

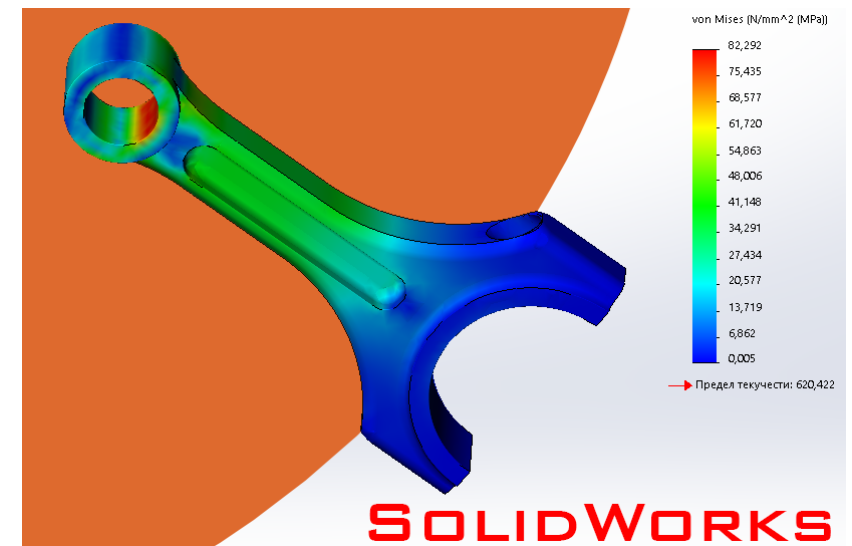
Посібник знайомить із програмним продуктом SolidWorks компанії Dassault Systèmes із додатком SolidWorks Simulation щодо аналізу і оптимізації конструктивних рішень. Дані програмні рішення розглянуто в розрізі сучасних тенденцій інжинірингу. Багато уваги приділено власне самому інжинірингу і його смислового наповненню. Посібник підготовлено в рамках проекту програми Європейської Комісії Еразмус + «Створення мережевої інфраструктури для підтримки інноваційного підприємництва молоді на платформах Фаблаб» 561536-EPP-1-2015-1-UK-EPPKA2-SVNE-JP

Друк навчальних матеріалів здійснено за кошти проекту «Створення мережевої інфраструктури для підтримки інноваційного підприємництва молоді на платформах фаблаб» 561536-EPP-1-2015-1-UK-EPPKA2-SVNE-JP



Ворощук В.Я., Вітенько Т.М.

SOLIDWORKS У ЗАВДАННЯХ 3D МОДЕЛЮВАННЯ ТА ІНЖИНІРИНГУ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ



2021

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Тернопільський національний технічний університет
імені Івана Пулюя

**Solidworks у завданнях 3D
моделювання та інжинірингу
технічних систем**

**Solidworks in 3D modeling and technical
systems engineering tasks**

**Навчальні матеріали розроблено в рамках виконання
проекту програми Європейської Комісії Еразмус +
«Створення мережевої інфраструктури для підтримки
інноваційного підприємництва молоді на платформах
Фаблаб»**

561536-EPP-1-2015-1-UK-EPPKA2-SBHE-JP

Тернопіль, 2021

УДК 681.3.063+658.51+62-1

Проект фінансується за підтримки Європейської Комісії. Ці матеріали відображають винятково погляди її авторів. Європейська Комісія не відповідає за будь-яке використання матеріалів, що містяться в цьому виданні.

The European Commission support for the production of this publication does not constitute an endorsement of the contents which reflects the views only of the authors, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.

Посібник знайомить із програмним продуктом SolidWorks компанії Dassault Systèmes із додатком SolidWorks Simulation щодо аналізу і оптимізації конструктивних рішень. Дані програмні рішення розглянуто в розрізі сучасних тенденцій інжинірингу. Багато уваги приділено власне самому інжинірингу і його смислового наповненню. Посібник підготовлено в рамках проекту програми Європейської Комісії Еразмус + «Створення мережевої інфраструктури для підтримки інноваційного підприємництва молоді на платформах Фаблаб» 561536-EPP-1-2015-1-UK-EPPKA2-SBHE-JP

Solidworks у завданнях 3D моделювання та інжинірингу технічних систем. Навч. посібник / В.Я. Ворощук, Т.М. Вітенько. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2021. 164 с.

*Друк навчальних матеріалів здійснено за кошти проекту «Створення мережевої інфраструктури для підтримки інноваційного підприємництва молоді на платформах Фаблаб»
561536-EPP-1-2015-1-UK-EPPKA2-SBHE-JP*

© В.Я. Ворощук, Т.М.Вітенько, 2021

Зміст

Зміст.....	3
Лекція 1. Основні поняття, структура документа в програмі SolidWorks.....	7
Загальні відомості про програму SolidWorks.....	7
Вікна документів.....	7
Умовні позначення.....	8
Панелі інструментів.....	10
Прийняття створюваних елементів.....	13
Лекція 2. Основні принципи роботи в програмі SolidWorks. Дерево конструювання, відкриття існуючих документів і створення нових...	15
Дерево конструювання FeatureManager.....	15
Створення нових документів і використання шаблонів.....	20
Відкриття існуючих документів.....	21
Лекція 3. Інструменти SolidWorks.....	22
Налаштування команд.....	22
Початок роботи з ескізом.....	24
Рівень складності ескізів.....	26
Інструменти для роботи з ескізами.....	27
Лекція 4. Робота з ескізами в SolidWorks.....	33
Основні відомості про роботу з ескізами у SolidWorks. Рядок стану.....	33
Умовні позначення для стану ескізу.....	34
Взаємозв'язки.....	38

Побудова нового двомірного ескізу	44
Контекстні меню	44
Вирізання, копіювання і вставка в ескізах	46
Копіювання і вставка цілих ескізів	46
Редагування ескізу	47
Лекція 5. Інструменти SolidWorks.....	49
Інструменти SolidWorks для роботи з 3D елементами	49
Інструмент «Вытянутая бобышка/основание»	49
Інструмент «Вытянутый вырез»	54
Граничні умови.....	56
Інструмент «Линейный массив»	57
Інструмент «Круговой массив»	63
Інструмент «Зеркальное отражение элемента»	65
Лекція 6. Зборка в SolidWorks	66
Загальні відомості про зборку	66
Панель інструментів «Зборка»	71
Редагування деталей у зборках.....	73
Спряження у зборках	75
Переміщення і обертання компонента.....	77
Лекція 7. Інжиніринг і його місце у науково-технічному прогресі ...	78
Поняття інжинірингу	78
Предметна область інжинірингу	79
Структура інжинірингу	86
Історія інжинірингу та його розвиток.....	89

Види інженерно-технічних послуг.....	91
Лекція 8. Особливості сучасного інжинірингу в світовій практиці	92
Інжинірингова діяльність сьогодні, сучасний інжиніринг	92
Взаємозв'язок інжинірингу, проектування, управління проектами при вирішенні практичних завдань.....	95
Міжнародний інжиніринг.....	97
Інжинірингові фірми.....	98
Особливості функціонування інжинірингових фірм. Системність і комплексність виробничих процесів інжинірингових фірм.....	100
Лекція 9. Інжинірингові проекти та забезпечення якості продукції.	102
Інжиніринг та якість продукції.....	102
Система забезпечення якості	104
Узагальнені показники якості.....	107
Стандартизація та якість	112
Лекція 10. Автоматизація та комп'ютерний інжиніринг	115
Автоматизація виробництва та інжиніринг.....	115
Головні тенденції та підходи сучасного комп'ютерного інжинірингу.....	116
Концепція моделювання інженерних об'єктів	122
Програмне забезпечення для математичних розрахунків	126
Програмне забезпечення для графо-математичних задач	128
Лекція 11. Проектування. Параметрична оптимізація конструкції	138
Особливості реалізації проектних робіт	138
Оптимізація конструкцій. Загальні поняття. Основні визначення	140

Оптимізація форми конструкції	141
Послідовність дослідження проектування з оптимізацією	143
Властивості дослідження проектування з оптимізацією	145
Запуск команди «Исследования оптимизации».....	147
Перевірка остаточних результатів.....	147
Запуск команди «Оптимизационное исследование».....	148
Лекція 12. Топологічна оптимізація.....	150
Особливості виконання топологічної оптимізації.....	150
Послідовність виконання топологічної оптимізації при проектуванні полегшених деталей.....	151
Глоссарій.....	160
Використана література.....	163

Лекція 1. Основні поняття, структура документа в програмі SolidWorks.

Загальні відомості про програму SolidWorks.

SolidWorks - це система автоматизованого проектування, що використовує знайомий користувачеві графічний інтерфейс Microsoft Windows. SolidWorks дозволяє інженерам-проектувальникам швидко відображати свої ідеї в ескізі, експериментувати з елементами і розмірами, а також створювати моделі і докладні креслення.

- Модель SolidWorks складається з деталей, зборок і креслень.
- Зазвичай спочатку малюється ескіз, створюється основа, а потім в модель додаються численні елементи. (Можна також почати з імпортованої поверхні або геометрії твердого тіла.)
- Можна скільки завгодно вдосконалювати креслення, додаючи, змінюючи елементи і їх порядок.
- Зв'язок між деталями, зборками та кресленнями гарантує, що зміни, зроблені в одному виді, автоматично виконуються у всіх інших видах.
- Креслення або зборки можна створювати на будь-якому етапі в процесі проектування.
- Додаток SolidWorks дозволяє створювати власну настройку функцій, що відповідає конкретним вимогам.

Вікна документів

У додатку SolidWorks кожна деталь, зборка або креслення називається документом, а кожен документ відображається в окремому вікні. (Кожен документ креслення може містити кілька аркушів креслень.)

На екрані може бути відкрито одночасно кілька вікон документів деталі, зборки і креслення. Можна також одночасно відобразити на екрані кілька видів одного документа. Можна скільки завгодно вдосконалювати креслення, додаючи, змінюючи елементи і їх порядок.

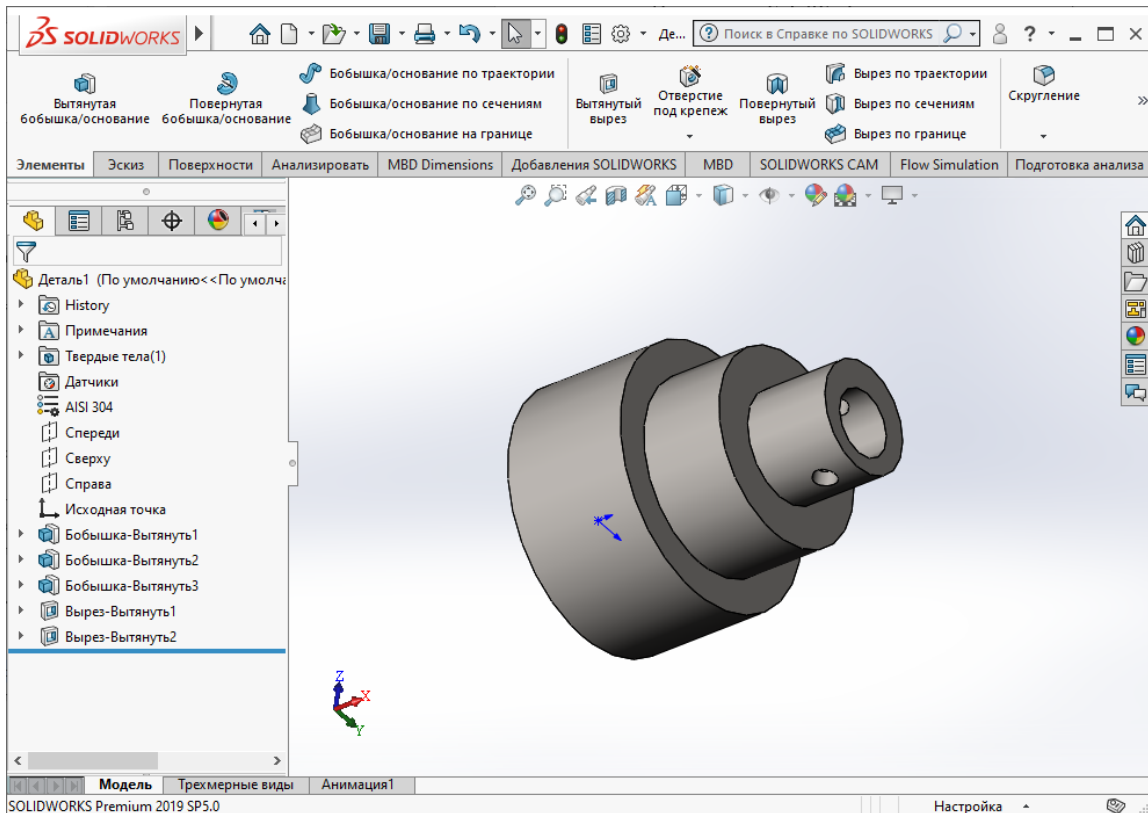


Рисунок 1.

Давайте розглянемо основні елементи вікна програми SolidWorks. Вони представлені на рисунку. Якщо затримати курсор мишки над цікавлячим елементом, спливе підказка, що роз'яснює його значення.

Умовні позначення.

Умовні позначення - це заповнені текстом вікна, які з'являються в графічній області, коли використовуються певні інструменти. Умовні позначення допомагають легко визначити різні елементи. Наприклад, ці

умовні позначення показують профіль і напрям елемента по траєкторії. Можна перетягнути ці умовні позначення (натиснути лівою кнопкою миші на прямокутники і перетягнути), щоб змінити їх розташування, але неможливо використовувати їх для зміни будь-яких властивостей об'єкта, до якого вони належать.

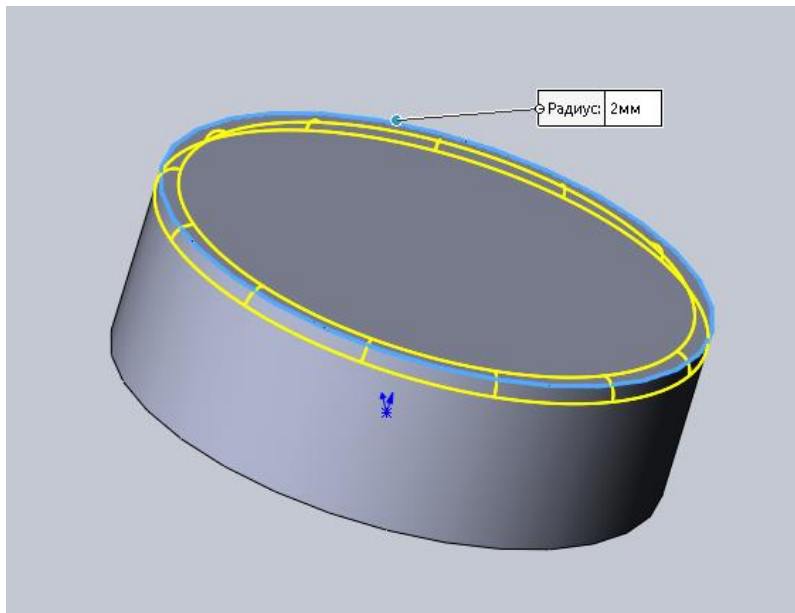


Рисунок 2.

