей. За допомогою аніматора, що входить до складу SolidWorks, можна створити ролики, що ілюструють наступні процедури:

- обертання деталі або складання;
- рознесення або створення складання;
- створення фізичного моделювання (задаючи закон руху провідної ланки (деталі) механізму, можна одержати анімацію всіх інших кінематично зв'язаних ланок (деталей)).
- Photoworks - це додаток SolidWorks, яке використовується для створення реалістичних зображень деталей або складань.

Photoworks - це додаток SolidWorks, яке використовується для створення реалістичних зображень деталей або складань. За допомогою додатку Photoworks можна створити зображення цієї деталі/складання, що не поступається по якості реальним світлинам. Такі зображення виходять завдяки тому, що в додатку Photoworks можна створити тло (сцену), на якому розташовуються об'єкти, і встановити висвітлення. Можна також задати властивості поверхні: матеріал, колір, текстуру, коефіцієнт відбиття, для чого в Photoworks є бібліотека текстур. Крім того, Photoworks дозволяє сканувати зображення поверхонь і матеріалів і використовувати їх для створення зображення.

Ще одним додатком є Photoview 360, який так само як і Photoworks, є програмою швидкого створення фотореалістичних зображень моделей SolidWorks. Але на відміну від Photoworks, який є інтегрованим пакетом в SolidWorks, додаток Photoview 360 є зовнішньою програмою, тобто, щоб створити фотореалістичне зображення, не потрібно завантажувати SolidWorks.

10.2 Завдання до лабораторної роботи

Створити анімацію рознесення та упорядкування складання. За допомогою додатку PhotoWorks створити фотореалістичне зображення складання кривошипно-шатунного механізму.

10.3 Порядок проведення лабораторної роботи

Анімація обертання деталі або складання.

Обертання деталі або складання можна створити без якої-небудь додаткової підготовки. Запустити SolidWorks і завантажити з папки "Заняття 10 \ Приклади \ Анімація" файл складання "Складання1.sldasm". Для того щоб скористатися аніматором SolidWorks, необхідно його додати в інтерфейс програми. Для цього виберіть команду **"Інструменти | Настройка"**, у діалоговому вікні що відкрилося **"Настройка"** встановіть прапорець **"SolidWorks Motion"** і натисніть кнопку **ОК**. Тепер при відкритті будь-якої деталі в нижній рядок меню буде додана вкладка **"Исследование движения"**. Активізуйте цю вкладку, клацнувши по ній мишею. Відкриється вікно **MotionManager**, показане на рис. 10.1.

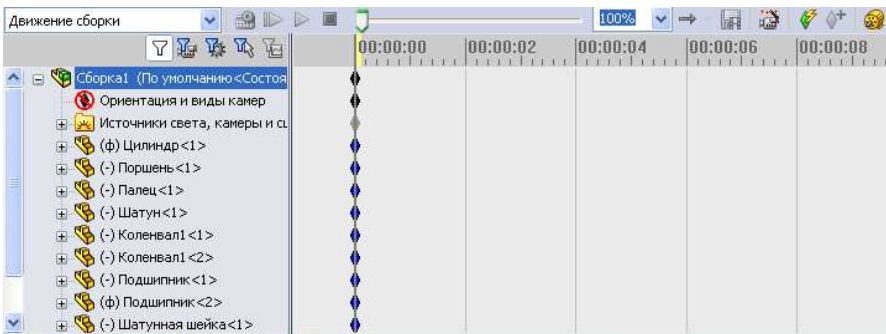


Рисунок 10.1 - Вікно MotionManager

Тепер натисніть кнопку **"Помощник для создания анимации"** на панелі інструментів **MotionManager**. З'явиться діалогове вікно **"Выбор типа анимации"**, показане на рис. 10.2, у якому встановіть перемикач у положення **"Вращение модели"**. Натисніть кнопку **"Далее"**. У вікні що з'явилося, **"Выбор оси вращения"** необхідно вста-

новити перемикач у бажане положення. Анімаційна картинка ліворуч динамічно показує, як буде обертатися деталь.

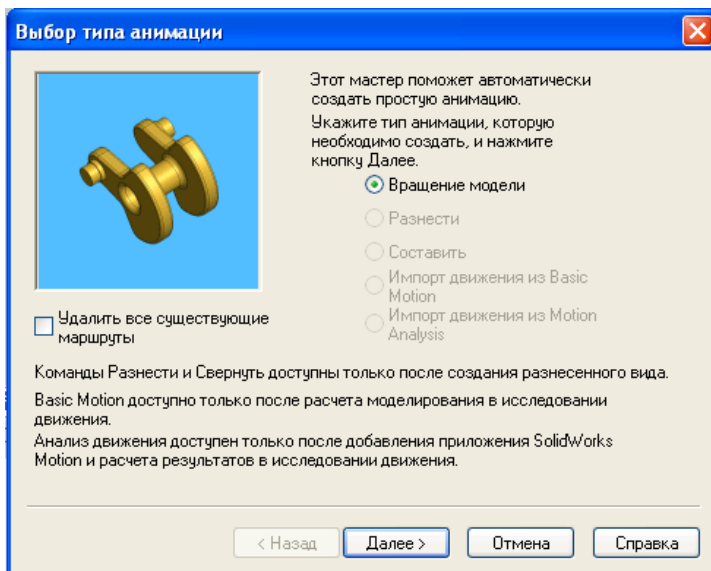


Рисунок 10.2 – Діалогове вікно "Выбор типа анимации"

Виберіть, наприклад, параметри, як на рис. 10.3, і натисніть кнопку "Далее". В останньому вікні "**Параметры управления анимацией**" необхідно задати тривалість анімації в секундах і затримку.

Натисніть кнопку "**Готово**". Програма знову повернеться у вікно **MotionManager**. Тепер натисніть кнопку "**Воспроизведение**" або "**Воспроизведение сначала**", щоб почати перегляд. Кнопка "**Сохранить анимацию**" дозволить вам зберегти анімацію у файлі формату AVI. Для збереження конфігурації складання з анімацією "Складання1.sldasm" натисніть кнопку "**Сохранить**". Для перемикання назад до побудови моделі в нижньому рядку меню натисніть мишею на вкладку "**Модель**".

Анімація рознесення або створення складань.

Для того щоб створити анімацію рознесення або створення складання, спочатку необхідно створити вид з рознесеними частинами. Рознесений вид зберігається з конфігурацією складання, у якому він

створюється. Кожна конфігурація може містити один вид з рознесеними частинами.

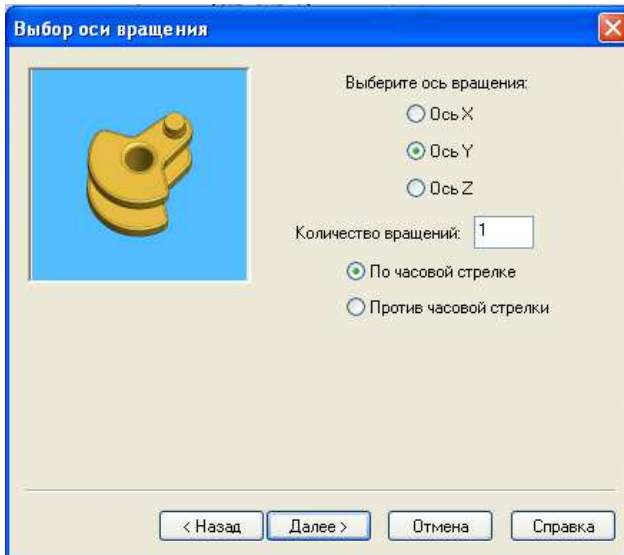


Рисунок 10.3 – Діалого вікно "Выбор оси вращения"

Створимо анімацію складання, яке використовували в попередній вправі. Тому знову завантажте файл складання "Складання1.sldasm". Натисніть кнопку **"Менеджер конфігурацій"**.

Натисніть на знак плюса в рядку  **Сборка1 Конфигурация(и)**.

Відкриється список існуючих конфігурацій. У початковий момент там буде тільки одна конфігурація **"По умолчанию <Состояние отображения-1>[Сборка1]"**. Наведіть покажчик миші на цей рядок і клацніть правою кнопкою. У контекстному меню що з'явилося, виберіть пункт **"Новый вид с разнесенными частями"**. Цю команду можна також викликати, просто натиснувши кнопку **"Вид с разнесенными частями"** в панелі інструментів **"Сборка"**. Відкриється діалогове вікно **"Разнести"**. Тепер можна приступати безпосередньо до рознесення.

Рознесення деталей.

Демонстрування рознесення деталей зручніше проводити так, як

би вони збиралися у вузол, тобто при осьовому складанні деталі краще переміщати уздовж осі, а при радіальному складанні - перпендикулярно осі. Хоча користувач може на свій погляд застосовувати напрямки переміщення обраних деталей. Для початку перенесемо незафіксований **"Подшипник<1>"** на відстань 100 мм від складання.

Для цього клацніть у діалоговому вікні **"Разнести"** в області **"Настройка"** по полю **"Компоненты шага разнесения"**, тим самим активізувавши його. Спочатку воно повинне бути порожнім. Тепер у **"Дерево Конструирования"** або безпосередньо на складанні, клацніть по деталі **"Подшипник<1>"**. У полі **"Компоненты шага разнесения"** з'явиться ім'я деталі **"Подшипник-1@Сборка1"**. У поле **"Направление разнесения"** за замовчуванням з'явиться повідомлення **"Z@Сборка1.SLDASM"**. Тобто програма пропонує виконати рознесення уздовж глобальної осі Z, яка не збігається з віссю деталі.

Тому активізуйте поле **"Направление разнесения"**, клацнувши по ньому мишею, потім клацніть по деталі, осі якої збігаються з рознесеною деталлю. У якості такої деталі виберіть, наприклад, зафіксований **"Подшипник<2>"**. У полі **"Расстояние разнесения"** встановіть значення 100 мм. Перевірте правильність зроблених вами дій по рис. 10.4.