Деякі умовні позначення, наприклад, умовні позначення, які використовуються для витяжок, містять цифри, які можна редагувати для управління розмірами об'єкта. Редагування цифр здійснюється у вікні PropertyManager (Менеджер свойств). Умовне позначення і попереднє зображення при цьому оновлюються, відображаючи нові цифри.

Маркери дозволяють динамічно вибирати, переміщати і задавати деякі параметри, не полишаючи графічної області. Колір маркера встановлюється в меню Інструменти, Параметри, Налаштування користувача, Цвет, в полі Цвета системы. Активні маркери відображаються кольором виділення. Неактивні маркери відображаються кольором Неактивных элементов. Перетягніть маркери, щоб змінити

розмір витягування. Один маркер має односторонню стрілку, а інший маркер має двосторонню стрілку, що дозволяє відстежувати, для якого напрямку застосовується маркер.

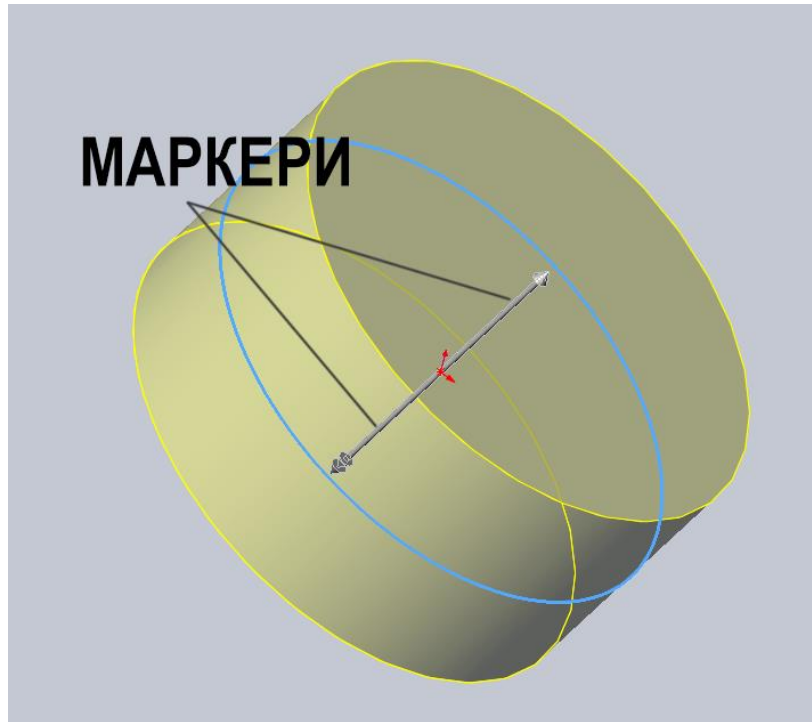


Рисунок 3.

Панелі інструментів.

Кнопки панелі інструментів дають можливість швидкого доступу до часто використовуваних команд. Можна розмістити панелі інструментів так, як це буде зручно.

Для того щоб відобразити або приховати окремі панелі інструментів:

1. Виберіть Вид, Панели инструментов або правою кнопкою миші натисніть на рамку вікна SolidWorks.

2. З'явиться перелік всіх панелей інструментів. Панелі інструментів, відмічені галочкою, видні на екрані; а ті, які не зазначені, - приховані.

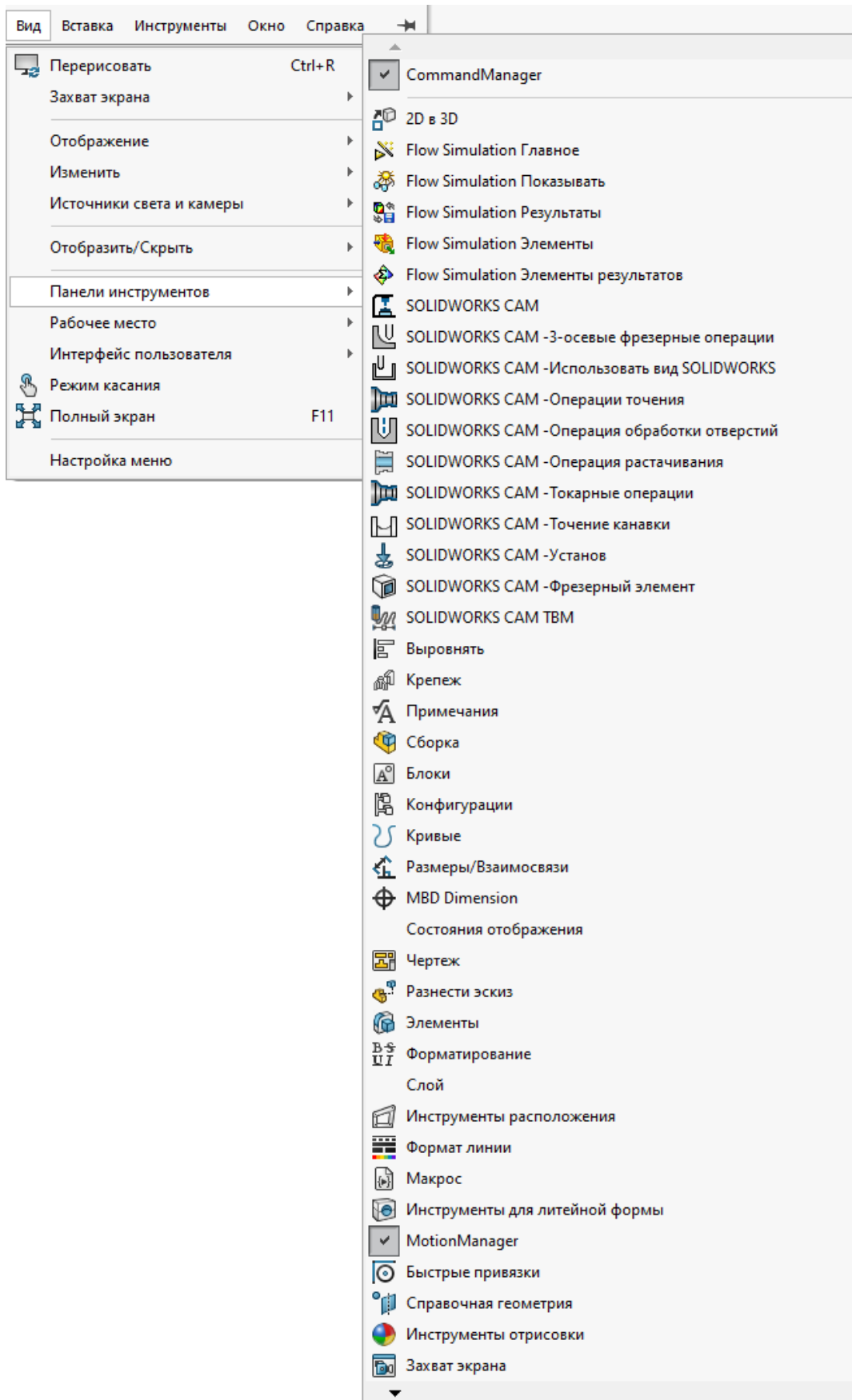


Рисунок 4.

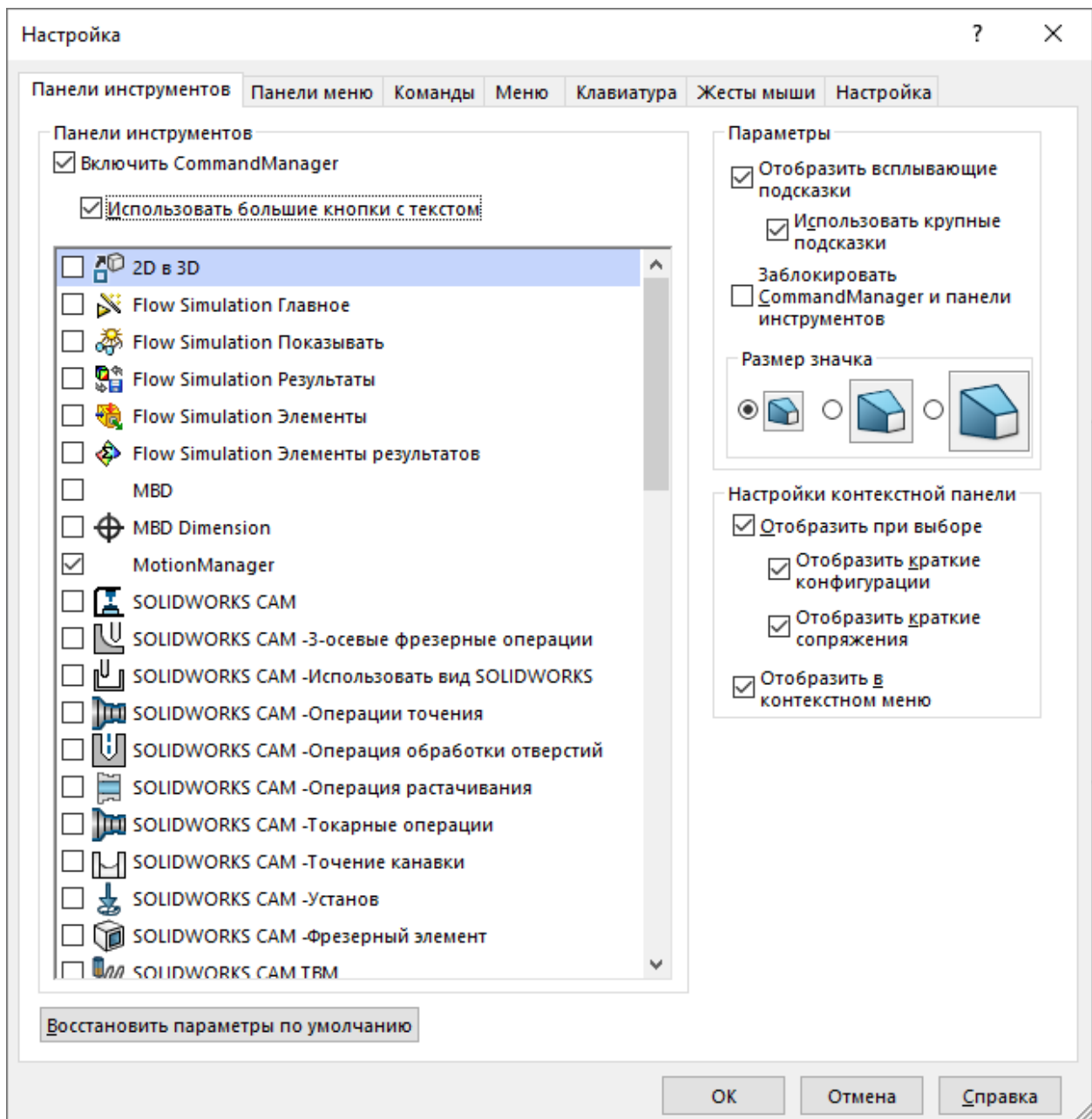


Рисунок 5.

Натисніть на ім'я панелі інструментів, щоб включити або відключити її відображення або:

1. Виберіть Інструменти, Настройка. Список всіх панелей інструментів відображається на вкладці Панели инструментов або в діалоговому вікні Настройка.

2. Виберіть панелі інструментів, які Ви хочете відобразити; відмініть вибір панелей інструментів, які Ви не хочете відобразити.

Можна також вибрати такі параметри:

- змінити розмір кнопок панелі інструментів
- приховати або відобразити підказки
- вибрати автоматичне активізацію панелей інструментів.

Прийняття створюваних елементів

Існує кілька удосконалених способів прийняття створюваних елементів. Після створення попереднього зображення елемента можна виконати наступне:

1. Натиснути праву кнопку миші і вибрати ОК або Отмена в контекстному меню.

2. Натиснути праву кнопку миші, коли форма вказівника зміниться на, щоб прийняти попереднє зображення, або натиснути ліву кнопку миші, щоб повернутися до попереднього зображення, не беручи значення.

Кут підтвердження



Рисунок 6.

Інший спосіб прийняти елементи - використовувати Кут підтвердження. Можна виконувати наступні операції: Натиснути значок ОК або Отмена, які з'являються в Куті підтвердження графічної області системи SolidWorks.

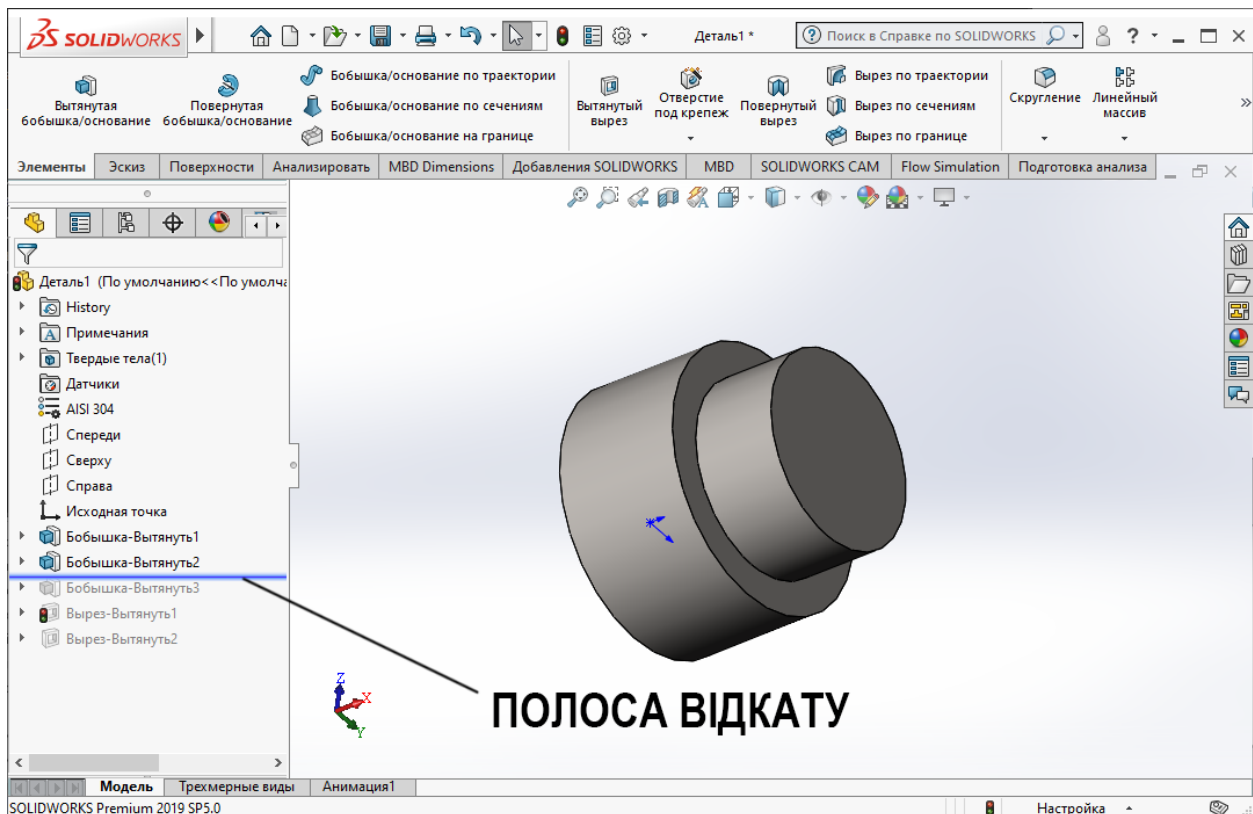


Рисунок 7.