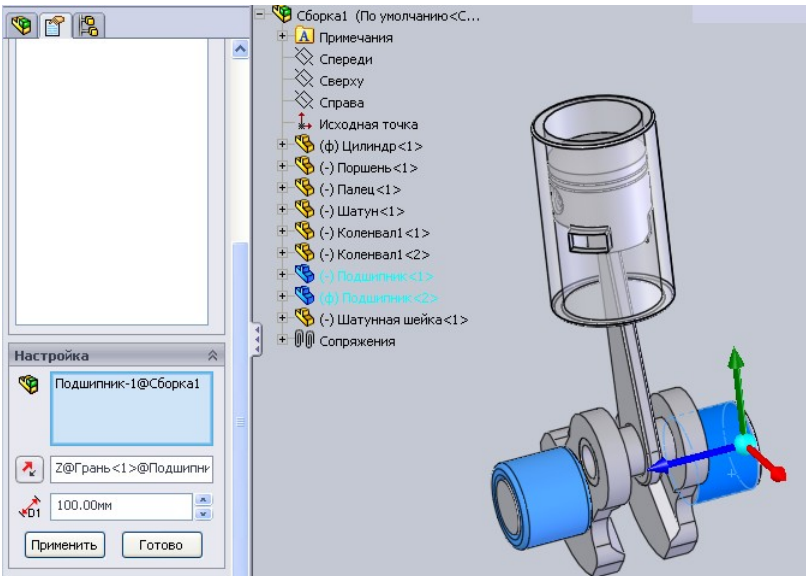


Рисунок 10.4 – Процесс разнесения деталей складання

Якщо все зроблено правильно, то натисніть кнопку "Применить". "**Подшипник<1>**" відразу переміститься в напрямку від складання (на рис. 10.4 по напрямковій стрілці). У вікні "**Шаг разнесения**" з'явиться елемент "**Шаг разнесения детали1**". Якщо перенесення деталі було виконано правильно, натисніть кнопку "**Готово**", тоді команда для даної деталі буде прийнята остаточно, і поля в області "**Настройка**" очистяться для створення нового рознесення.

Тепер аналогічним образом перемістіть деталь "**Коленвал<2>**" відносно тієї ж деталі "**Подшипник<2>**" на відстань 65 мм по осі деталі "**Подшипник<1>**". Перевіривши коректність переміщення, натисніть кнопки "**Применить**" та "**Готово**". Далі перемістіть деталь "**Шатунная шейка<1>**" щодо деталі "**Подшипник<2>**" на відстань 50 мм убік деталей "**Подшипник<1>**" і "**Коленвал<2>**". Перевіривши коректність переміщення, натисніть кнопки "**Применить**" та "**Готово**". Потім перемістіть деталь "**Коленвал<1>**" щодо деталі "**Подшипник<2>**" на відстань 35 мм убік трьох переміщених деталей. Перевіривши коректність переміщення, натисніть кнопки "**Применить**" та "**Готово**". Усі деталі повинні зберігати свою співвісність. Зроблені вами дії повинні відповідати рис. 10.5.

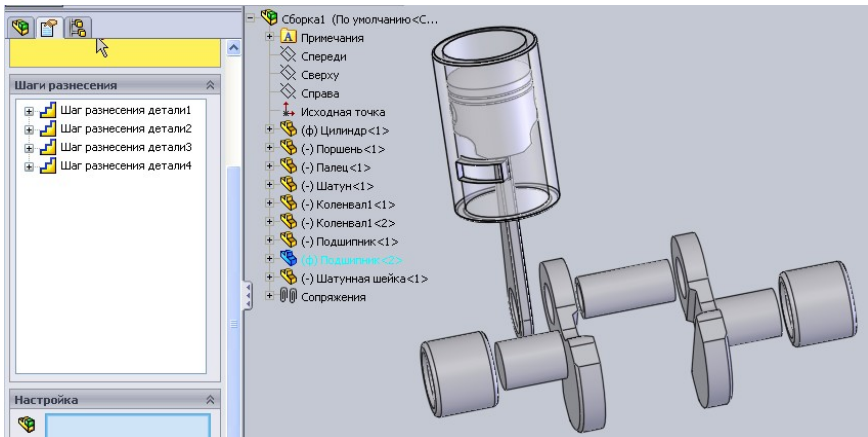


Рисунок 10.5 – Перевірка співвісності рознесених деталей складання

Тепер перемістимо відразу кілька деталей: шатун, поршень і поршневий палець. Переміщати будемо уздовж циліндра, тому клацніть мишею по полю "**Направление разнесения**", а потім по внутрішній

грані деталі "**Цилиндр<1>**". Потім клацніть по полю "**Компоненты шага разнесения**", щоб зробити його активним, і нарешті, у "**Дерево Конструирования**" клацніть по деталях "**Поршень<1>**", "**Палець<1>**", "**Шатун<1>**". Після цього зніміть прапорець "**Авторазмещение компонентов**" після перетаскування в області "**Параметры**", щоб деталі перемістилися всі разом. Встановіть "**Расстояние разнесения**" 160 мм і натисніть кнопку "**Применить**". Якщо обрані три деталі перемістилися нагору, натисніть кнопку "**Готово**".

У нашому складанні залишилося від'єднати поршневий палець і поршень від шатуна. Зробіть знову активним вікно "**Компоненты шага разнесения**" й виберіть деталь "**Палець<1>**", потім виділіть вікно "**Направление разнесения**" й виберіть знову деталь "**Подшипник<2>**". Рознесіть на відстань 50 мм. Натисніть кнопки "**Применить**" та "**Готово**". І нарешті, у якості компонента рознесення виділіть деталь "**Поршень<1>**" і перемістіть в напрямку осі деталі "**Цилиндр<1>**" нагору також на відстань 50 мм. Натисніть кнопки "**Применить**" та "**Готово**". Рознесення закінчене. Тепер остаточно перевірте положення рознесених деталей згідно рис. 10.6, якщо все зроблено Вами правильно, натисніть кнопку "**ОК**" у вікні "**Разнести**".

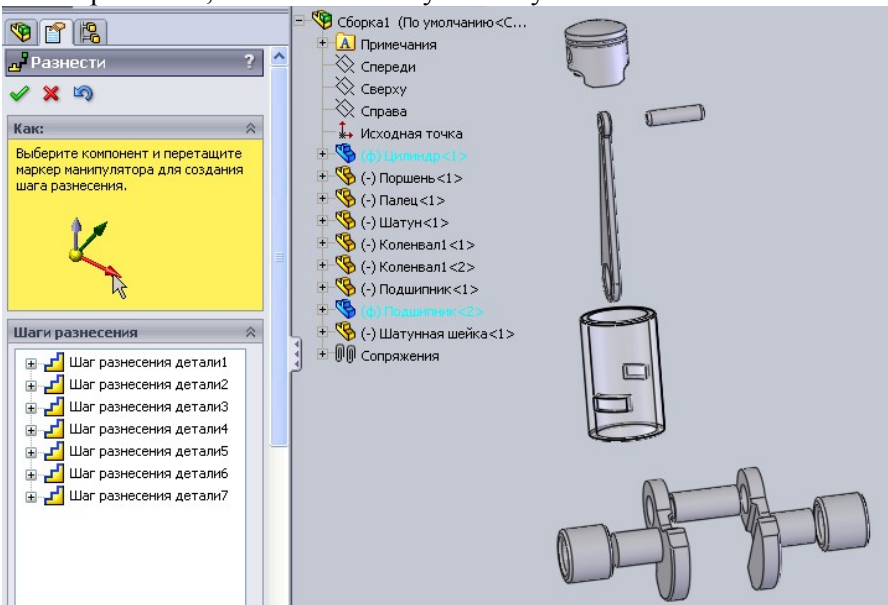


Рисунок 10.6 – Виконане рознесення деталей складання

Після створення рознесеного виду можна перевірити створення складання й рознесення шляхом створення анімації.

Створення анімації.

Клацніть правою кнопкою миші на рядку **"Вид с разнесенными частями 1"** у дереві **"Менеджера конфигураций"**. У контекстному меню що з'явилося, виберіть **"Анимировать составление элементов"** або **"Составить"**, якщо прагнете зробити складання без анімації. З'явиться вікно **"Управление анимацией"** (рис. 10.7), у якому можна переглядати анімацію в уповільненому або прискореному темпі, промотувати назад, а також зберігати. Для збереження натисніть кнопку **"Сохранить анимацию"** та у діалоговому вікні що відкрилося, **"Сохранить анимацию в файл"** введіть в поле **"Имя файла"** **Складання2.avi**. Потім натисніть кнопку **"Сохранить"**.

У вікні **"Сжатие видео"** виберіть у розділі **"Программа сжатия"** пункт **"Полные кадры (без сжатия)"** і натисніть кнопку ОК. Анімація буде збережена у файл. Закрийте вікно **"Управление анимацией"** та збережіть файл **"Складання1.SLDASM"**.

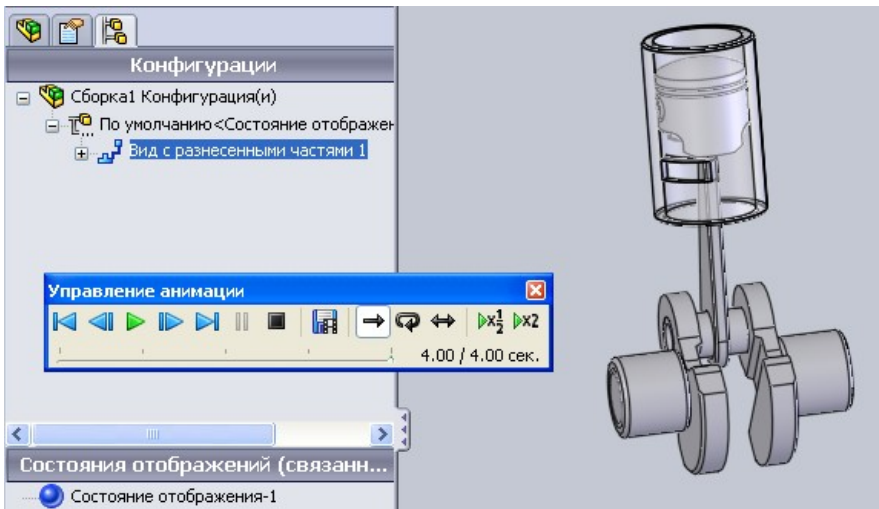


Рисунок 10.7 – Процес створення анімації рознесення складання

Використання Photoworks. Щоб скористатися додатком Photoworks, спочатку встановіть на комп'ютер одну з версій

SolidWorks, тобто SolidWorks Office Professional або SolidWorks Office Premium. Далі відкрийте деталь або складання, для якого необхідно створити зображення, і активізуйте додаток Photoworks. Для активізації Photoworks необхідно вибрати команду меню **"Інструменти | Додавлення"**. У вікні **"Додавлення"** поставте прапорець Photoworks (рис. 10.8).