Тимчасове повернення моделі в попередній стан з погашенням недавно доданих елементів.

Коли модель в стані відкату, можна додавати нові елементи або редагувати існуючі елементи. Можна повернути модель в попередній стан за допомогою смуги відкату в дереві конструювання **FeatureManager**. Смуга відкату - це широка лінія кольору морської хвилі; при виборі колір смуги змінюється на блакитний. Щоб виконати регенерацію елементів окремо, перетягніть смугу відкату вниз або вгору дерева конструювання **FeatureManager**.

Лекція 2. Основні принципи роботи в програмі SolidWorks. Дерево конструювання, відкриття існуючих документів і створення нових

Дерево конструювання FeatureManager

У дереві конструювання FeatureManager в лівій частині вікна SolidWorks відображається контурний вид активної деталі, зборки або креслення. Ви можете легко побачити побудову моделі або зборки або переглянути різні листи і види креслення. Знак «+» зліва від значка елемента вказує на те, що він містить пов'язані з ним елементи, наприклад ескізи. Натисніть на знак «+» для розгортання елемента і відображення його вмісту.

Щоб детально ознайомитися зі складовими дерева конструювання потримаєте мишку над різними областями рисунка і прочитайте спливаючі підказки.

Дерево конструювання FeatureManager і вікно графічної області динамічно пов'язані. Можна вибирати елементи, ескізи, креслярські види і допоміжну геометрію в будь-якій частині вікна.

Існує кілька способів вибору безпосередньо в дереві конструювання FeatureManager:

- Можна вибирати елементи, ескізи, площини і осі в моделі, просто натискаючи на їхні імена в дереві конструювання FeatureManager.
- Можна вибрати кілька послідовних елементів в дереві конструювання FeatureManager, натиснувши клавішу Shift і утримуючи її під час вибору. Натисніть на перший елемент, натисніть клавішу Shift і, утримуючи її, натисніть на останній елемент.
- Можна вибрати кілька елементів в графічній області або вибрати непослідовні елементи в дереві конструювання FeatureManager, натиснувши клавішу Ctrl і утримуючи її під час вибору.

Дерево конструювання FeatureManager також полегшує визначення та зміна послідовності, в якій створюються елементи. Переупорядкувати елементи можна шляхом їх перетягування в списку дерева конструювання FeatureManager. При цьому змінюється порядок відновлення елементів при перестроюванні деталі. Можна відобразити розміри елемента, якщо двічі натиснути на ім'я елемента. Можна погасити і висвітлити елементи деталі і компоненти зборки. Тимчасовий повернення моделі або зборки в попередній стан за допомогою смуги відкоту. Можна додавати та редагувати джерела світла в папці освітлення тощо

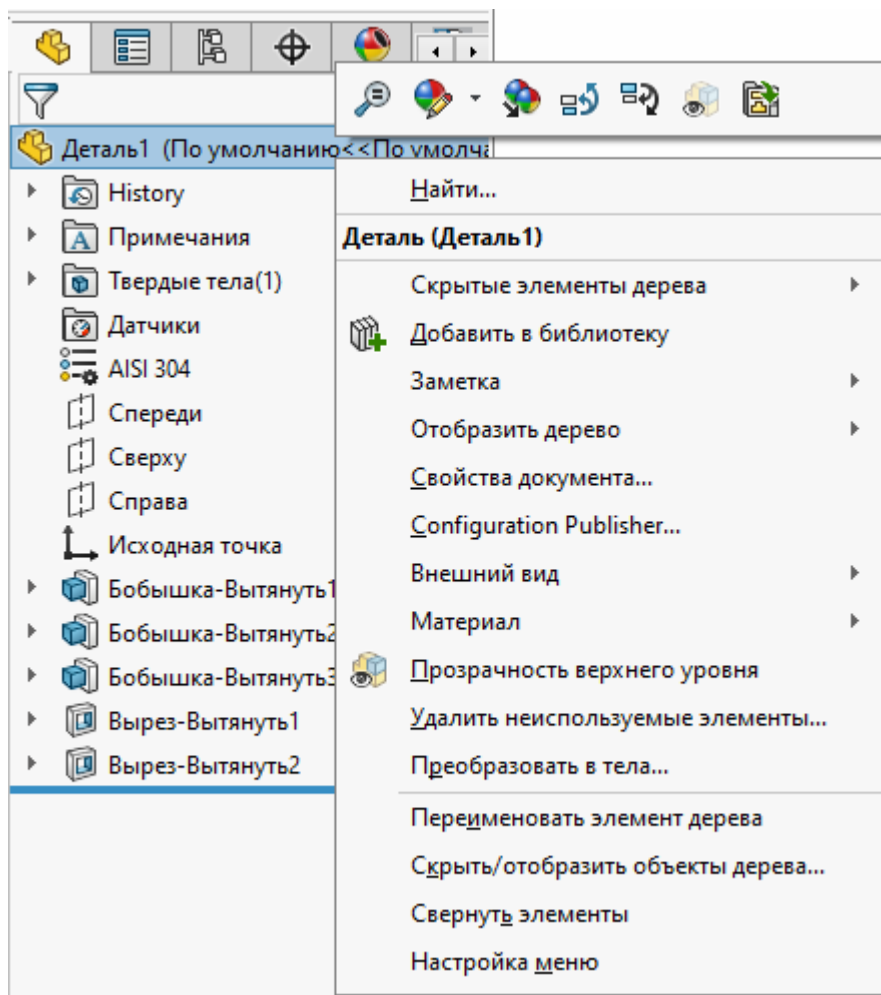


Рисунок 8.

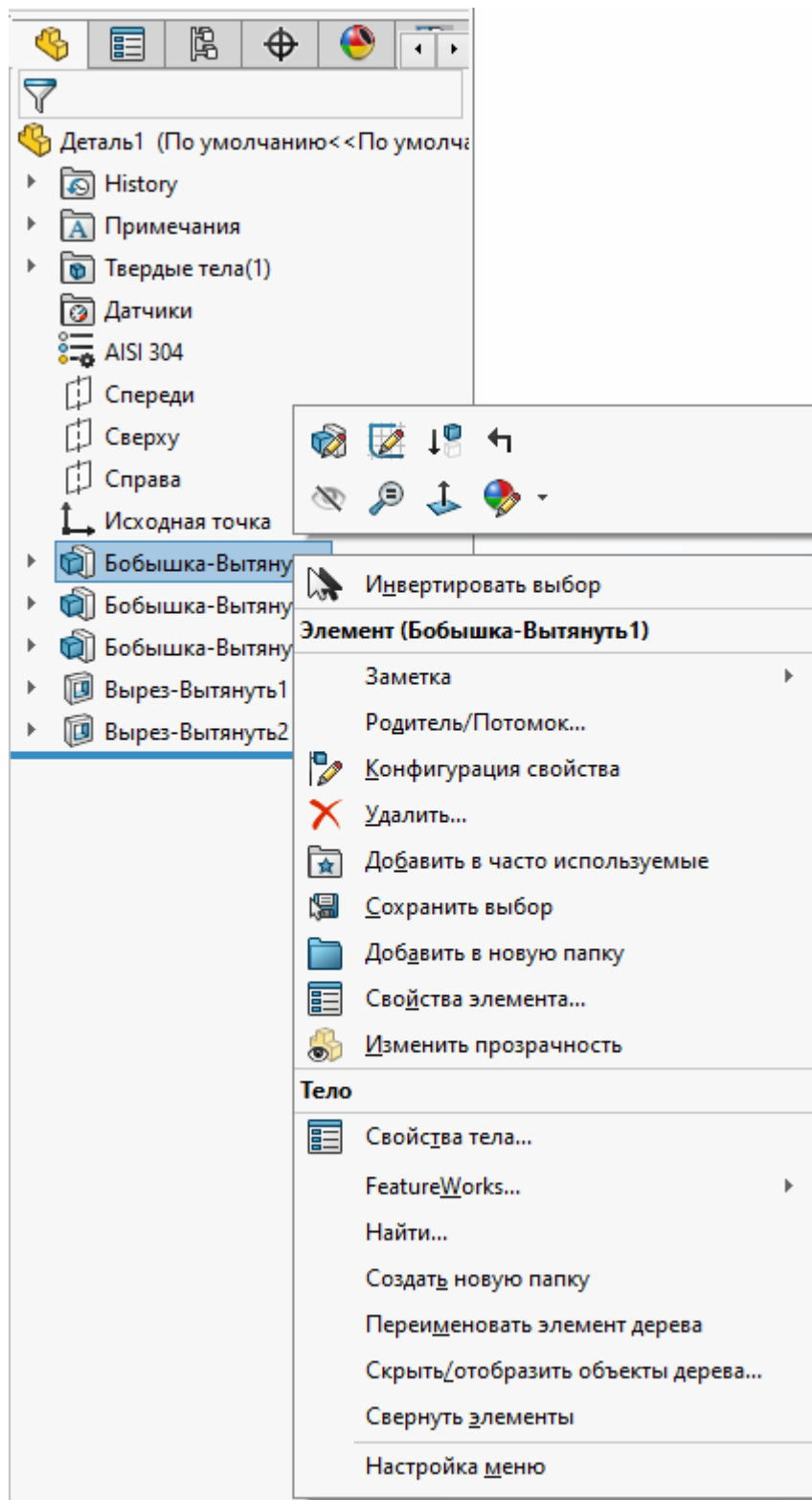


Рисунок 9.

При натисканні правою кнопкою миші по зображенню деталі в верху дерева конструювання з'являється контекстне меню, що дозволяє викликати

меню пошуку в дереві конструювання (корисно для швидкого пошуку елемента в великому дереві, за умови відомого назви), меню властивостей документа, меню доступу до редагування розміру елемента, відкриття креслення. Якщо натиснути правою кнопкою миші на назві елемента в дереві конструювання відкриється дещо інше контекстне меню.

Розберемо два пункти:

Скрыть твердое тело - дозволяє додати тілу прозорість (невидимість), доцільно при складній збірці. Можна вибирати поверхні або тіла як в графічній частині вікна, так і в дереві конструювання. Менш радикальний варіант невидимості - погасити елемент, на моделі гаситься той елемент, який ми обрали.

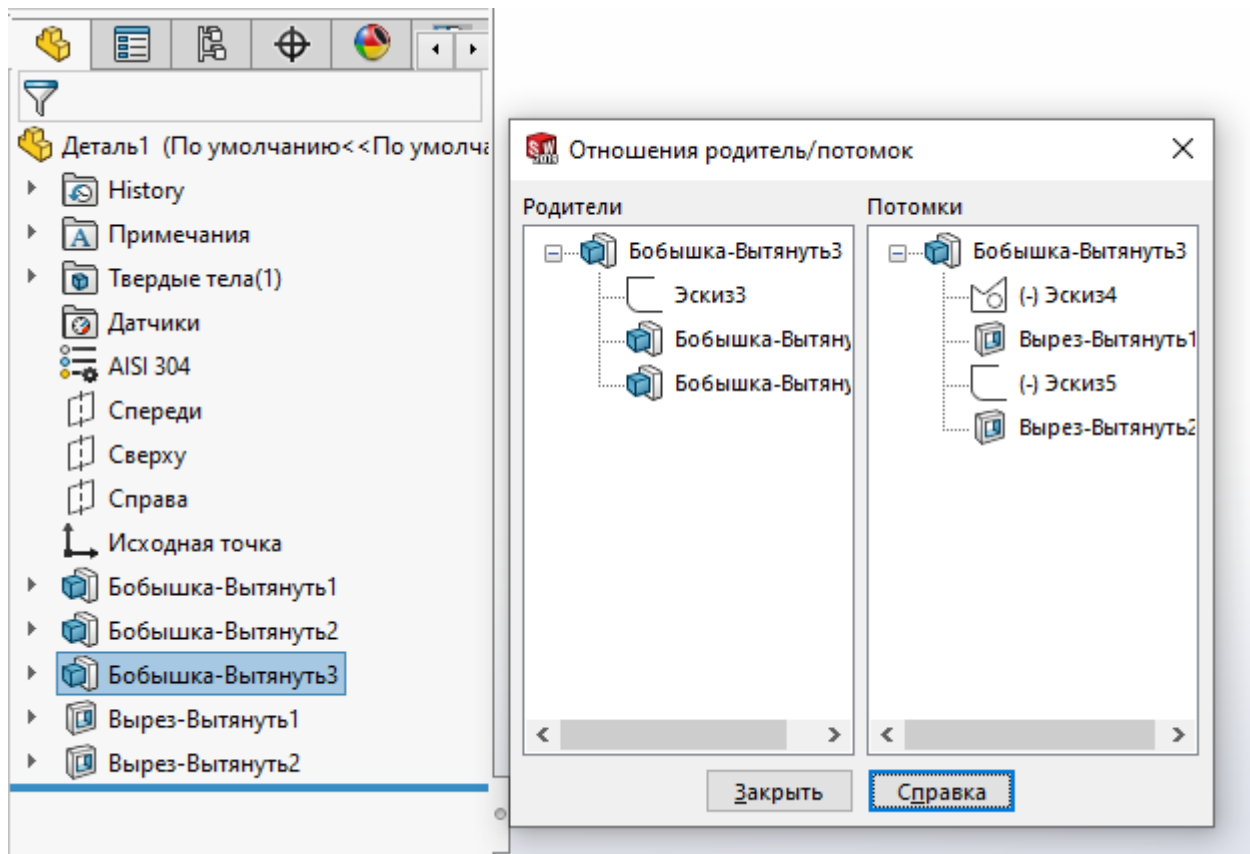


Рисунок 10.

Родитель/потомок. Часто элементы базируются на інших элементах. Например, спочатку створюється елемент **ОСНОВАНИЕ-ВЫТЯНУТЬ**, а потім

створюються додаткові елементи як бобышка або виріз-вытянуть. Основание- це батьківський елемент; бобышка або виріз-вытянуть - це дочірній елемент. Дочірній елемент залежить від батьківського елемента.

Менеджер свойств. Замість окремих діалогових вікон функції використовують PropertyManager, завдяки чому графічне зображення не перекривається додатковими діалоговими вікнами.

Для більш детального знайомства з елементами Менеджера властивостей, затримайте мишку над областю рисунка і прочитайте підказку.