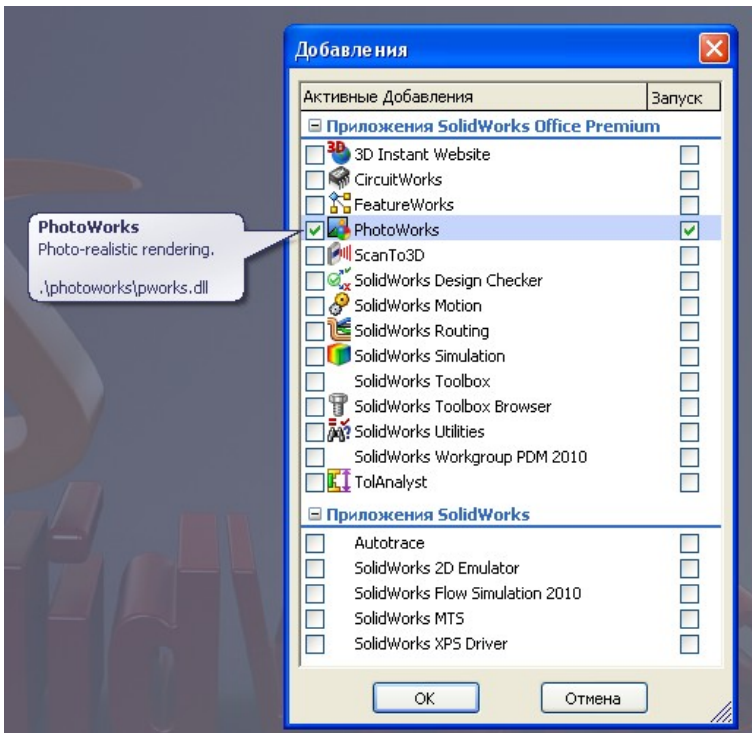


Рисунок 10.8 – Завантаження додатку Photoworks

Потім натисніть кнопку ОК. У результаті в меню з'явиться пункт Photoworks, а на екран можна буде викликати панель інструментів Photoworks



У лівій частині екрана з'явиться кнопка **"Менеджер изображений Вид"**, який показує сцену (тло зображення), матеріал, висвітлення та наявність надписів у поточного зображення об'єкта. Для створення зображень можна також використовувати розділи меню додатку

Photoworks.

У якості прикладу створення реалістичного зображення за допомогою додатку Photoworks, виберемо вже знайоме вам складання кривошипно-шатунного механізму. Для цього відкрийте файл із зображенням складання. Для зручності роботи відкриємо також **"Менеджер зображення Вид"**, натиснувши відповідну кнопку, яка розміщена у верхній частині лівої панелі. У результаті, в лівій частині екрана з'явиться **"Менеджер зображення Вид"** (рис. 10.9).

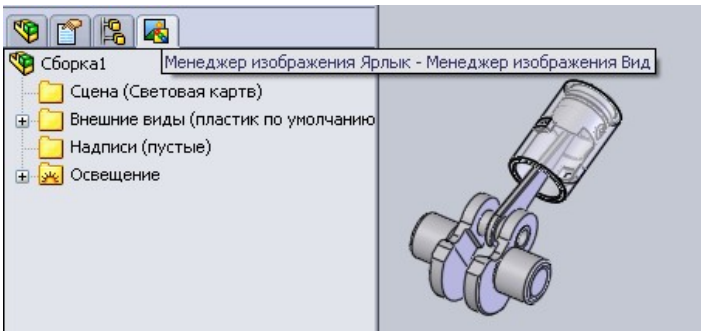


Рисунок 10.9 – Діалогове вікно "Менеджер зображення Вид"

Створимо реалістичне зображення складання за допомогою **"Помічник для зображення картинки"**, для чого активізуємо його, вибравши команду меню **"Photoworks | Помічник для зображення картинки"**. Цей помічник дозволяє оформити картинку по кроках, необхідно лише здійснювати вибір елементів оформлення.

Відкриється привітальне вікно **"Добро пожаловать"**, у якому зазначені кроки оформлення: перший крок - вибір зовнішнього вигляду для моделі, другий - вибір сцени, третій - відображення самої картинки. Натисніть кнопку **"Далее"**.

На екрані у вікні **"Менеджер свойств"** активізується вікно **"Внешний вид"** з областями **"Освещение, Обработка поверхности, Цвет / Изображение"** (рис. 10.10), які містять відповідні бібліотеки. Виберіть варіант зображення що вам сподобався і натисніть кнопку **"ОК"** у вікні **"Менеджер свойств"**. Продовжимо покрокове оформлення картинки натисканням кнопки **"Далее"** у вікні **"Внешний вид"**. На екрані з'явиться вікно **"Редактор сцен"** з активною вкладкою **"Менеджер"**. У цім вікні вам пропонується бібліотека демон-

страційних приміщень, фонів, підвалин, навколишнього середовища, зображення яких може стати сценою для вашої моделі.

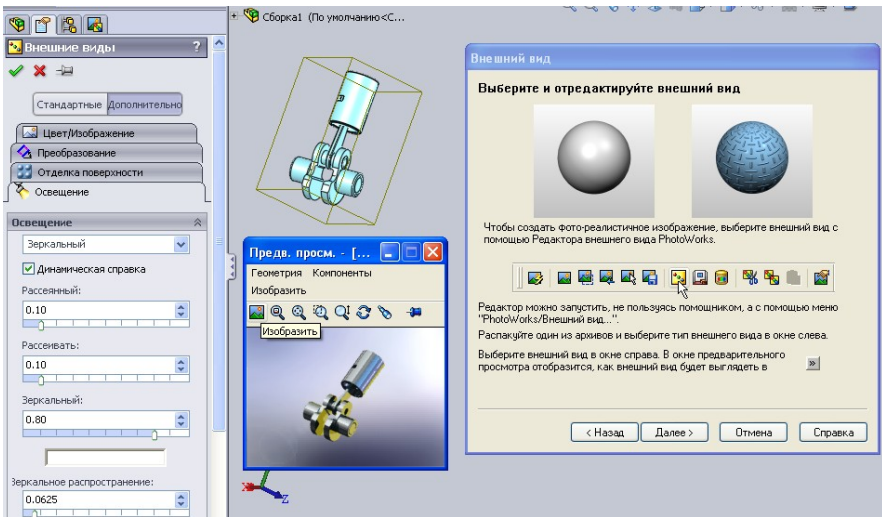


Рисунок 10.10 – Діалогове вікно вибору зовнішнього оформлення

Потрібно лише вибрати підходяще оформлення (рис. 10.11). Закінчіть оформлення тла натисканням кнопки **"Применить"** в діалоговому вікні **"Редактор сцен"**.

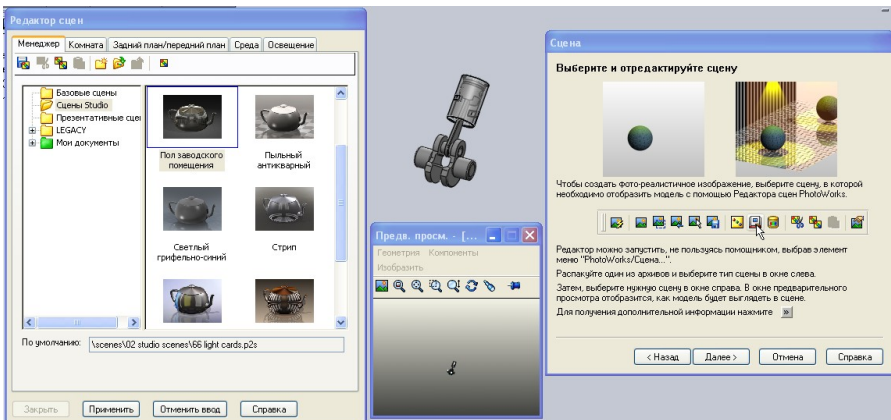


Рисунок 10.11 – Вибір зовнішнього оформлення сцени

У вікні **"Редактор сцен"** можна також задати розміри кімнати й видимість матеріалів (вкладка **"Комната"**), визначитися з висвітленням (вкладка **"Освещение"**), а також оформити задній і передній плани зображення (вкладка **"Задний план/передний план"**). Продовжи-мо оформлення, натиснувши кнопку **"Далее"** в діалоговому вікні **"Сцена"**.

Закінчимо оформлення картинки натисканням кнопки **"Готово"** у вікні **"Обработанная"** помічника зображення. У результаті на екрані з'явиться реалістична картинка складання кривошипно-шатунного механізму двигуна (рис. 10.12).

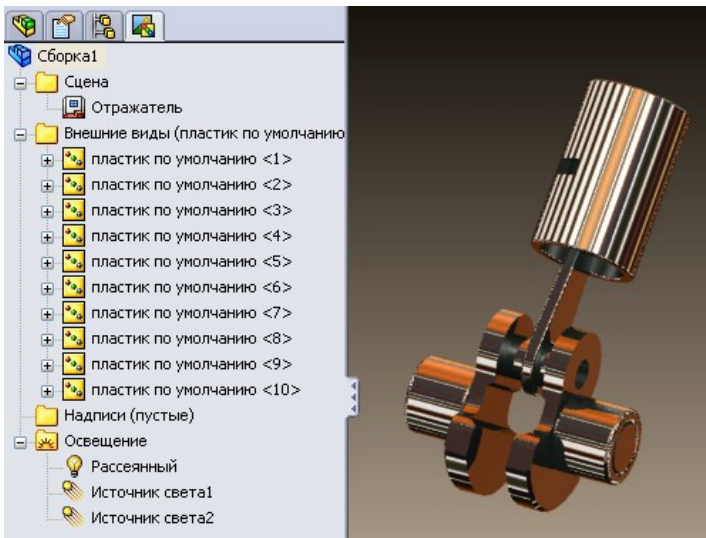


Рисунок 10.12 – Кінцева фотореалістична картинка складання

Це зображення можна зберегти у файлі, для чого натисніть кнопку **"Изобразить в файл"** розташовану на панелі інструментів Photoworks, або виберіть у меню **"Photoworks | Изобразить в файл"**. На екрані з'явиться вікно **"Изобразить в файл"**, де потрібно вказати папку, ім'я файлу та його розширення. Збережіть картинку у файлі з розширенням **bmp**. Тепер ця картинка доступна для подальшого використання в слайдах, презентаціях, книгах тощо.

У випадку, якщо за якимись причинами вид сцени, висвітлення або матеріали, налаштовані за допомогою помічника, вас не влашту-

вали, їх можна відредагувати. Для цього у вікні **"Менеджер зображення"** активізуйте клацанням правої кнопки миші один з рядків: **"Сцена"**, **"Матеріали"**, **"Надписи"** або **"Освещение"** (рис. 10.12), і в контекстному меню що з'явилося, виберіть команду **"Редактировать"**, а потім зробіть потрібні налаштування.

Аналогічним чином можна створити картинку без використання вікна **"Помощник для изображения картинки"**. Щоб підібрати матеріал для об'єкта, потрібно активізувати **"Редактор матеріалів"** натисканням кнопки **"Внешний вид"**, яка розташована на панелі інструментів Photoworks, або скористатися командою меню **"Photoworks | Внешний вид"**. Вибір декорації (сцени) для об'єкта здійснюється за допомогою **"Редактора сцен"**, який активізується натисканням кнопки **"Сцена"**. Створити напис допоможе відповідна команда, яка запускається кнопкою **"Створити надпись"**, а подивитися оформлену картинку можна за допомогою кнопки **"Изобразить"**, яка розташована на панелі інструментів Photoworks, а також команди меню **"Photoworks | Изобразить"**.

Аналогічно працює зовнішній додаток Photoview 360 (рис. 10.13), роботу з яким ви цілком можете засвоїти самостійно.