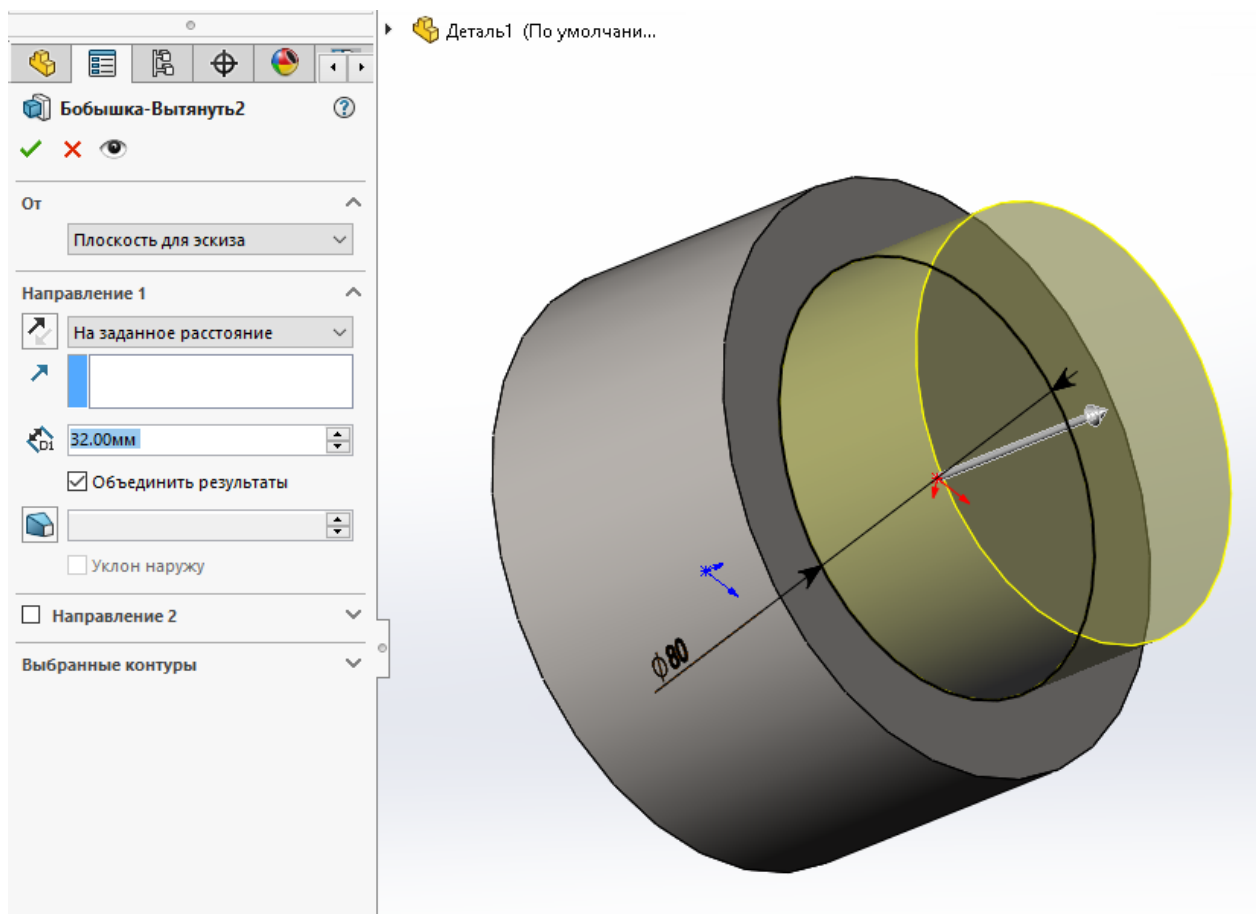


Рисунок 11.

Під час відображення вікна PropertyManager (Менеджер свойств), існує кілька способів введення значень і прийняття команд. Вони ретельно

описані в наступному прикладі. Для введення значень і прийняття команд: ввести числове значення у вікні групи і натиснути **Enter** або кнопку **OK**. У вікні **PropertyManager (Менеджера свойств)** можна натиснути правою кнопкою миші на елементи в списку і видалити їх.

Під час відображення вікно **PropertyManager (Менеджер свойств)**, існує кілька способів введення значень і прийняття команд. Вони докладно описані в наступному прикладі. Для введення значень і прийняття команд: ввести числове значення у вікні групи і натиснути **Enter** або кнопку **OK**. У вікні **PropertyManager (Менеджера свойств)** можна натиснути правою кнопкою миші на елементи в списку і видалити їх.

Створення нових документів і використання шаблонів.

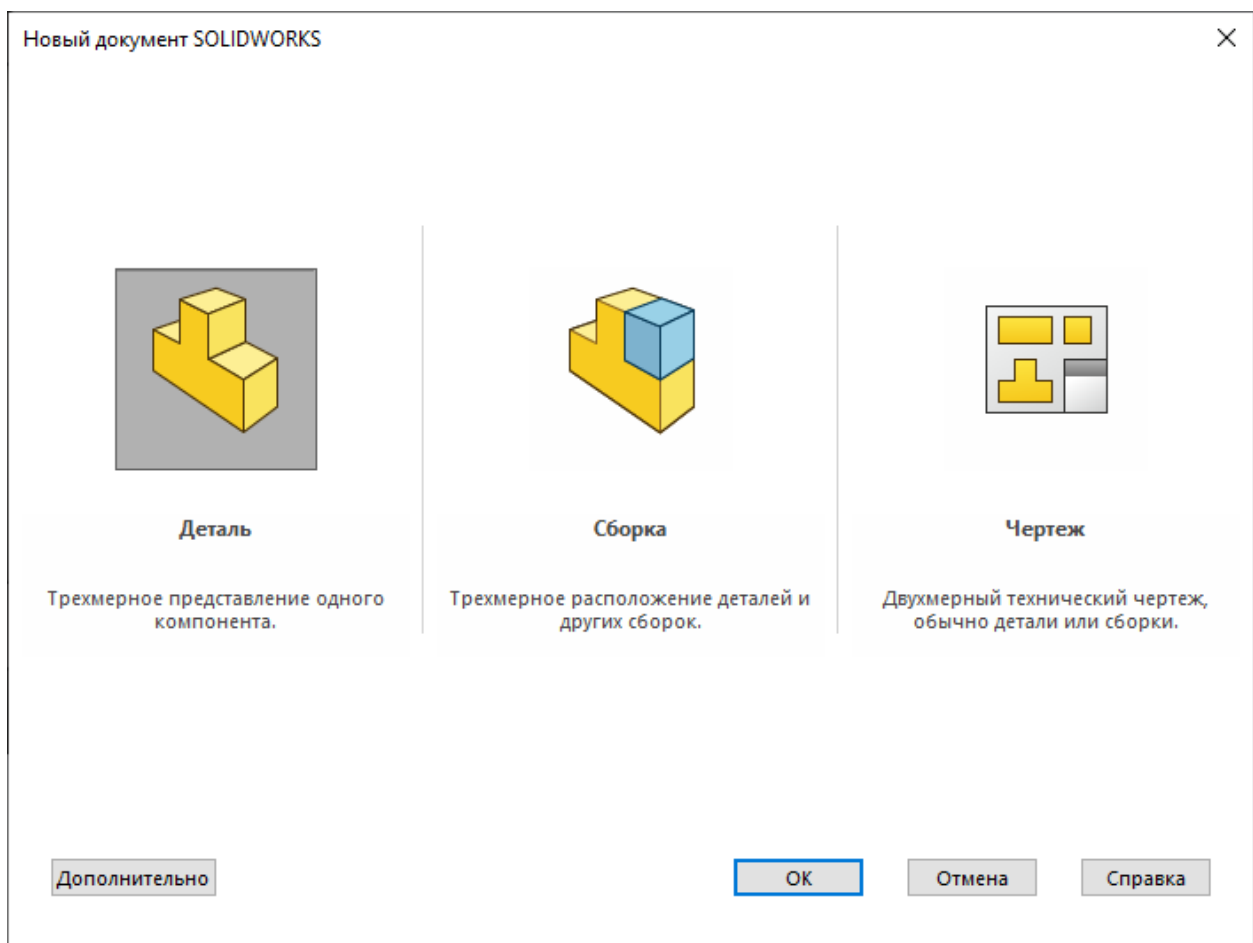


Рисунок 12.

Створюється новий документ. Нові документи використовують шаблони в якості основи. Шаблони містять параметри користувача, такі як одиниці виміру або стандарти по оформленню креслень. Шаблони дозволяють створювати будь-яку необхідну кількість документів для деталей, креслень або збірок. Шаблон може бути деталлю, кресленням або збіркою, збереженими як шаблони.

Відкриття існуючих документів.

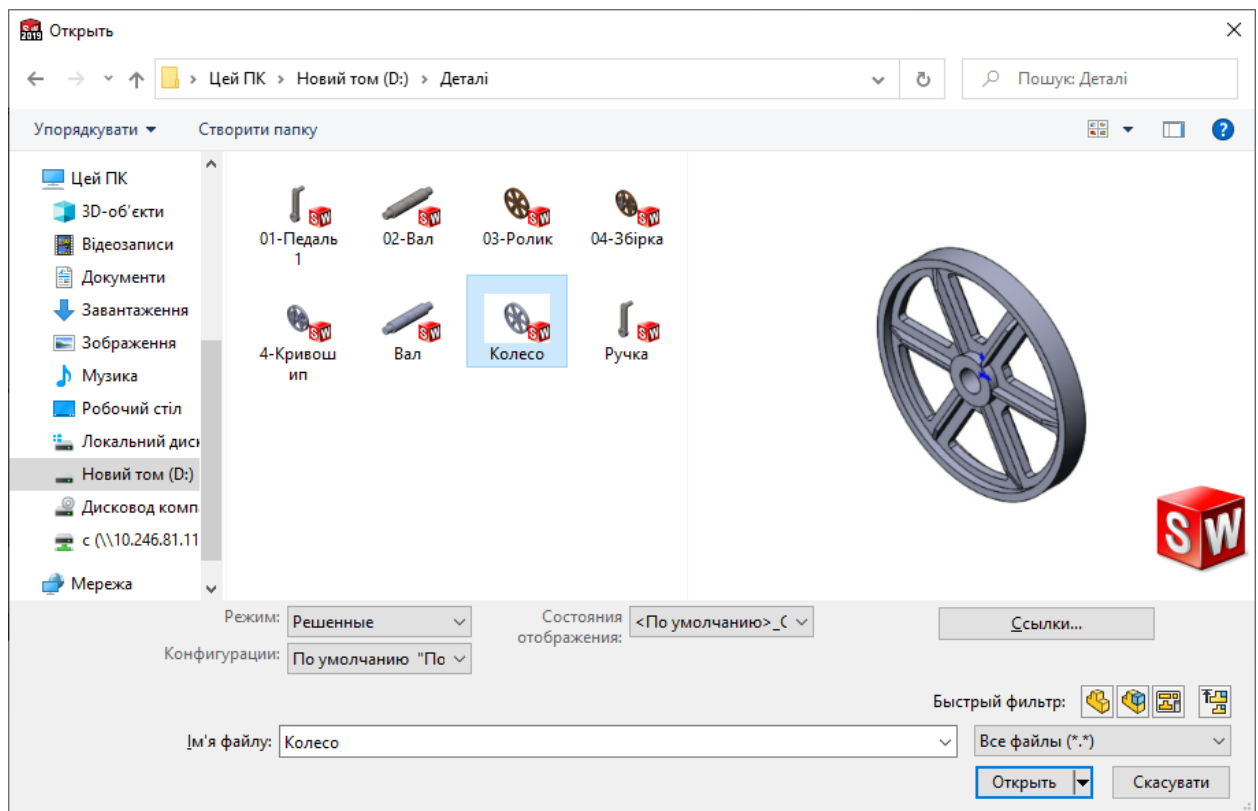


Рисунок 13.

Для створення нового документа SolidWorks:

1. Натисніть кнопку **Создать** на панелі інструментів «Стандартная» або виберіть **Файл, Создать** або натисніть **Создать документ** в діалоговому вікні **Новый документ SolidWorks**.

2. Виберіть значок шаблону в одній з вкладок в діалоговому вікні Создать документ SolidWorks. В полі Предварительный просмотр з'явиться попередній вигляд шаблону.

3. Натисніть ОК, щоб відкрити новий документ SolidWorks, використовуючи вибраний шаблон.

Для того щоб відкрити існуючий документ деталі, креслення або зборки:

1. Натисніть кнопку Открыть на панелі інструментів «Стандартная» або виберіть Файл, Открыть, або натисніть Ctrl + O.

2. У діалоговому вікні Відкрити знайдіть документ деталі, креслення або зборки або файл з іншої програми.

3. Щоб подивитися деталь, креслення або складання, не відкриваючи документ, виберіть Быстрый просмотр.

4. Для відкриття окремої конфігурації деталі або зборки виберіть Конфигурация.

Якщо відкрито кілька документів SolidWorks, можна натиснути Ctrl + Tab для перемикання між ними.

Лекція 3. Інструменти SolidWorks

Налаштування команд

Додавання і видалення командних кнопок для настройки панелі інструментів. Можна:

- перенести кнопки з однієї панелі інструментів на іншу
- зробити копії кнопок і розмістити їх на кількох панелях інструментів
- видалити ті кнопки, які ніколи не будуть використовуватися
- перегрупувати командні кнопки на панелях інструментів

Для настройки команд на панелі інструментів:

- Виберіть Інструменти, Налаштування.

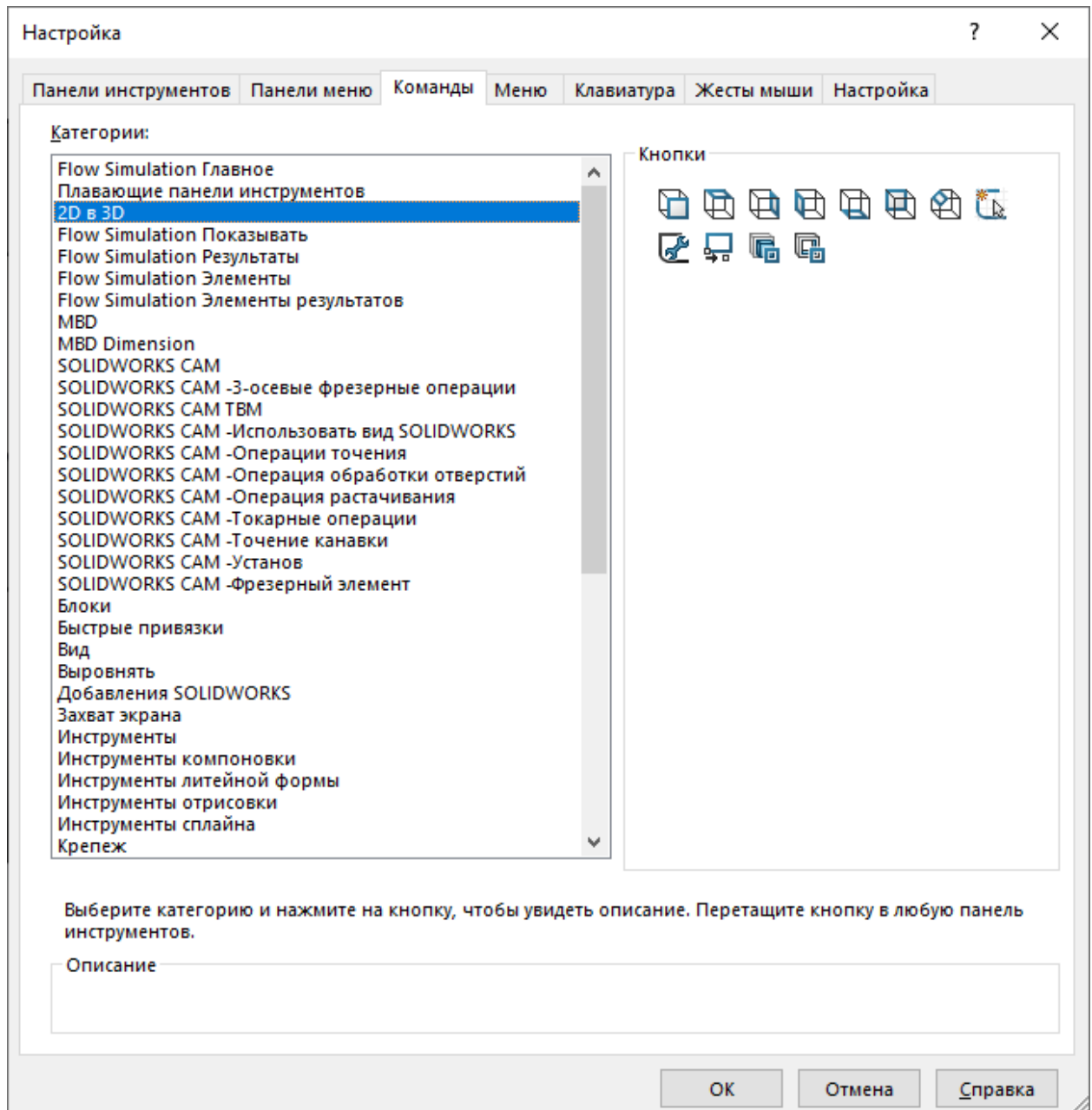


Рисунок 14.

Варто зауважити, що для налаштування команд на панелі інструментів документ SolidWorks повинен бути активним.

- Натисніть на вкладку Команды.
- Перегляньте список панелей інструментів в поле Категории і виберіть панелі інструментів, який Ви хочете змінити.

- Натисніть на кнопку команди, щоб побачити опис її функції в поле **Описание**.

- Натисніть на кнопку і перетягніть її з діалогового вікна в інше місце на панелі інструментів або в іншу панель інструментів.

- Для видалення кнопки з панелі інструментів, натисніть на кнопку і перетягніть її з панелі інструментів в графічну область.

- Щоб перегрупувати командні кнопки на панелях інструментів, перенесіть кнопки з однієї панелі інструментів на іншу.

Внесіть виправлення і виберіть **ОК**.

Початок роботи з ескізом

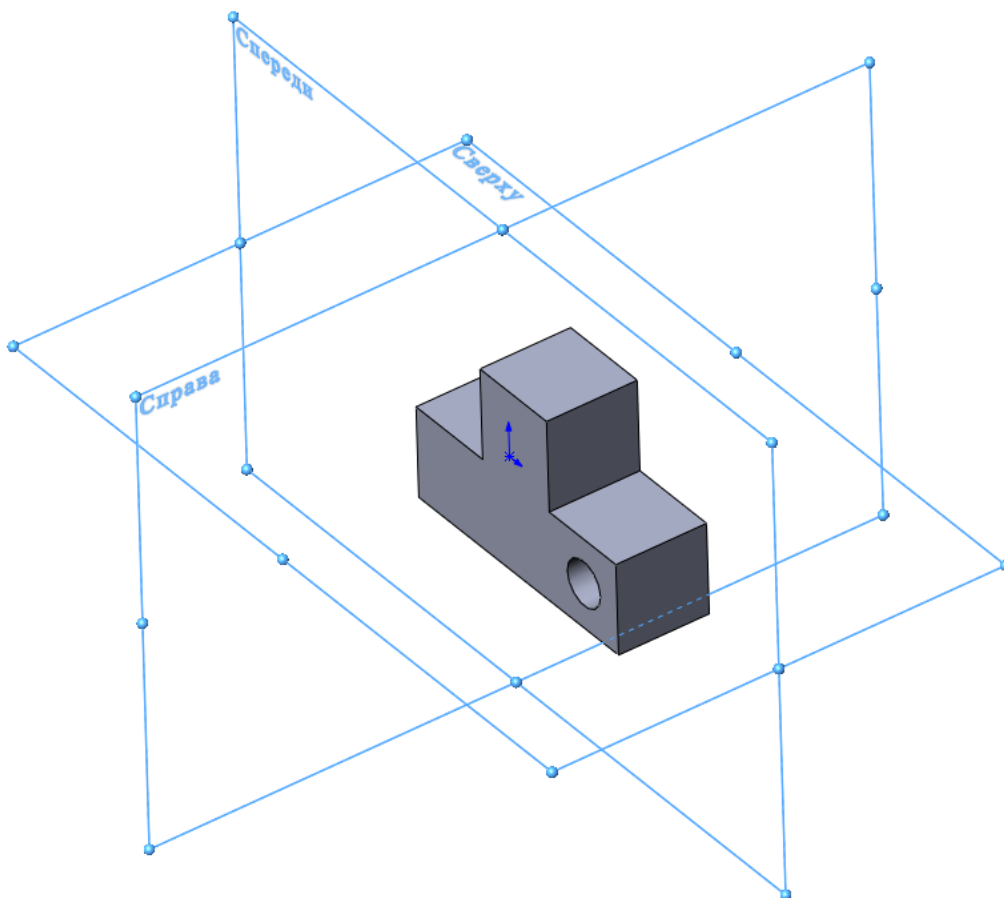


Рисунок 15.

З чого починається створення ескізу. При створенні нової деталі або зборки три площини за замовчуванням вирівнюються за певними видами. Площина, обрана першою для рисування, **визначає** орієнтацію деталі. Наприклад, якщо вибрати параметр «Спереди» в діалоговому вікні **Орієнтація вида** (або додати вид спереду на кресленні), то вигляд буде перпендикулярним «Плоскості 1» («Спереди»)

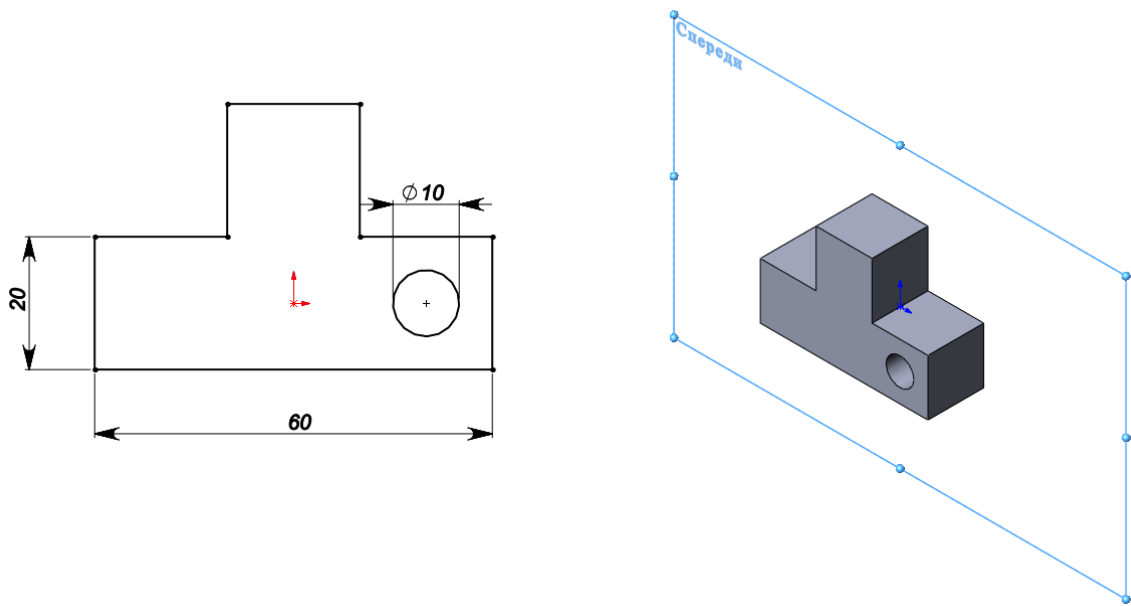


Рисунок 16.

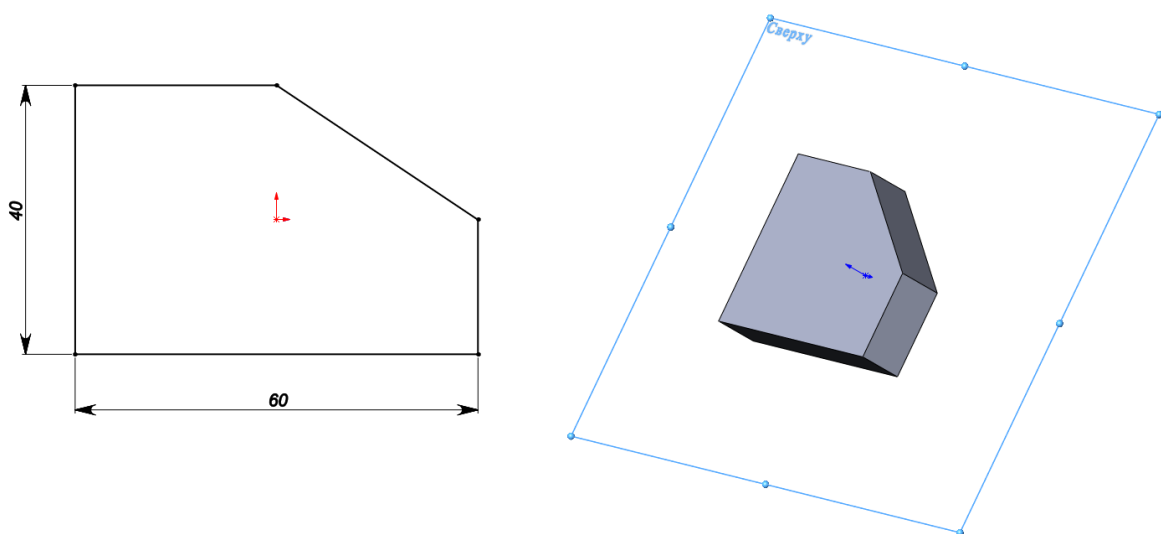


Рисунок 17.

Якщо відкрити ескіз і почати рисувати, не обираючи площину, то ескіз за замовчуванням буде розташовуватися на площині «Плоскость 1» («Спереди»).

Якщо спочатку малюється вид зверху, то слід спочатку вибрати «Плоскость 2» («Сверху») в дереві конструювання FeatureManager перед натисканням кнопки «Эскиз».

Для зміни орієнтації стандартних видів моделі:

1. Виберіть Вид, Ориентация або натисніть пробіл.
2. У вікні Ориентация двічі натисніть на один з видів, щоб вибрати нову орієнтацію. Наприклад, якщо необхідно зробити поточний вид Слева видом Спереди, двічі натисніть на вигляді Слева.
3. Натисніть (один раз, а не двічі) на ім'я стандартного виду, яке необхідно призначити для поточної орієнтації моделі. Наприклад, натисніть Спереди, якщо необхідно, щоб поточний вид став видом спереду.
4. Натисніть **Обновить стандартные виды** При цьому всі стандартні види оновляться щодо цього виду.

Рівень складності ескізів

У багатьох випадках можна отримати один і той же результат як при створенні витягнутого елемента за допомогою складного профілю, так і при створенні витягнутого елемента за допомогою більш простого профілю та деяких додаткових елементів. (Подібна дилема вибору часто виникає при плануванні основи для деталі.)

Наприклад, якщо потрібно округляти кромки витягування, можна намалювати складний ескіз, який містить заокруглення, або намалювати простий ескіз і додати заокруглення, як окремі елементи, пізніше.

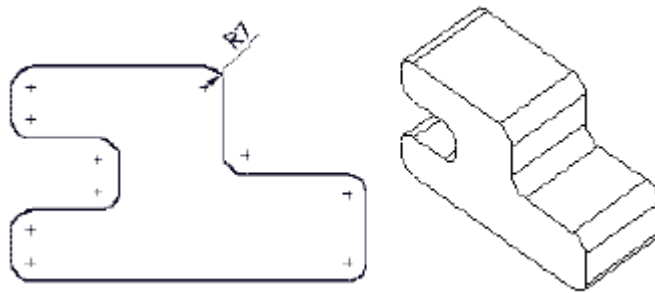


Рисунок 18.

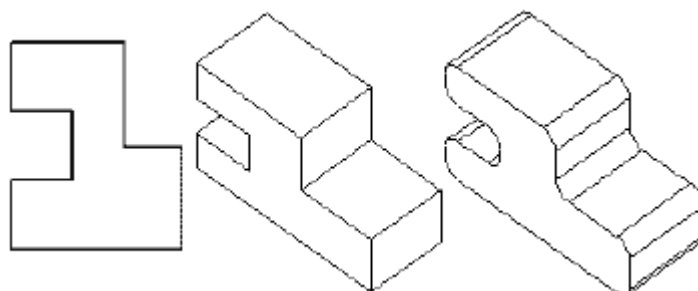



Рисунок 19.


Складні ескізи перебудовуються швидше. Заокруглення на ескізі повторно розраховуються набагато швидше, в порівнянні з елементами заокруглень, але складні ескізи важче створювати і редагувати.


Прості ескізи є більш гнучкими і легкими у використанні. Окремі елементи при необхідності можна змінити таким чином або погасити.


Інструменти для роботи з ескізами


1.  **Выбрать** - це найбільш широко використовуваний інструмент в додатку SolidWorks. Виберіть **Инструменты**, **Выбрать** або натисніть праву кнопку миші і виберіть команду **Выбрать** в контекстному меню.
2. Використання операції **Выбрать**:
 - вибрати об'єкти ескізу
 - перетягнути об'єкти ескізу або кінцеві точки для зміни форми ескізу


- вибрати крайку або грань моделі
- перетягнути рамку для вибору декількох об'єктів ескізу

3.  Масштабна сітка надає доступ до параметрів масштабної сітки, таким як відображення масштабної сітки, інтервал масштабної сітки або прив'язка. Використовуйте кнопку Масштабная сетка або виберіть Инструменты, Параметры, а потім Масштабная сетка/Единицы измерения на вкладці Свойства документа.

4.  Эскиз - відкриває і закриває двомірний ескіз. Эскиз знаходиться в меню Вставка.

5.  Трехмерный эскиз - відкриває або закриває ескіз в тривимірному просторі. Один тривимірний ескіз містить об'єкти, які не пов'язані з певними площинами ескізів. Тривимірний ескіз знаходиться в меню Вставка.

6.  Інструмент Изменить эскиз переміщає, обертає або масштабує ескіз. Изменить знаходиться в меню Инструменты, Инструменты эскиза.

7.  Переместить без решения - дозволяє перемістити об'єкти ескізу, не вирішуючи розміри або взаємозв'язки в ескізі. Перемістити без рішення знаходиться в меню Инструменты, Инструменты эскиза.

Линия. 

1. Натисніть Линия на панелі інструментів «Инструменты эскиза» або виберіть Инструменты, Объекты эскиза, Линия.

2. Помістіть курсор в те місце, звідки повинна починатися лінія.


3. Натисніть кнопку миші і перетягнете вказівник в те місце, де лінія повинна закінчуватися.

4. Відпустіть кнопку миші.

Горизонтальна або вертикальна лінія автоматично прив'язується до вузлів масштабної сітки, якщо включений параметр прив'язки до вузлів сітки.



Рисунок 20. Панель «Эскиз»

Дуга с указанием центра . Створює еліпс, використовуючи центральну точку, початкову точку і кінцеву точку.

Для створення дуги із зазначенням центру:

1. Натисніть кнопку Дуга с указанием центра на панелі інструментів «Инструменты эскиза» або виберіть Инструменты, Объекты эскиза, Центр дуги.

2. Помістіть вказівник в те місце, де повинен розташовуватися центр еліпса.

3. Натисніть кнопку миші і перетягнете вказівник в те місце, де повинна починатися дуга.

4. Відпустіть кнопку миші. Залишається напрямна лінія окружності.