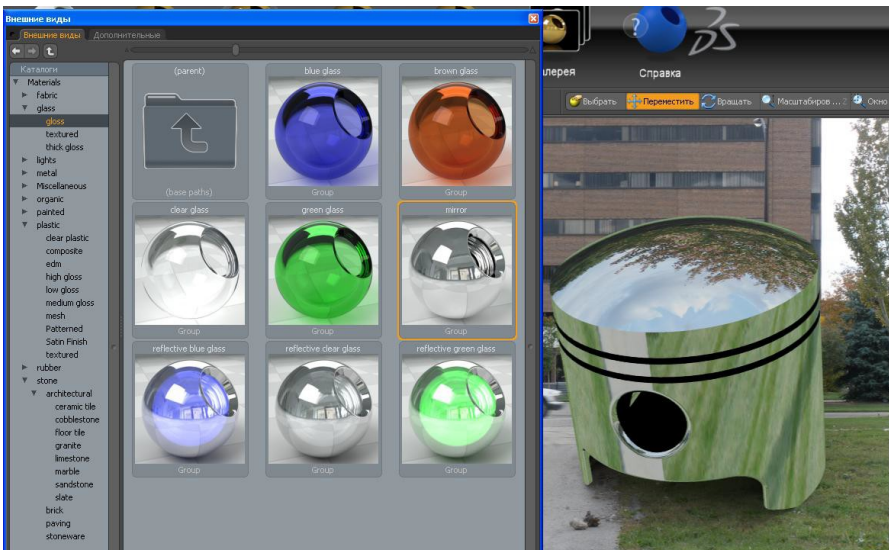


Рисунок 10.13 - Використання додатку Photoview 360

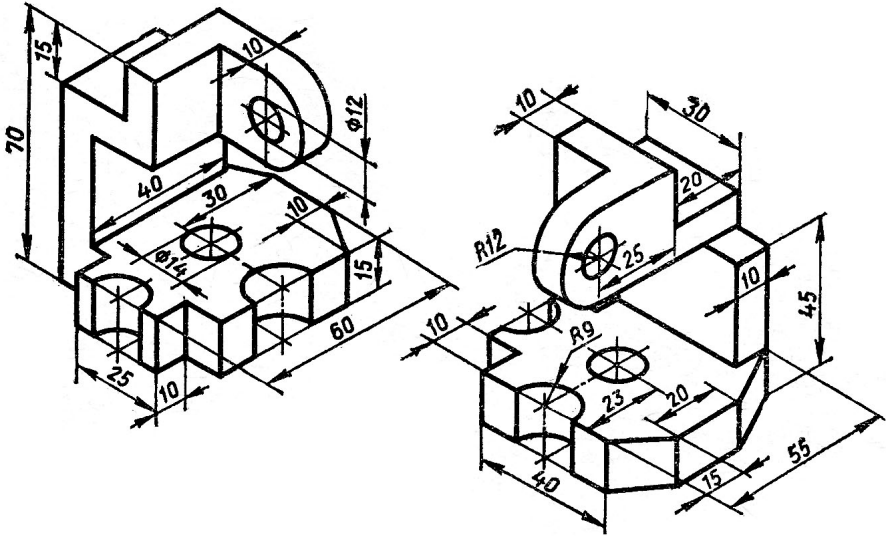
Контрольні запитання

1. Навіщо потрібно створювати анімацію розроблюваних виробів?
2. Які процедури конструювання можна ілюструвати за допомогою анімації?
3. Коротко розкажіть порядок створення анімації рознесення та упорядкування складань.
4. Яке призначення бібліотеки стандартних деталей?
5. Які функції виконує додаток PhotoWorks?
6. Коротко розкажіть порядок створення реалістичного зображення за допомогою додатку PhotoWorks.

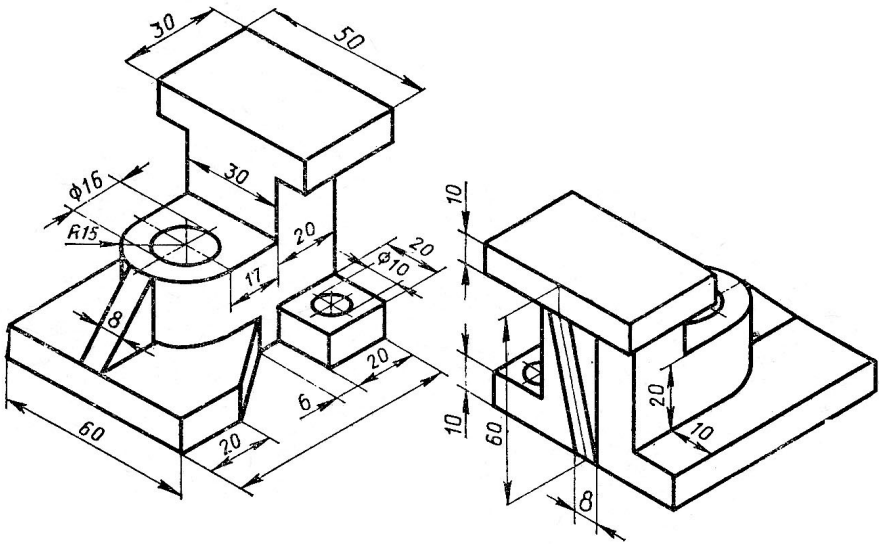
Література

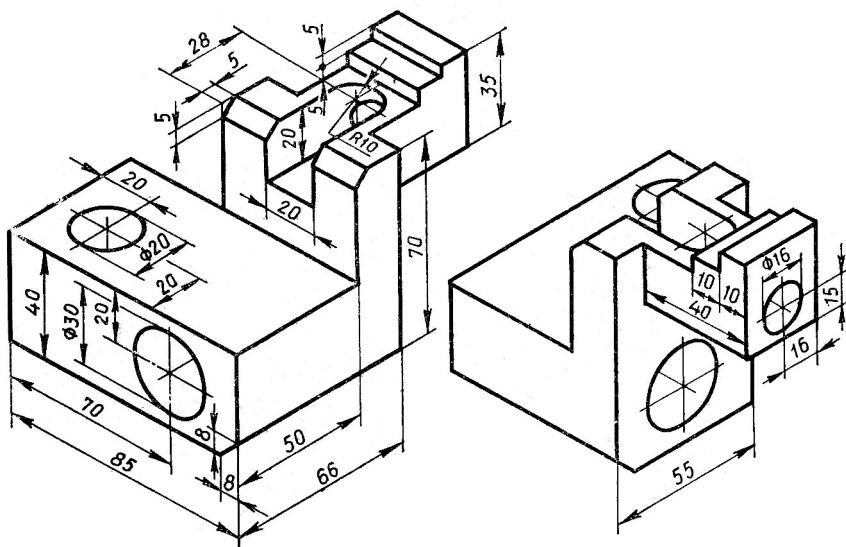
[1], с.55-97; [2], с.34-37, 41-46, 48-52, 93-97.