5. Натисніть кнопку миші і перетягніть вказівник для установки довжини та напрямки еліпса.

6. Відпустіть кнопку миші.

Касательные дуги 


Створює дугу, дотичну до будь-якого об'єкта ескизу.

Для створення дотичного дуги:

1. Натисніть кнопку Касательная дуга на панелі інструментів «Инструменты эскиза» або виберіть Инструменты, Объекты эскиза, Касательная дуга.

2. Натисніть вказівником на кінцеву точку лінії, дуги, еліпса або сплайна.

3. Перетягніть дугу для додання їй бажаної форми.

Дуга через три точки 

Створює дугу через три точки (початкову, кінцеву та середню).

Для створення дуги через три точки:

1. Натисніть кнопку Дуга через три точки на панелі інструментів «Инструменты эскиза» або виберіть Инструменты, Объекты эскиза, Дуга через три точки.

2. Помістіть вказівник в те місце, де повинна починатися дуга.

3. Натисніть кнопку миші і перетягніть вказівник в те місце, де повинна закінчуватися дуга.

4. Відпустіть кнопку миші.

5. Перетягніть дугу для установки радіуса, а також для зміни напрямку дуги, якщо необхідно.

6. Відпустіть кнопку миші.

Окружность 

1. Натисніть кнопку Окружность на панелі інструментів «Инструменты эскиза» або виберіть Инструменты, Объекты эскиза, Окружность.

2. Помістіть вказівник в те місце, де повинна розташовуватися коло.

3. Натисніть кнопку миші і перетягніть для задавання радіусу.
4. Відпустіть кнопку миші.

Прямоугольники


Для створення прямокутника:


1. Натисніть кнопку **Прямоугольник** на панелі інструментів «Инструменты эскиза» або виберіть **Инструменты, Объекты эскиза, Прямоугольник**.


2. Помістіть вказівник в те місце, де повинен розташовуватися один з кутів прямокутника.

3. Перетягніть вказівник і відпустіть кнопку миші, коли прямокутник набуде необхідної форми і розміру.

За допомогою інструментів взаємозв'язків ескізу можна наносити розміри і визначати об'єкти ескізу.

1.  **Размер** - створює розміри. Тип розміру (між точками, лінійний, радіальний або кутовий) визначається обраним елементом. При виборі **Инструменты, Размеры** можна вибрати тип розміру: паралельний, горизонтальний або вертикальний. При натисканні на інструмент **Размер** можна натиснути правою кнопкою миші в графічній області і вибрати тип розміру в контекстному меню.

2.  **Добавить взаимосвязи** - створює геометричні взаємозв'язки (наприклад, дотичність або перпендикулярність) між об'єктами ескізу або між об'єктами ескізу і площинами, осями, крайками, кривими або вершинами.

3.  **Отобразить/Скрыть взаимосвязи** - відображає взаємозв'язку, які були призначені для об'єктів ескізу, або вручну, або автоматично, а також дозволяє видалити взаємозв'язку, які більше не потрібні. Можна також виправити об'єкти за допомогою заміни наведеної посилання.


4.  Найти равные відображає лінії і дуги однакової довжини або радіусу, а також дозволяє створити між об'єктами взаємозв'язку рівної довжини і радіусу.



Рисунок 21. Панель «Стандартные виды».

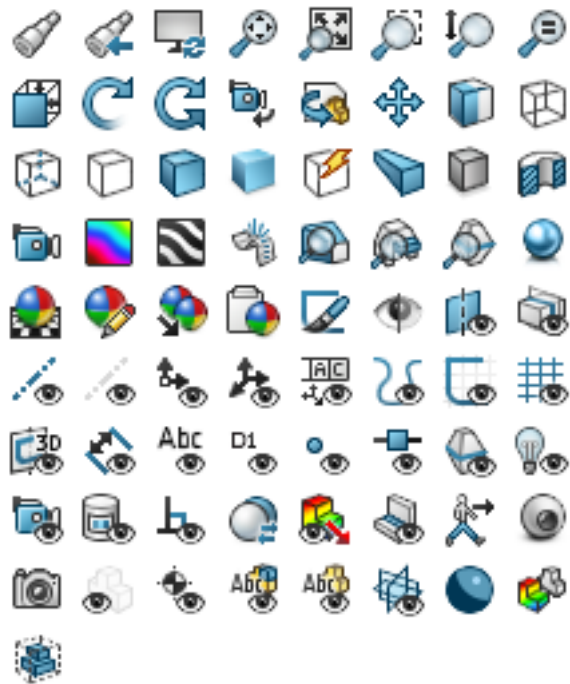


Рисунок 22. Панель «Вид».

Виберіть «Инструменты», «Взаимосвязи», «Сохранить все взаимосвязи». Инструмент «Сохранить все взаимосвязи» встановлює обмеження на об'єкти ескізу з імпортованої без обмежень креслення .dxf або .dwg.

Ми розглянули основні інструменти панелі ескізу. Про деякі інструментах піде мова в наступних лекціях, а решта вам доведеться вивчати самостійно.

Наступні дві панелі інструментів ми не будемо розглядати детально, наведемо лише короткі пояснення. Наведіть курсор на зображення кнопки для отримання короткої довідки

Лекція 4. Робота з ескізами в SolidWorks.

Основні відомості про роботу з ескізами у SolidWorks. Рядок стану.

Щоб почати роботу над першим ескізом треба натиснути кнопку



на панелі інструментів «Эскиз» або вибрати пункт меню «Вставка - Эскиз», при цьому стане активна панель «Эскиз», а також з'явиться корисна інформація в рядку стану внизу вікна.

Нижче наведено рисунок відображає рядок стану, щоб дізнатися короткий опис даного елемента рядка стану підведіть мишку до рисунка і прочитайте підказку.

-25.84мм 22.92мм 0мм Недоопределен Редактируется Эскиз1

Рисунок 23.

Для відображення або приховування рядка стану увійдіть в пункт меню «Вид» і поставте або зніміть галочку біля пункту «Строка состояния» (клацання лівої кнопки миші).

Коли відкритий ескіз в графічній області червоним кольором відображається «Исходная точка эскиза», дивись рисунок. Це точка з координатами X «0», Y «0». Вихідна точка ескізу допомагає визначити координати ескізу, над яким здійснюється робота. Саме від неї

відраховуються координати вказівника, які відображаються в рядку стану, якщо ми починаємо рисувати геометричну фігуру з вихідної точки, то ця фігури визначена (тобто її положення задано однозначно, хоча ми ще не поставили розміри і не задали взаємозв'язку). У кожному ескізі в деталі є своя вихідна точка, тому в деталі зазвичай буває кілька вихідних точок. Коли відкритий ескіз, можна відключати відображення його вихідної точки.

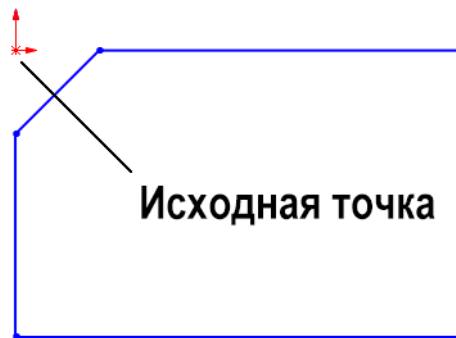


Рисунок 24.

Умовні позначення для стану ескізу

Ескізи знаходяться в одному з п'яти наступних станів.

Повністю визначено - все лінії і криві на ескізі, а також їх положення описані за допомогою розмірів і взаємозв'язків (чорний). Це оптимальний стан ескізу, означає що всі розміри і взаємозв'язку задані правильно і в достатній кількості.

В SolidWorks для використання ескізів і для створення елементів наносити на них розміри або повністю визначати їх необов'язково. Однак, бажано повністю визначити ескізи до завершення деталі.

Виконавши цю умову ви уникнете таких проблем, як зміна контуру ескізу при переміщенні його мишею.

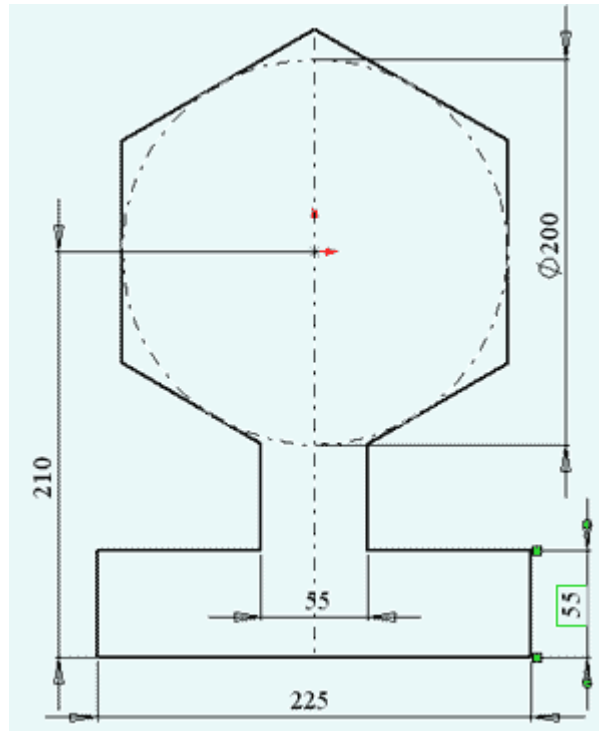


Рисунок 25.

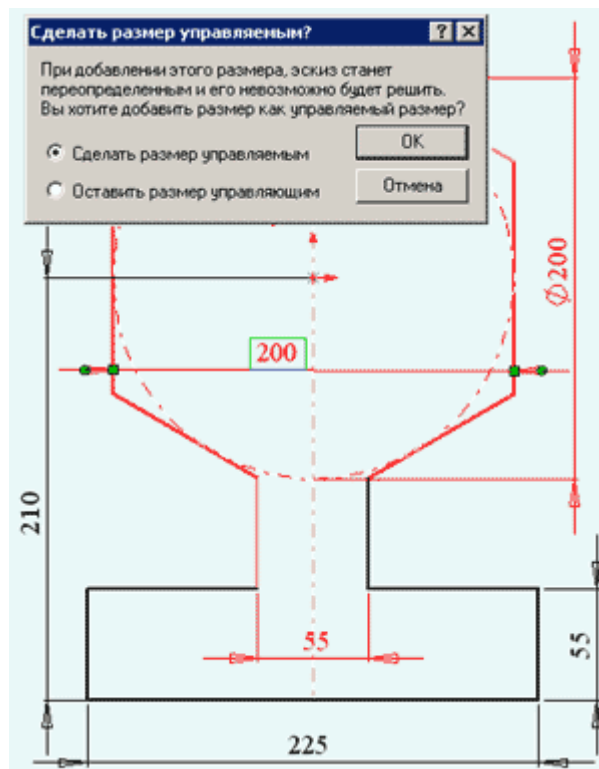


Рисунок 26.

Перевизначений - існують конфліктні або повторні розміри або взаємозв'язки. Для перегляду і видалення конфліктних взаємозв'язків виберіть Менеджер свойств взаимосвязи эскиза (червоний).

Подібний колір у ескізу може виникнути якщо ви, наприклад, поставите розмір одного елемента двічі або для однієї і тієї ж лінії задасте взаємовиключні взаємозв'язки (вертикальності і горизонтальності). Оскільки SolidWorks має дружній до користувача інтерфейс, він сам видасть вам підказку про вашу помилку. Як приклад поставлено подвійний розмір 200 - діаметр для вписаною в шестигранник окружності і розмір під ключ.

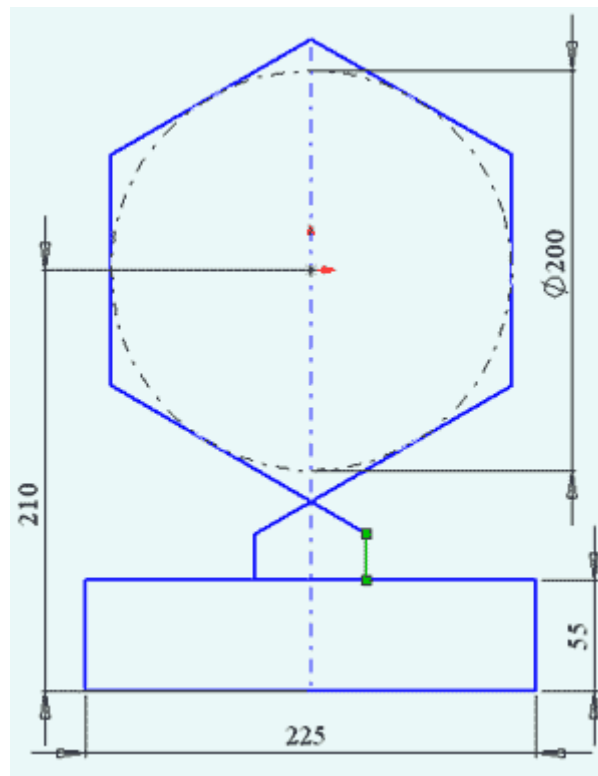


Рисунок 27.

Недовизначений - в ескізі не визначені деякі розміри і / або взаємозв'язки, і їх можна змінювати. Можна перетягнути кінцеві точки, лінії або криві, поки об'єкт ескізу не змінить свою форму (синій).

Як приклад видалено розмір 55, ескіз відразу змінив свій колір на синій, здається нічого страшного не сталося, але якщо потягнути мишкою контур такого ескізу він почне змінюватися (див. рисунок). Від подібних дій в процесі проектування ніхто не застрахований, і хоча зміни на міліметр не помітно, але зборка з подібною деталлю вже не вийде.



Рисунок 28.

Рішення не було знайдено - ескіз не вирішено. Відображаються геометрія, взаємозв'язку і розміри, що перешкоджають розрахунку ескізу (рожевий).

Даний випадок дуже схожий на попередній, тільки задано взаємозв'язок, виконання якого спочатку нерозв'язне при вже існуючих взаємозв'язках. Так для прикладу в ескізі, наведеному на рисунку, задана паралельність сторони шестикутника і сторони прямокутника. Далі для похилої сторони шестикутника і тієї ж сторони прямокутника намагаємося вказати колінеарність. Результат - ескіз, рішення якого не може бути знайдено.

Знайдено неприпустиме рішення - ескіз розрахований, але в результаті вийде неприпустима геометрія, наприклад, нульова довжина лінії, дуга нульового радіуса або самопересікаючийся сплайн (жовтий).