Варіант 2

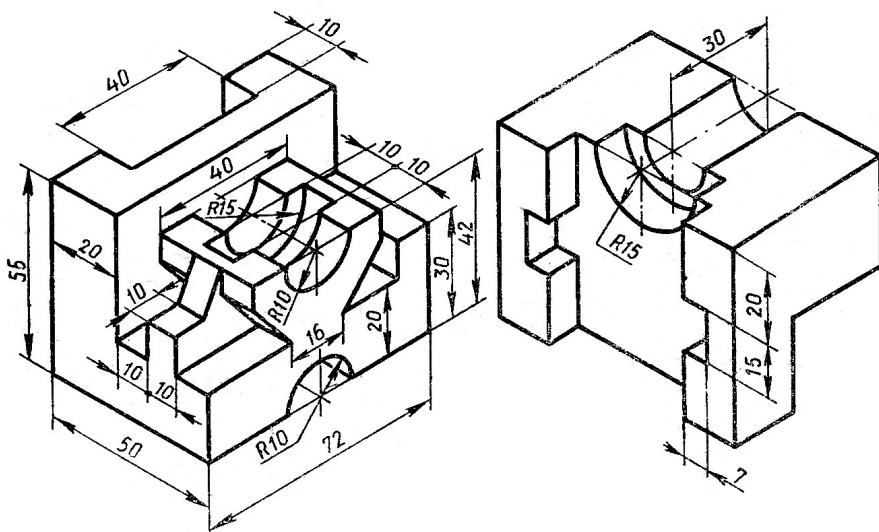


Варіант 3

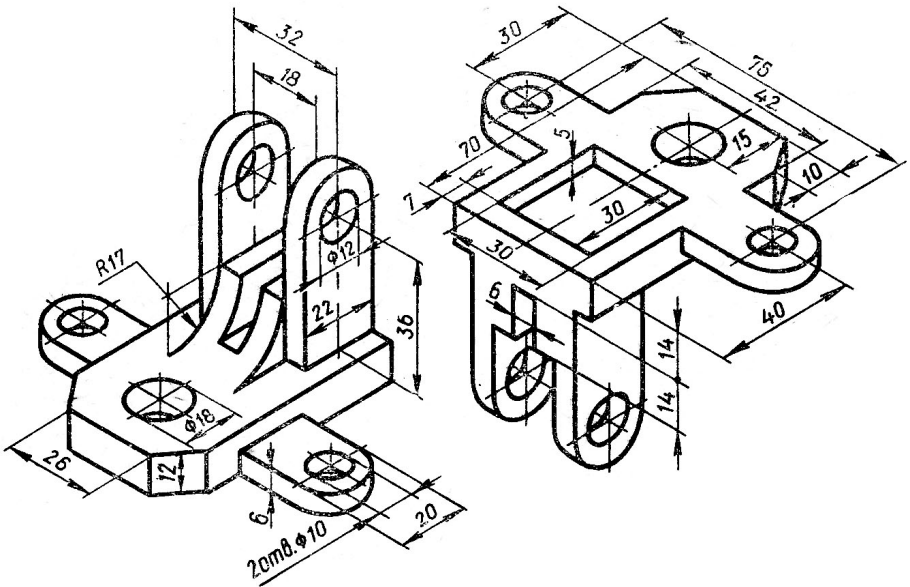




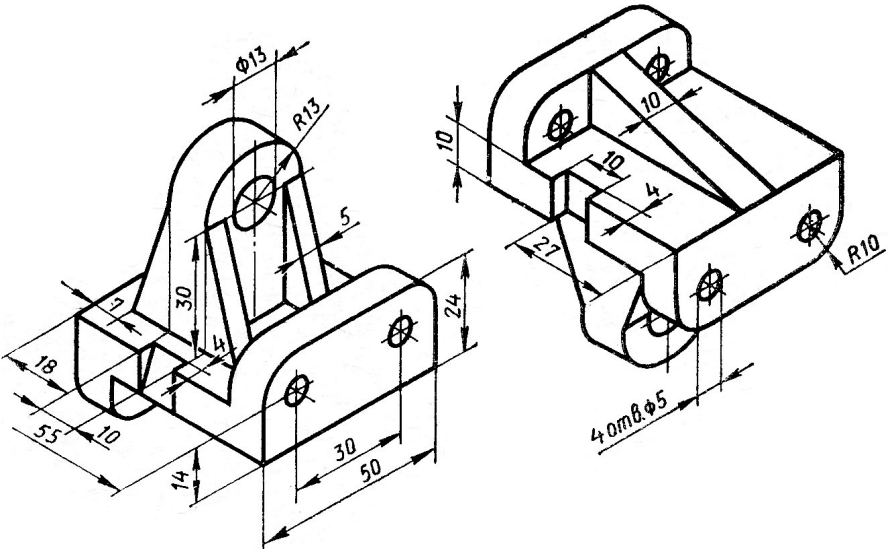
Варіант 5

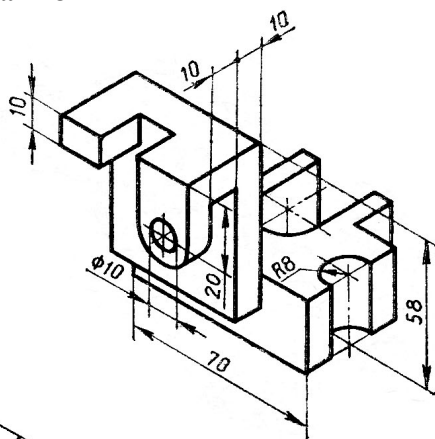


Варіант 6

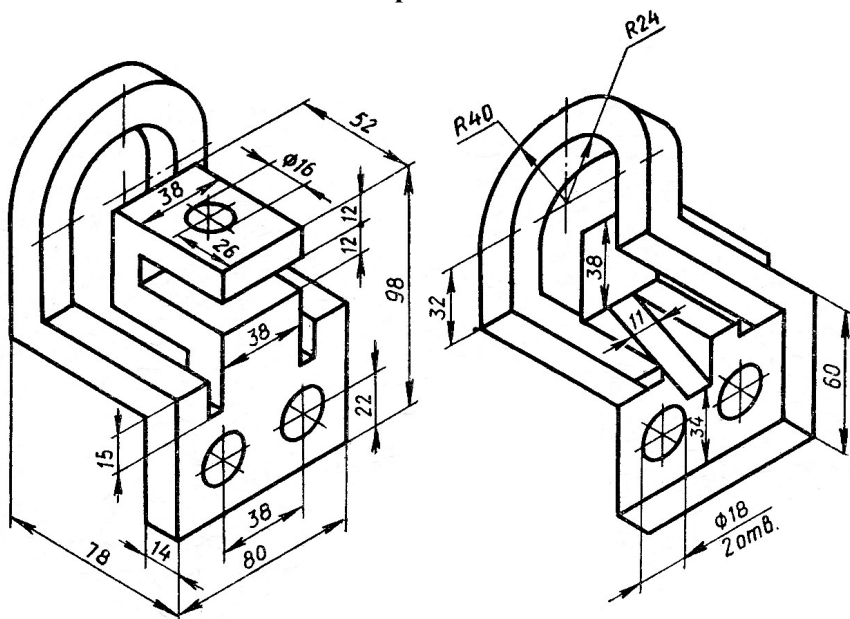


Варіант 7

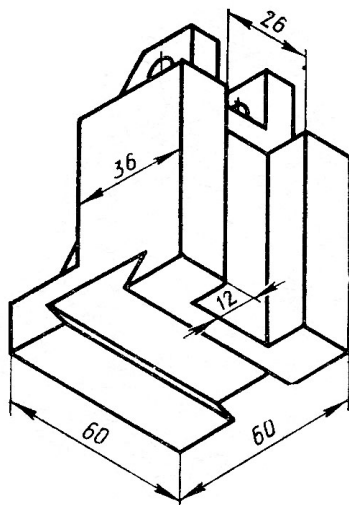
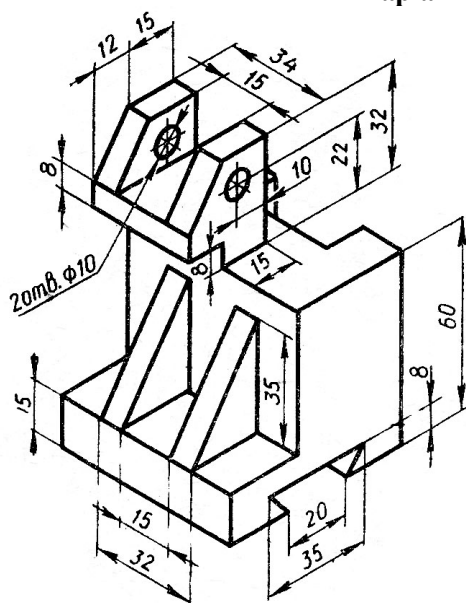




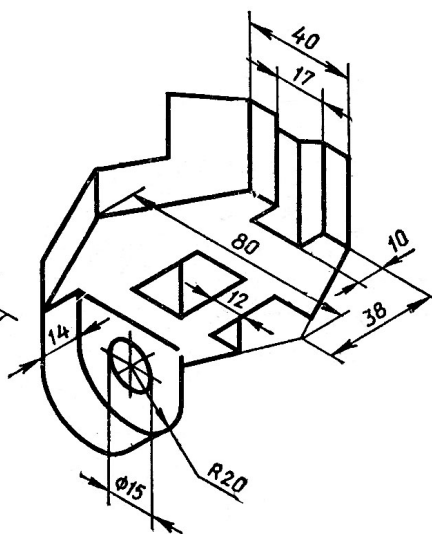
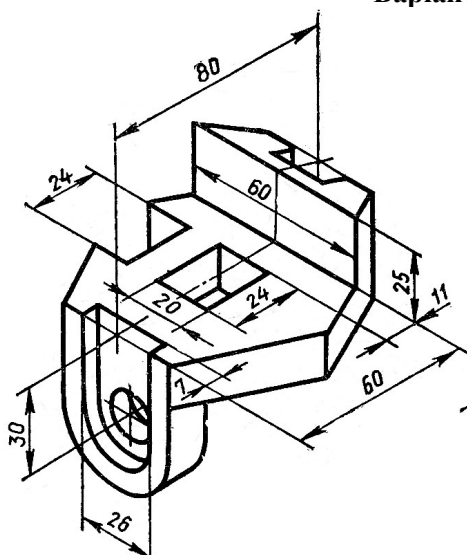
Варіант 9



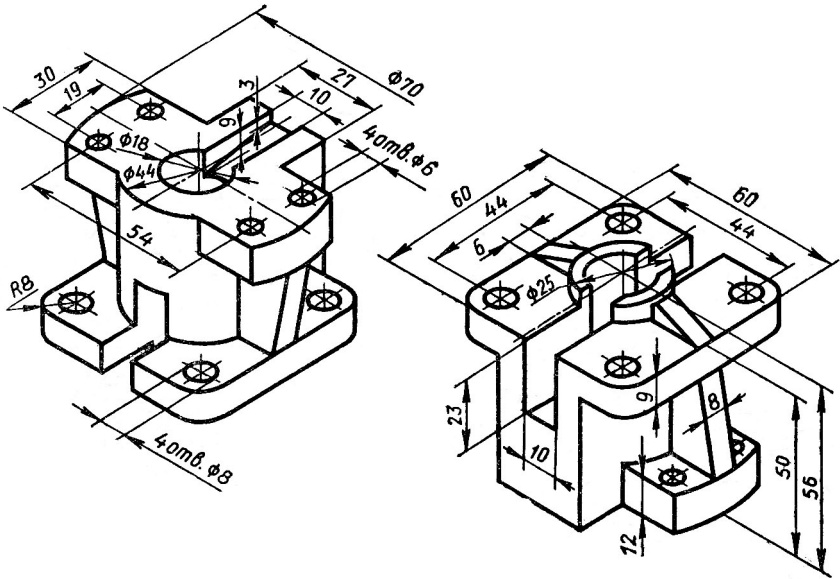
Варіант 10



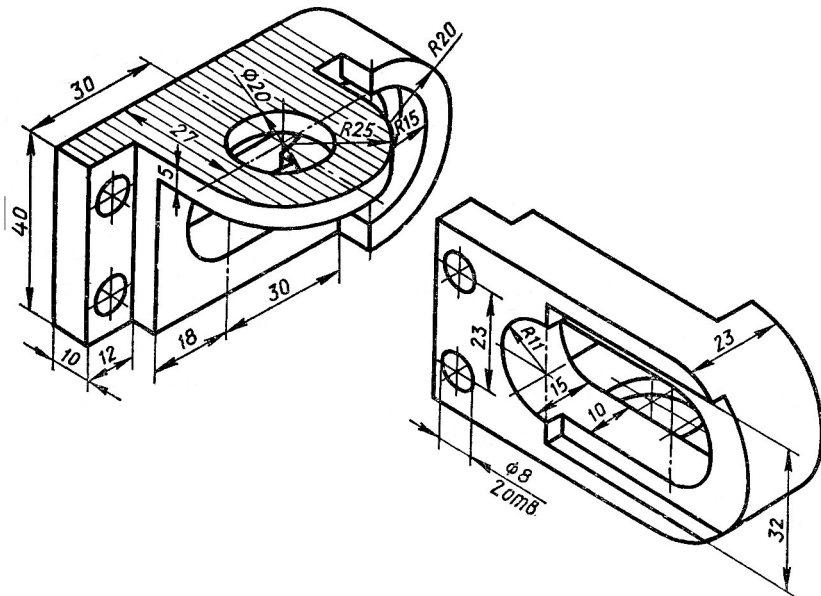
Варіант 11

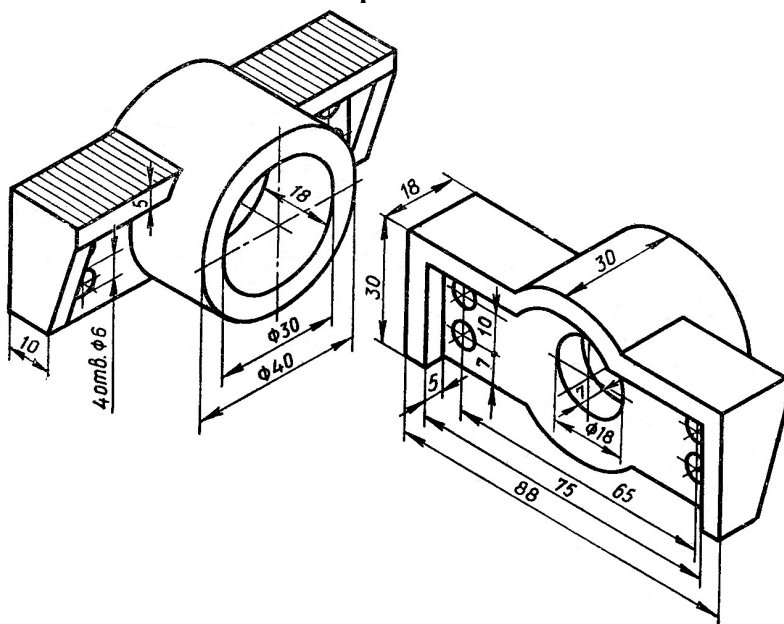


Варіант 12

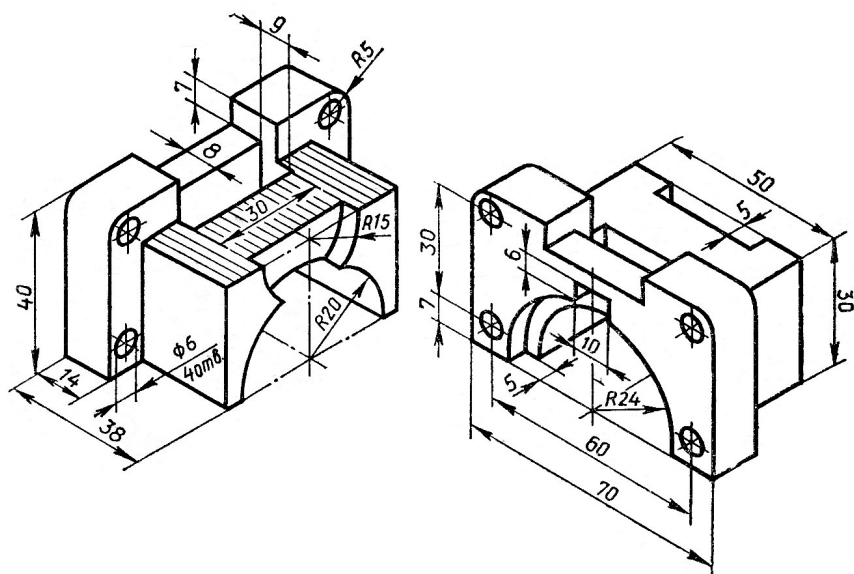


Варіант 13

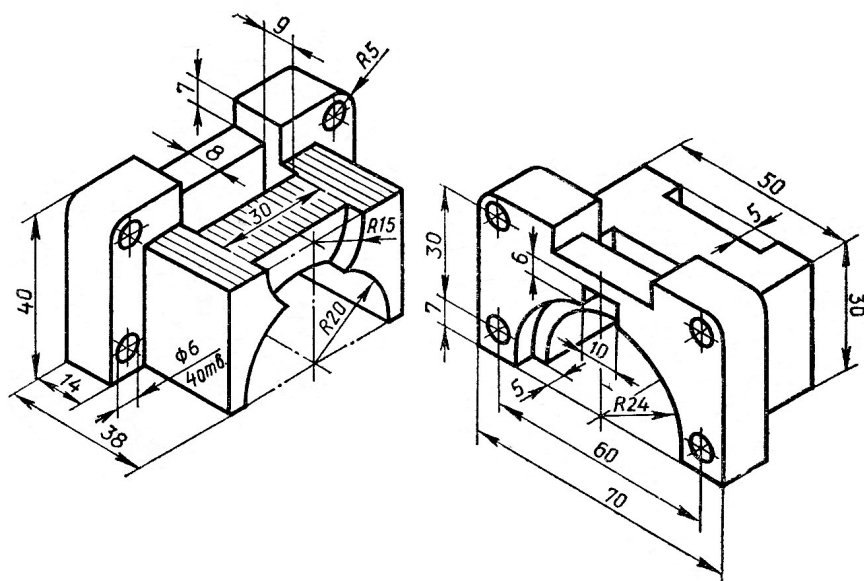




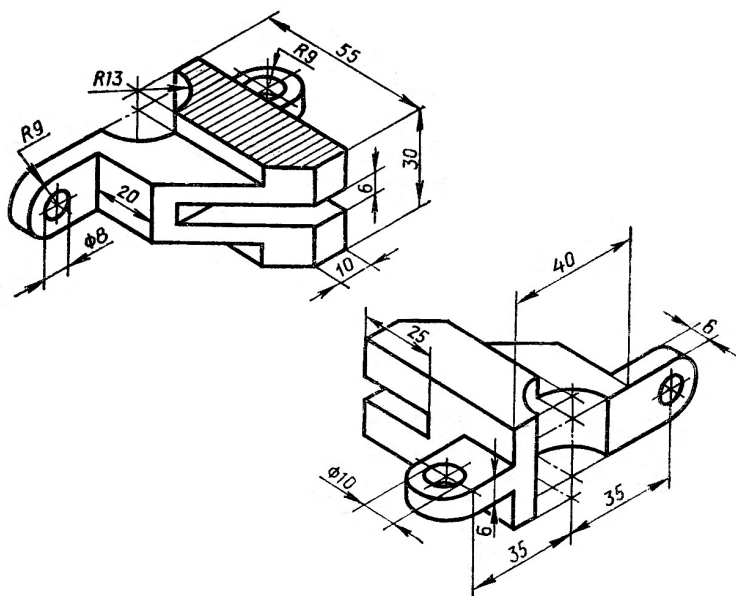
Варіант 15



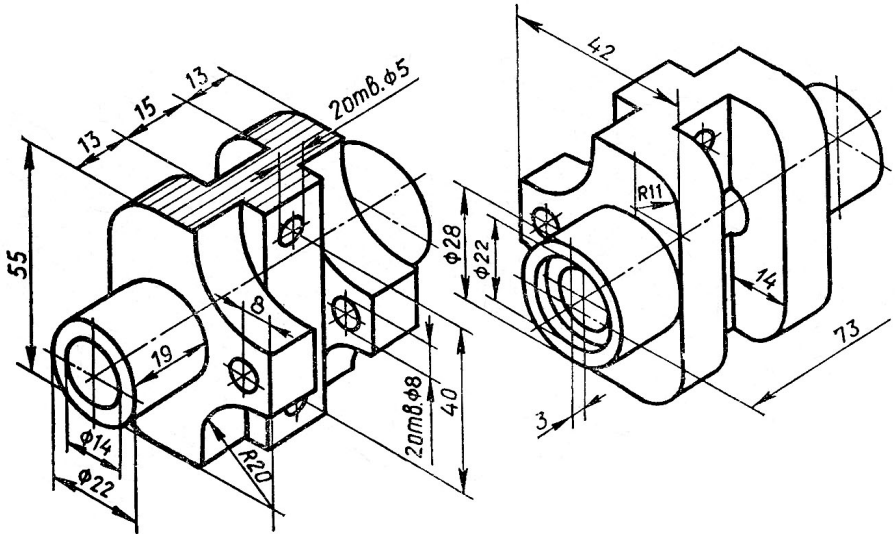
Варіант 16



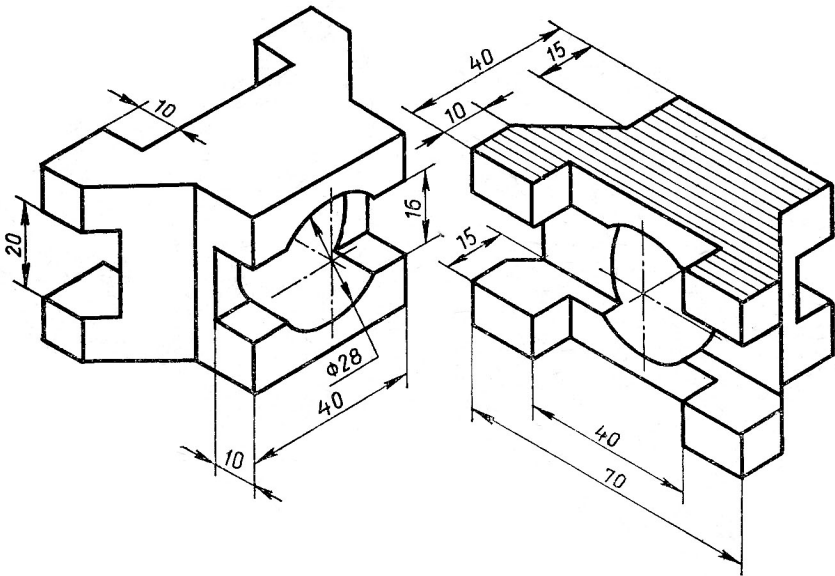
Варіант 17



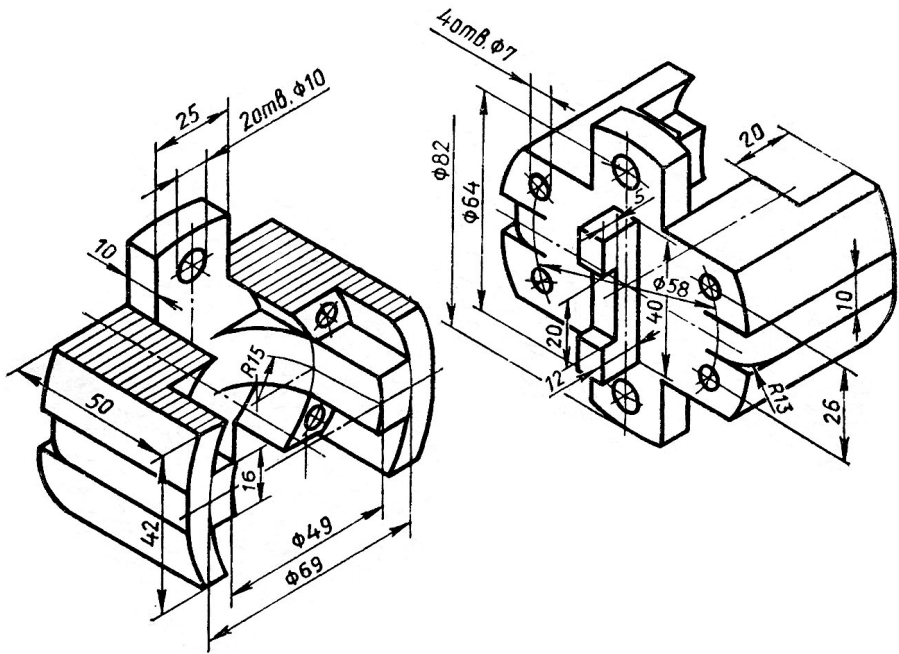
Варіант 18



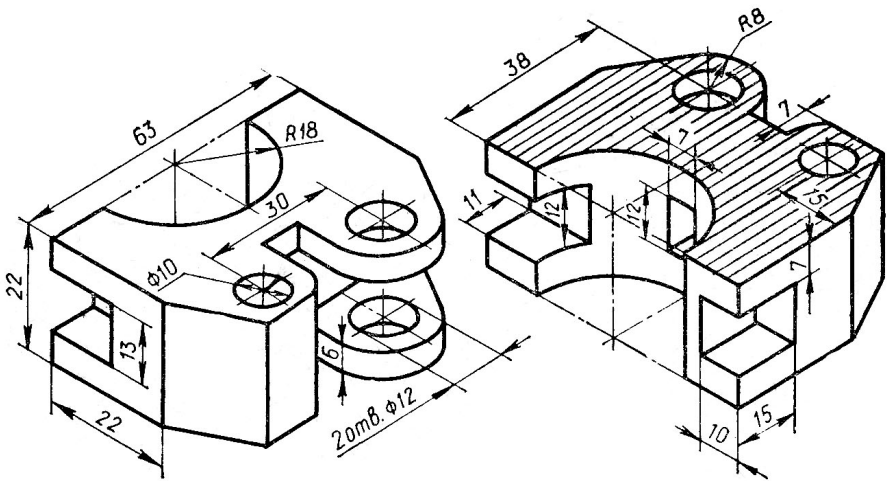
Варіант 19



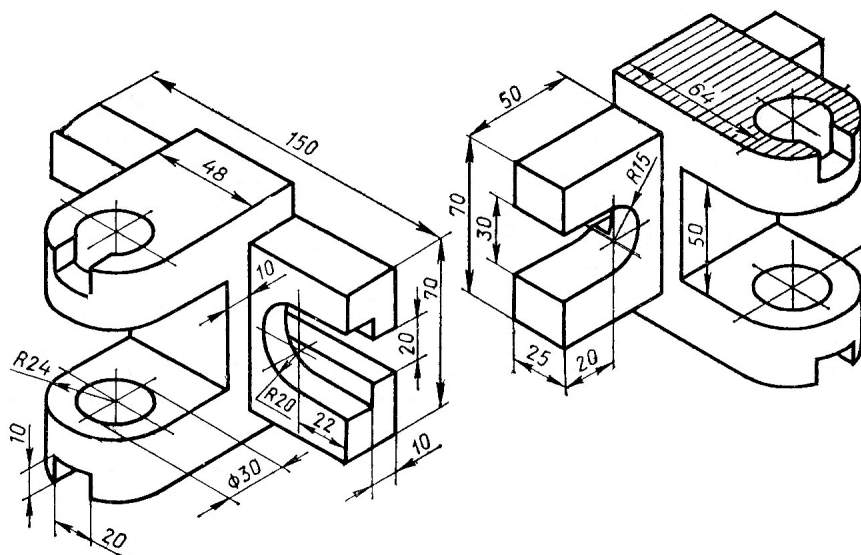
Варіант 20



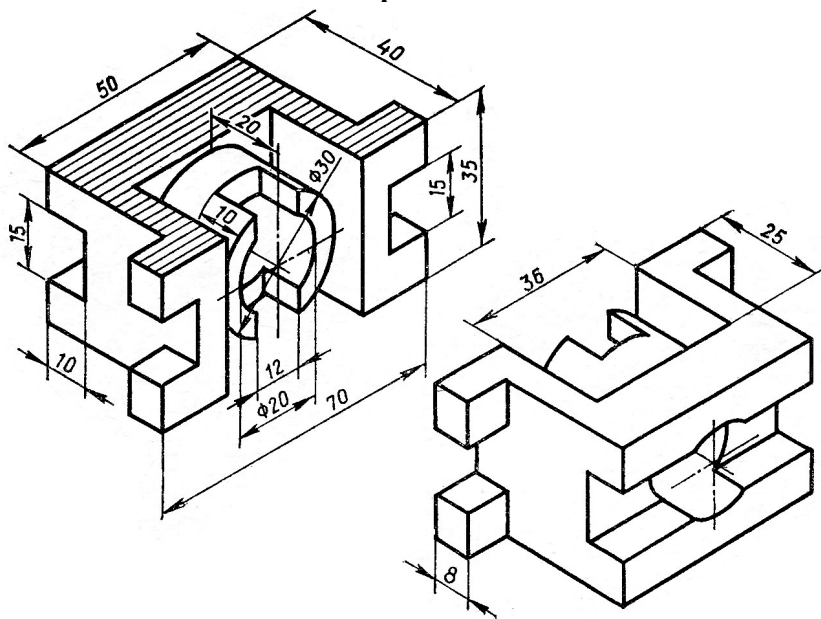
Варіант 21



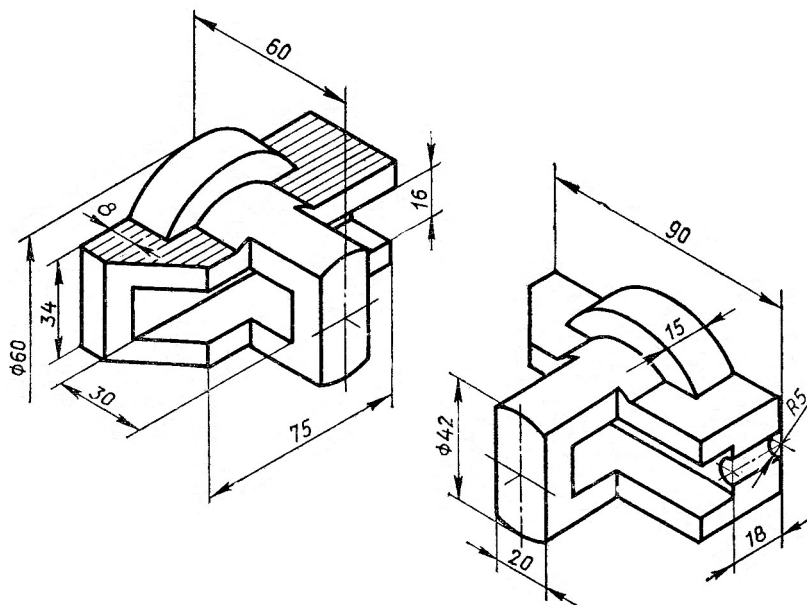
Варіант 22



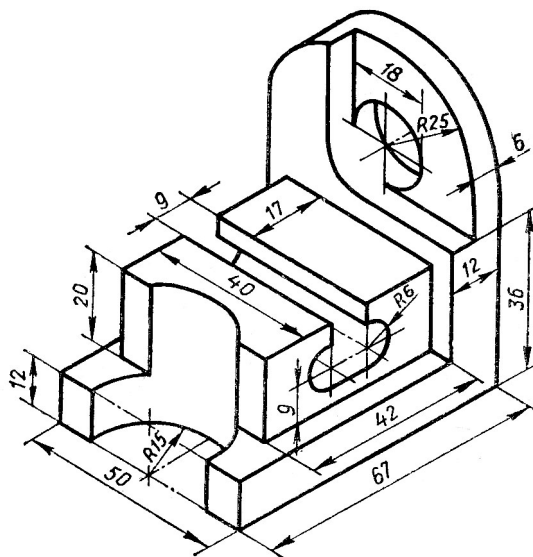
Варіант 23

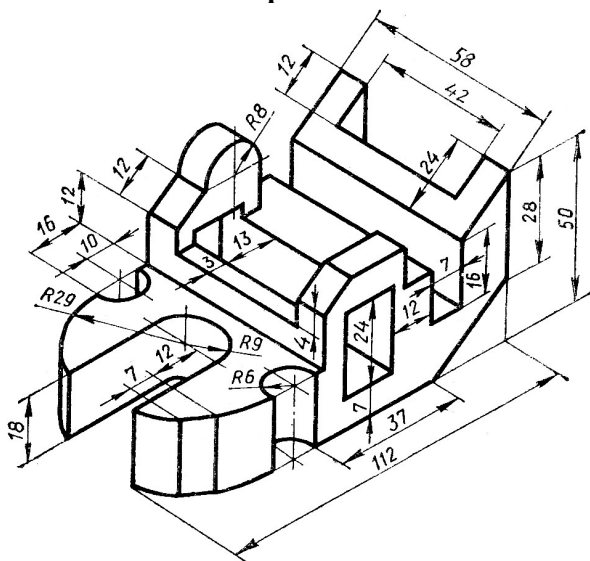


Варіант 24

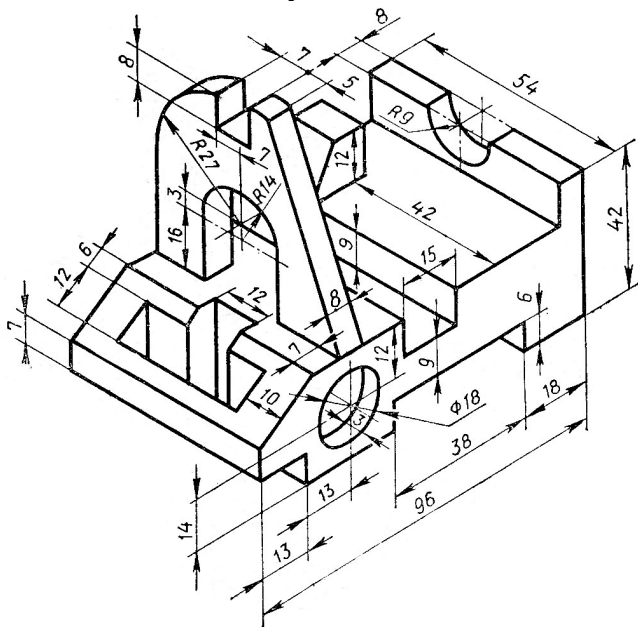


Варіант 25

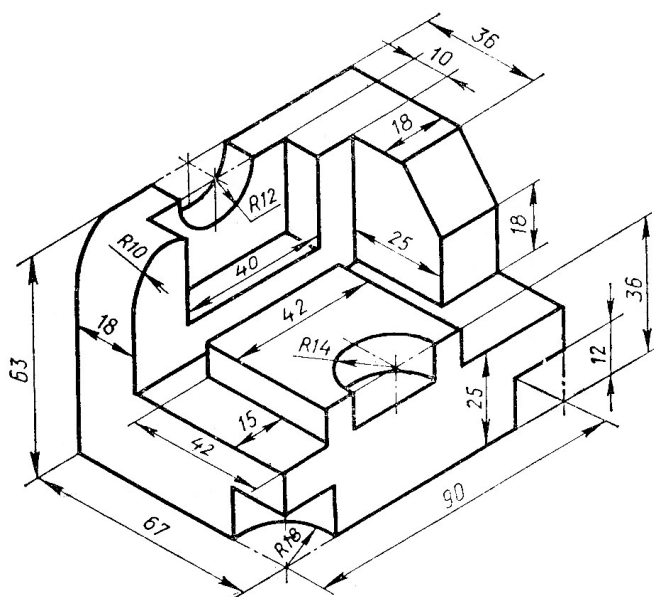




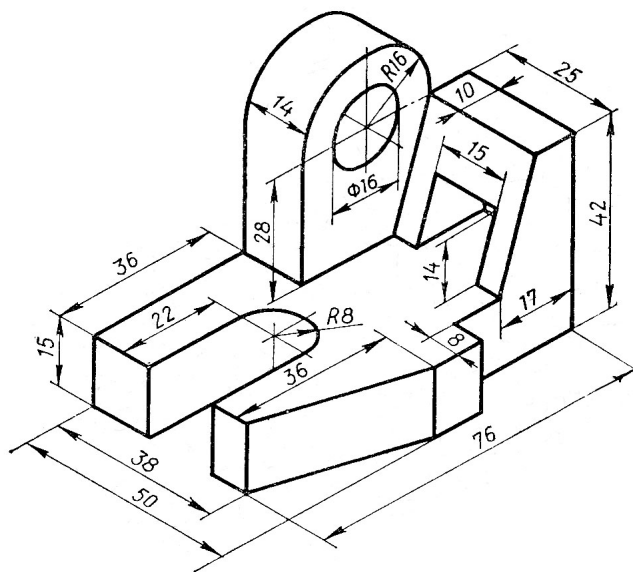
Варіант 27

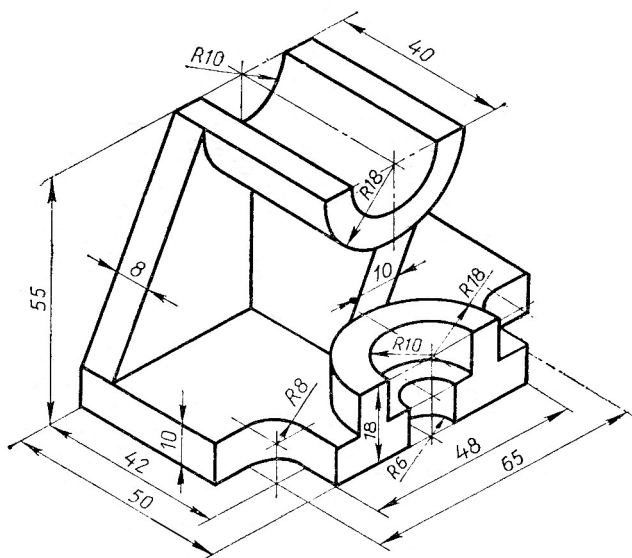
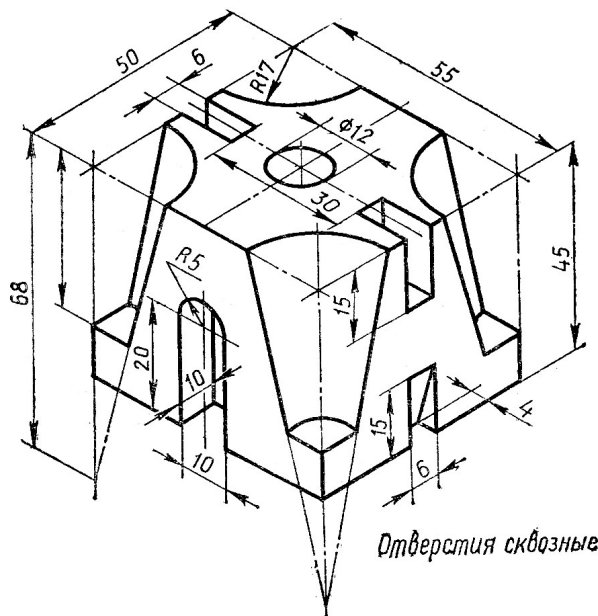


Варіант 28

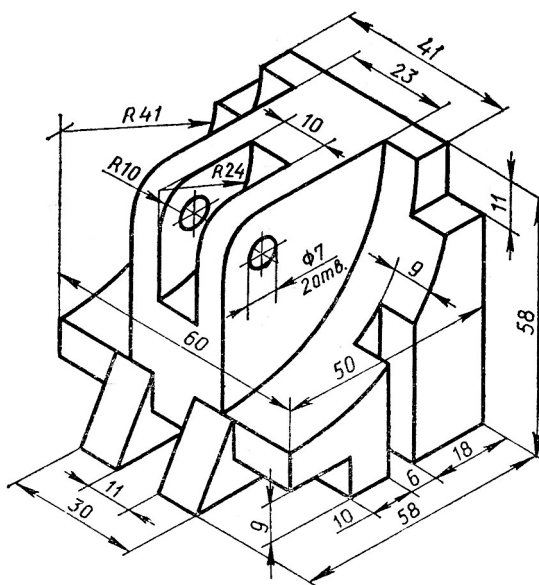


Варіант 29

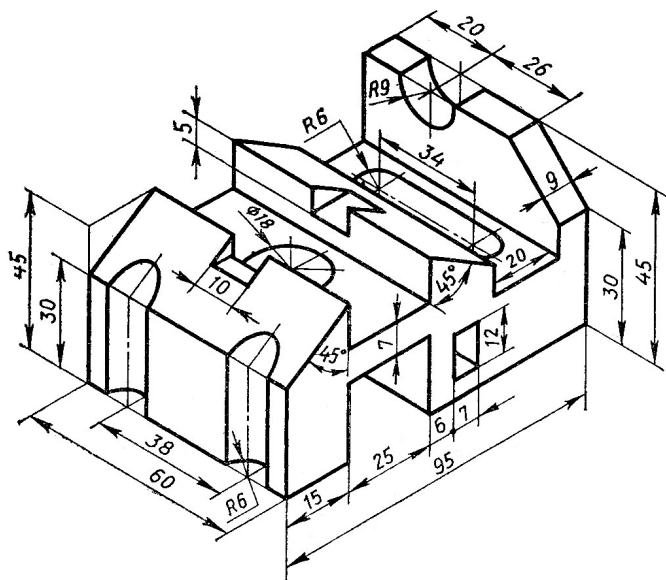


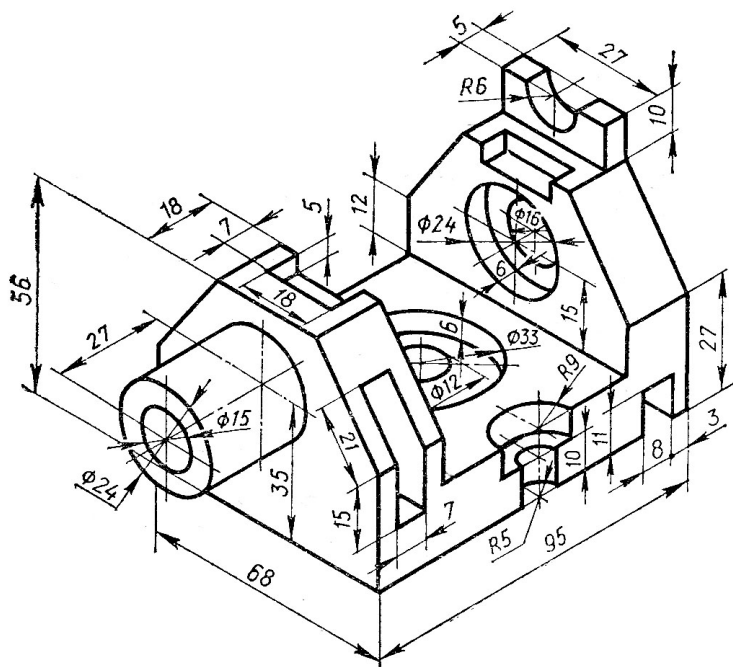
Вариант 30**Вариант 31**

Варіант 32

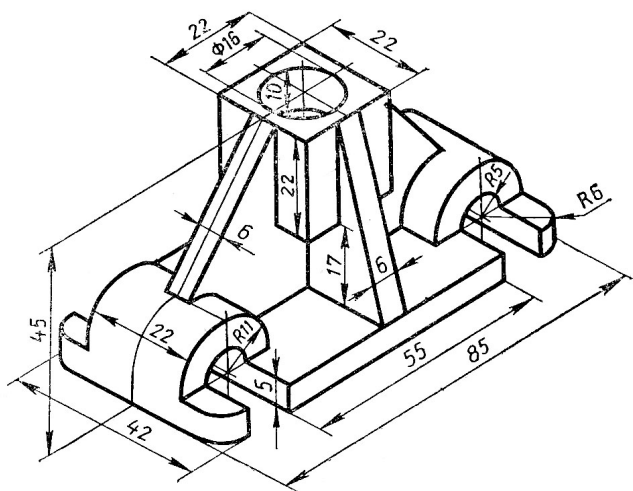