Взаємозв'язки

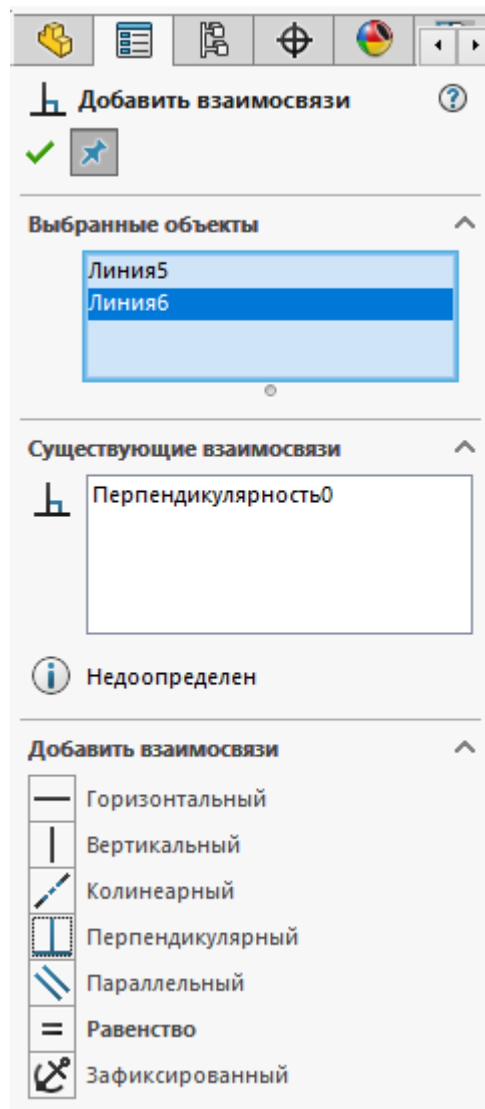


Рисунок 29.

Вікно **Добавить взаимосвязи** PropertyManager (Менеджера СВОЙСТВ) з'являється при натисканні кнопки **Добавить взаимосвязи**

 **Добавить взаимосвязь** на панелі інструментів «Взаимосвязи эскиза».

Можна створювати геометричні взаємозв'язки між об'єктами ескізу або між об'єктами ескізу і площинами, осями, крайками, кромками або вершинами.

На рисунку показано вікно Менеджера свойств - **Добавить взаимосвязи**, щоб познайомитися з його основними частинами потримаєте мишку над елементами рисунка і прочитайте впливаючу підказку.

Щоб задати елементи ескізу для вибору взаємозв'язків досить клацнути на них мишкою в графічній області вікна програми. Назва елемента з'явиться у вікні - **Выбранные элементы**.

Дуже корисним є вікно - **Существующие взаимосвязи**. Воно показує які взаємозв'язки є у вибраного об'єкту ескізу. Внизу вікна є синій значок «і» - **Информация**, відображається значення стану обраного об'єкта ескізу (повністю визначено, недовизначено тощо).

Ще одна дуже корисна властивість програми - динамічний список **Добавить взаимосвязи**, в ньому відображаються назви тільки тих взаємозв'язків, які можливі для обраних об'єктів. На рисунку цей список обмежений одним пунктом - **Касательность**.

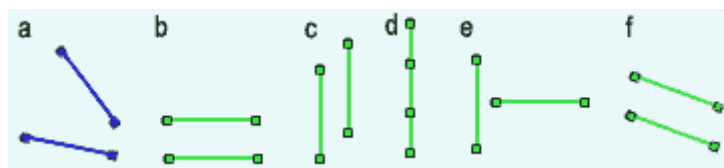


Рисунок 30.

Коротко розглянемо які можливі взаємозв'язки в ескізі.

- **Горизонтальность** або **вертикальность**. Можна вибирати такі об'єкти: одну або кілька ліній, або дві або кілька точок. При цьому лінії стають горизонтальними або вертикальними (що визначається поточною

системою координат ескізу). Точки вирівнюються по горизонталі або вертикалі. Можуть бути два випадки при призначенні взаємозв'язку:

- о Точки не визначені (не мають фіксації), то діє правило «останньої точки», згідно з яким перші обрані точки переміщуються до рівня (по горизонталі або по вертикалі) останньої обраної точки.
- о Одна з точок визначена, інші переміщуються на її рівень.

На рисунку а показані вихідні прямі, які ми намалювали довільно, на рисунку б - після застосування до них взаємозв'язку горизонтальність, на рисунку с - вертикальність.

- **Колінеарність.** Можна вибирати такі об'єкти: дві або кілька ліній. При цьому елементи будуть лежати на одній і тій же нескінченній лінії. А ось що сталося з нашими прямими після застосування властивості Колінеарність (рисунок d).

- **Перпендикулярність.** Можна вибирати такі об'єкти: дві лінії. Два елементи стануть перпендикулярні один до одного (рисунок e).

- **Паралельність.** Можна вибирати такі об'єкти: дві або кілька ліній. Елементи будуть паралельні один одному (рисунок f).

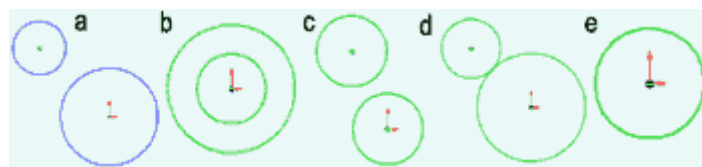


Рисунок 31.

- **Концентричність.** Можна вибирати такі об'єкти: дві або більше дуги, або точку і дугу. В цьому випадку для дуг використовується один і той же центр.

- На першому рисунку а показані дві і подібні окружності. На рисунку б до них застосували взаємозв'язок концентричність, як видно радіуси кіл не змінилися, але їх центри збіглися.

- **Равенство.** Можна вибирати такі об'єкти: дві або більше лінії, або дві або більше дуги. Довжини ліній або радіуси стають рівними.

У цьому випадку положення центрів кіл не змінювалося, а ось радіуси стали рівні. Алгоритм роботи такий - якщо для одного кола заданий розмір, то друге коло стає рівним першому. Якщо розміри не задані, то радіуси всіх кіл стають рівними радіусу останнього кола зі списку.

- **Касательность.** Можна вибирати такі об'єкти: дугу, еліпс або сплайн, і лінію або дугу. Лінію і криву грань або поверхню в тривимірному ескізі. При цьому два елементи стають дотичними один до одного.

- Випадок дотичності показано на рисунку d.

- **Корадиальность.** Можна вибрати два або більше дуги. У всіх елементів буде один і ті ж центр і радіус.

Це досить цікавий випадок, дві окружності стають намальованим з одного центру і з рівним радіусом - зливаються. Нам здається, що на рисунку одне коло (рисунок e).

- **Средняя точка.** Можна вибирати такі об'єкти: точку та лінію. Точка стає в центрі лінії, причому, при невизначеному ескізі, змінюється як положення точки, так і положення лінії. Ці зміни підпорядковуються наступним правилам: середня точка розташовується в точці проекції вихідної точки на лінію. Точка проекції може бути на продовженні лінії. Довжини сторін лінії по обидві сторони точки обчислюються так:

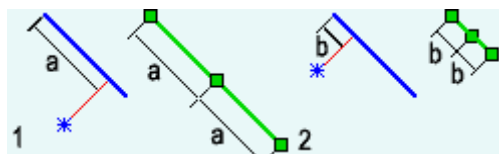


Рисунок 32.

На рисунку показані два варіанти, при яких проекція вихідної точки лежить на лінії. Як видно з рисунків, розмір лінії дорівнює подвоєній

відстані від точки проєкції до лівого краю лінії. Рисунки 1 і 2 ілюструють відмінність в розмірі одержуваної лінії при переміщенні вихідної точки уздовж вихідної лінії. Червоним кольором позначено перпендикуляр, чорним - довідкові розміри.

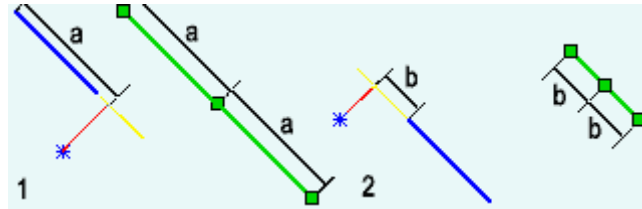


Рисунок 33.

На рисунку показані два варіанти, при яких проєкція вихідної точки лежить на продовженні лінії. Як видно з рисунків, розмір лінії дорівнює подвоєному відстані від точки проєкції до лівого краю лінії. Рисунки 1 і 2 ілюструють відмінність в розмірі одержуваної лінії при переміщенні вихідної точки уздовж вихідної лінії. Жовтим кольором позначено продовження вихідної лінії, на яку опускається перпендикуляр.

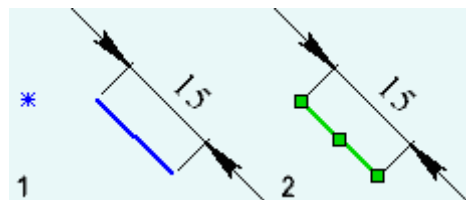


Рисунок 34.

І, нарешті, розглянемо правильний варіант використання цього взаємозв'язку. Для цього досить задати розмір вихідної лінії. Точка при цьому стає в середину лінії, яка залишається нерухомою.

Пересечение. Цей взаємозв'язок встановлює точку в місці перетину двох ліній. Для її роботи потрібно вибрати дві лінії і одну точку. Розглянемо роботу взаємозв'язку на конкретному прикладі: На рисунку 1 задана горизонтальна пряма «а» (визначена), довільна похила пряма «б»

(невизначена) і довільна точка «с» (також невизначена). При завданні взаємозв'язку «пересечение» для всіх цих об'єктів буде застосовуватися наступний алгоритм: З точки «с» на похилу пряму «b» опускається перпендикуляр «с'с'», що використовується в якості вектора паралельного переносу (див. рисунок) прямих «b» з точки перетину перпендикуляра «с'» в задану точку «с». Потім з точки «с» опускається перпендикуляр «с''с''» на горизонтальну пряму «a», який також використовується як вектор паралельного переносу (див. рисунок) прямих «b» з точки «с» в точку основи перпендикуляра «с''». Після цього точка «с» стає точкою «с''». Результат цього складного пояснення показаний графічно на рисунку «2».

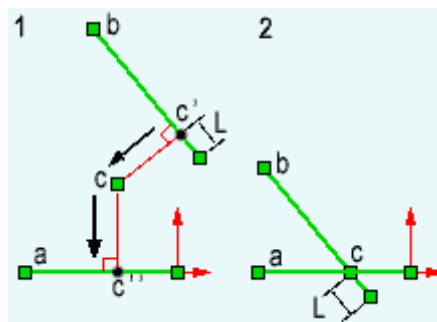


Рисунок 35.

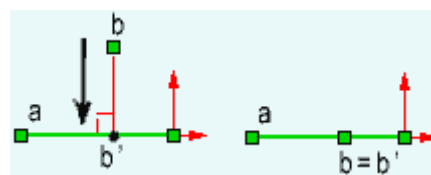


Рисунок 36.

Совпадение. Цей взаємозв'язок встановлює точку на лінію, дугу або еліпс. Для прямої і точки, точка встановлюється в основу перпендикуляра, опущеного на пряму. Для дуги і точки, точка встановлюється в точку дуги, найближчу до неї.

Для того, щоб точно визначити, які з елементів ескізу будуть переміщатися і утворювати задані взаємозв'язку, бажано мати певні елементи ескізу. В цьому випадку новостворювані елементи будуть прив'язуватися до вже наявних конкретних елементів.

Тим більше, що створити ескіз з невизначених елементів набагато складніше, ніж з визначених. Витративши декілька хвилин на завдання розмірів і взаємозв'язків можна заощадити масу часу на з'ясуванні тонкощів алгоритму переміщення невизначених елементів.

Побудова нового двомірного ескізу



Для того щоб відкрити новий ескіз, натисніть кнопку **Эскиз** на панелі інструментів «Эскиз» або виберіть **Вставка -> Эскиз**. Новий ескіз відкривається на площині **Спереди** (площина за замовчуванням).

Для того щоб почати створення примітивів на іншій площині дерева конструювання, перед відкриттям ескізу виберіть необхідну площину в дереві конструювання **FeatureManager**.

Для того щоб почати створення примітивів на іншій площині моделі (або межі), перед відкриттям ескізу натисніть на відповідну грань.

Контекстні меню

У міру набуття досвіду роботи з інструментами ескізу, з'явиться сенс використовувати контекстне меню, як більш швидкий і зручний спосіб вибору задач.

Якщо натиснути правою кнопкою миші після малювання об'єкта, контекстне меню дозволяє вибрати інший інструмент ескізу, без переміщення вказівника на панель інструментів або до головного меню. Контекстне меню змінюється в залежності від виконуваної завдання. В

елементах меню відображаються лише операції, що застосовуються в даному конкретному випадку.

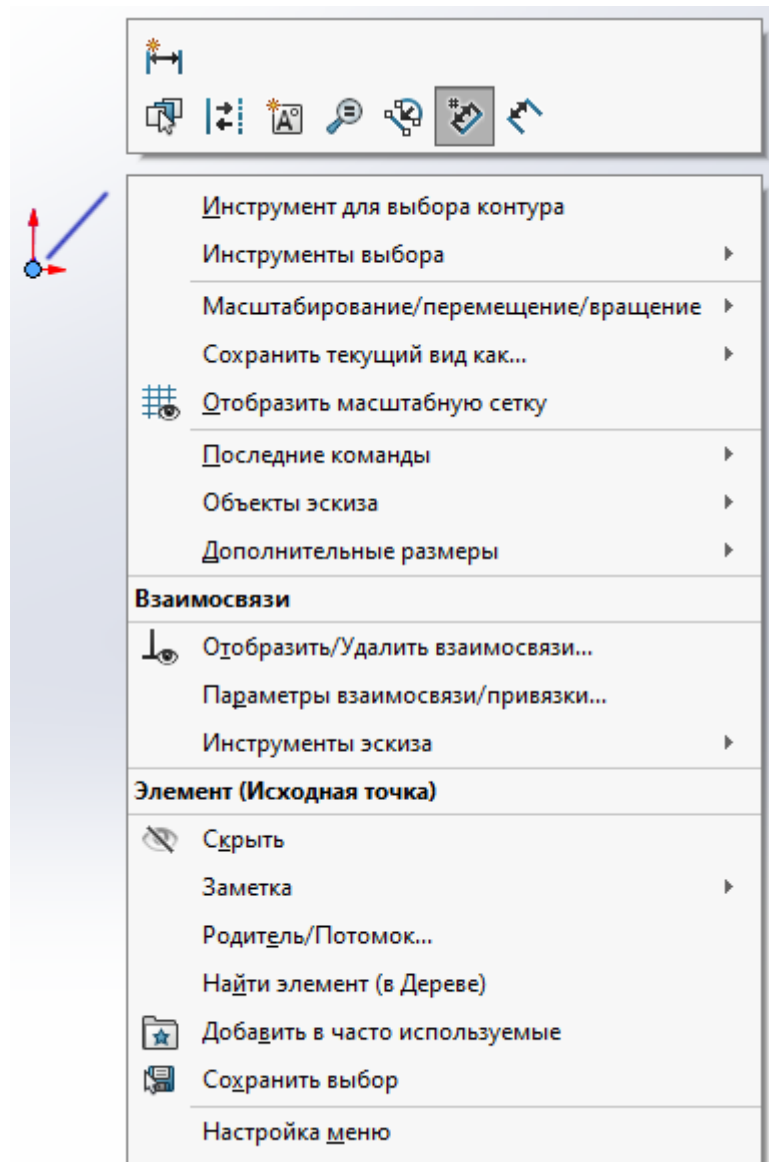


Рисунок 37.

Використання контекстних меню - це найбільш ефективний спосіб роботи, при якому не потрібно витратити час на переміщення курсора до основних меню або кнопок панелі інструментів. Наприклад, за допомогою контекстного меню можна виконати наступні операції в ескізі:

- Вибрати інструмент, не витрачаючи час на переміщення курсора до панелі інструментів

- Змінювати вид ескізу
- Вибрати інструмент для нанесення розмірів
- Додати взаємозв'язки в об'єкти ескізу або відобразити / видалити взаємозв'язки
- Вийти з ескізу

Вирізання, копіювання і вставка в ескізах

Можна вирізати і вставляти або копіювати і вставляти один або більше об'єктів ескізу, як з одного ескізу в інший, так і всередині одного ескізу.