Варіант 33





Варіант 35



РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Основна

1. Дударева Н. Ю., Загайко С. А. Самоучитель SolidWorks 2010. СПб. : БХВ-Петербург, 2011. 416 с.

Додаткова

2. Потемкин А. Е. Трехмерное твердотельное моделирование. М. : КомпьютерПресс, 2002. 296 с.
3. Потемкин А. Е. Инженерная графика. Просто и доступно. М. : Лори, 2000. 285 с.
4. Практикум по черчению (Геометрическое и проекционное черчение). Учебн. пособие для студентов пед. ин-тов по спец. № 2109 "Черчение, рисование и труд" / под ред. Е. А. Василенко. М. : Просвещение, 1982. 175 с.
5. Федоренко В. А., Шошин А. И. Справочник по машиностроительному черчению. Л. : Машиностроение, 1981. 365 с.
6. Брилинг Н. С., Балягин С. Н. Черчение: Справочное пособие. М. : Стройиздат, 1994. 300 с.
7. Карточки задания по черчению для 8-го класса. М. : Просвещение, 1990. 120 с.
8. Левицкий В. С. Машиностроительное черчение. М. : Высш. шк., 1988. 220 с.
9. Машиностроительное черчение с элементами конструирования / под ред. И. А. Ройтмана. Минск : Вышейшая школа, 1977. 216 с.
10. Справочное руководство по черчению. М. : Машиностроение, 1989. 285 с.

Інформаційні ресурси

11. Описание САПР. URL: <http://seniga.ru/sapr.html> (дата звернення: 10.12.2018)
12. АСКОН - комплексные решения для автоматизации инженерной деятельности и управления производством. CAD/AEC/PLM. URL: <https://ascon.ru/products/7/review/>. (дата звернення: 23.09.2018)
13. Система NX (колишня назва - Unigraphics) компанії Siemens. URL: <https://www.plm.automation.siemens.com/global/ru/products/nx/>. (да-

та звернення: 23.09.2018)

14. Система CATIA. URL: <https://www.3ds.com/products-services/catia/>. (дата звернення: 23.09.2018)
15. Система SolidWorks. URL: <https://www.solidworks.com>. (дата звернення: 23.09.2018)
16. Welcom to ANSYS, Inc. – Corporate Homepage. URL: <https://www.ansys.com>. (дата звернення: 23.09.2018)
17. Система PTC Creo Elements/Pro (колишня назва Pro/ENGINEER) компанії PTC (Parametric Technology Corporation). URL: <https://www.ptc.com/en/industries/automotive>. (дата звернення: 23.09.2018)
18. Система T-FLEX. URL: <http://www.tflex.ru/>. (дата звернення: 23.09.2018)
19. Система Autodesk Inventor. URL: <https://www.autodesk.com/products/inventor/overview>. (дата звернення: 23.09.2018)
20. Система AutoCAD URL: <https://www.autodesk.com/products/autocad/overview>. (дата звернення: 23.09.2018)
21. Система Solidedge компанії Siemens. URL: <https://solidedge.siemens.com/ru/>. (дата звернення: 23.09.2018)