Виберіть об'єкти ескізу і перетягніть, використовуючи такі клавіші:

- Для копіювання всередині одного документа або в інші документи натисніть при перетягуванні клавішу **Ctrl**.
- Для переміщення всередині одного ескізу натисніть клавішу **Shift**.
- Для переміщення між різними документами натисніть клавішу **Ctrl** і перетягніть ескіз в другій документ. Потім відпустіть клавішу **Ctrl**, натисніть клавішу **Shift** і відпустіть кнопку миші, встановивши ескіз.

Крім цього, можна копіювати шляхом вибору одного або декількох об'єктів ескізу і вибору команд «Правка» -> «Копировать» або за допомогою натискання клавіш **Ctrl + C**. Потім можна вставити об'єкти, натиснувши лівою кнопкою миші в графічній області і вибравши «Правка» -> «Вставить» або натиснувши клавіші **Ctrl + V**. Центр вставляються, ескізу буде в точці, зазначеної натисканням кнопки миші.

Копіювання і вставка цілих ескізів

Можна копіювати весь ескіз і вставляти його на грань в поточній деталі, а також можна вставляти його в інший ескіз або документ деталі,

зборки або креслення. При цьому повинен бути відкритий цільовий документ.

Для копіювання і вставки ескізу:

- Виберіть ескіз в дереві конструювання FeatureManager.
- Виберіть «Правка» -> «Копировать» або натисніть клавіші Ctrl + C.
- В ескізі або документі натисніть в тому місці, де повинен бути центр вставляється ескізу.
- Виберіть «Правка» -> «Вставить» або натисніть клавіші Ctrl + V.

Редагування ескізу

Для редагування ескізу: Натисніть правою кнопкою миші на:

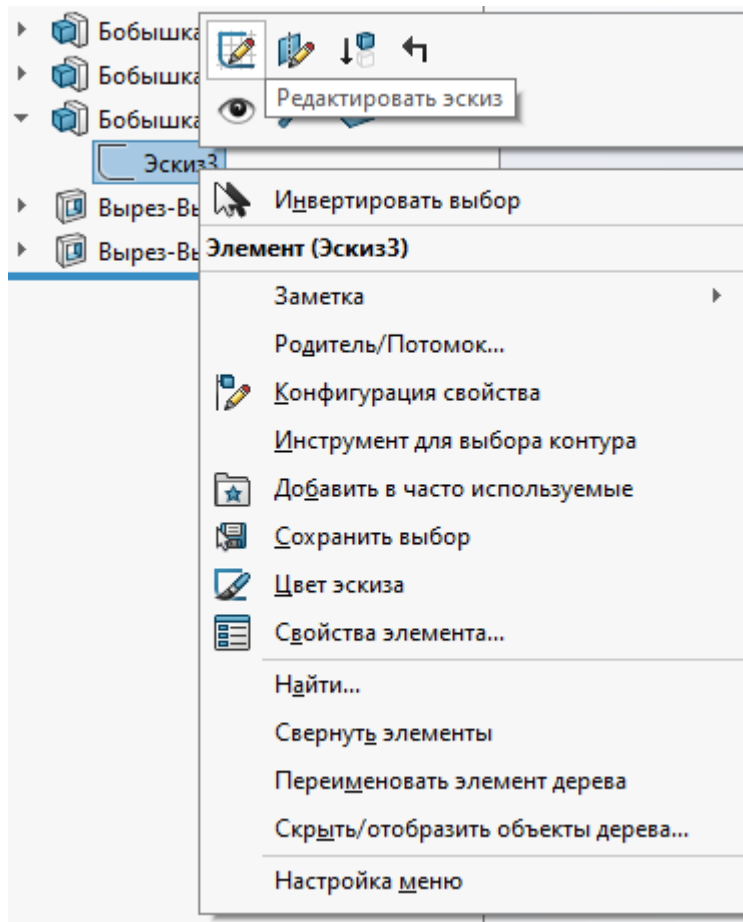


Рисунок 38.

Імені ескізу, який потрібно відредагувати, в дереві конструювання.

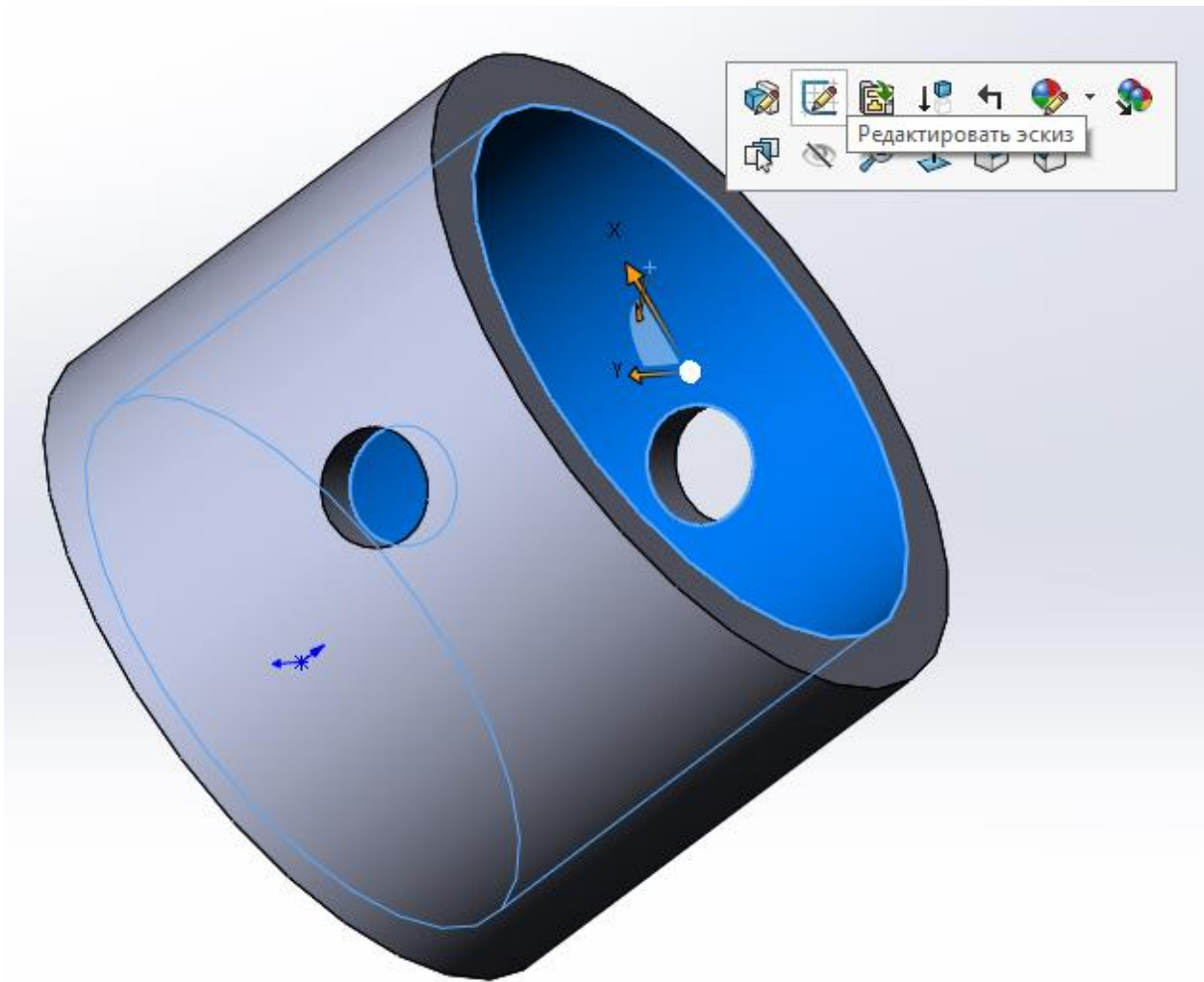


Рисунок 39.

Об'єкти ескізу в неактивному ескізі

ПРИМІТКА: Для елементів, які були створені за допомогою декількох ескізів (елементів по траєкторії або по перетинах), натисніть правою кнопкою миші на ескізі в дереві конструювання. Виберіть «Редагувати ескіз». Після закінчення редагування натисніть кнопку «Ескіз» або натисніть правою кнопкою миші де-небудь в ескізі і виберіть «Выход из эскиза».

Лекція 5. Інструменти SolidWorks.

Інструменти SolidWorks для роботи з 3D елементами

Панель інструментів «Элементы» включає в себе елементарні операції з тривимірними об'єктами. Потримайте вказівник миші над кнопками панелі «Элементы», щоб дізнатися призначення кнопки або натисніть на посилання, щоб перейти до відповідного розділу.

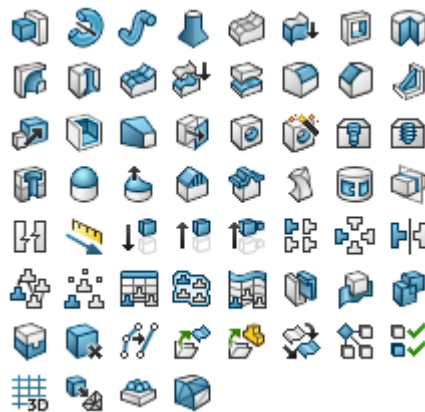


Рисунок 40. Панель інструментів «Элементы»

Тут представлені найбільш часто використовувані інструменти. З повним списком можна ознайомитися, зайшовши в меню «Инструменты» - «Настройка» - «Команды» і вибравши панель «Элементы».

Нижче докладно описані кілька елементарних інструментів: [Вытянутая бобышка/основание](#), [Вытянутый вырез](#), [Элемент по сечениям](#), [Прямоугольный массив](#), [Круговой массив](#), [Зеркальное отражение](#).

Інструмент «Вытянутая бобышка/основание»

На рисунку представлена панель Менеджера свойств при виконанні операції «Вытянутая бобышка/основание». Потримайте вказівник миші

над елементами управління менеджера властивостей для того, щоб дізнатися призначення кожного елемента.

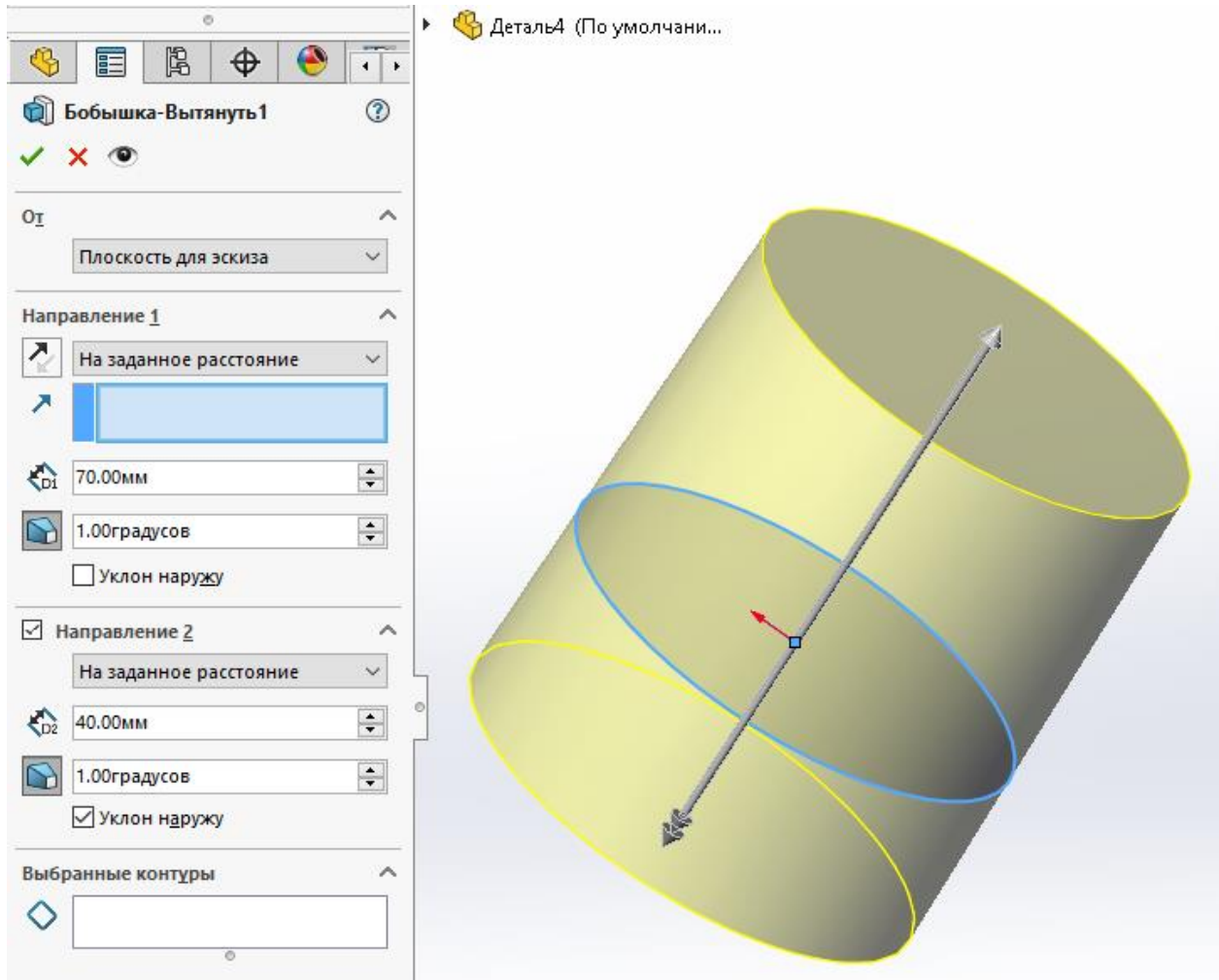


Рисунок 41.

Витягування ескізу можна уявити як створення об'ємної фігури з плоскою шляхом витягування її контуру в напрямку осі «Z» із заповненням матеріалом отриманого об'єму. Так, наприклад, витягаючи коло ми отримуємо циліндр, з прямокутника отримуємо паралелепіпед і так далі.

При витягуванні елемента вказується «Граничное условие ВИТЯЖКИ». Доступні параметри залежать від обраного типу витягування.

Направление вытяжки

За замовчуванням програма пропонує провести витягування в одному напрямку від площини вихідного ескізу. У граничних умовах площину вихідного ескізу називається «середньою поверхнею». Початковий напрямок показується маркером.

Якщо не влаштовує вихідний напрямок витягування, то змінити його можна як за допомогою маркера, так і за допомогою кнопки «Реверс напрямлення». Якщо вам потрібно витягнути ескіз в двох напрямках від середньої поверхні є два шляхи:

вибрати граничну умову «от средней поверхности». При цьому модель витягується симетрично в обидва боки від середньої поверхні на відстань, заданий параметром «Глубина».

Якщо необхідно витягнути бобишку на різні відстані в кожному напрямку, активуйте прапорець «Направление 2» і виберіть для обох напрямків граничну умову «На заданное расстояние». Введіть потрібні відстані в полях «Глубина» для кожного напрямку.

Граничное условие

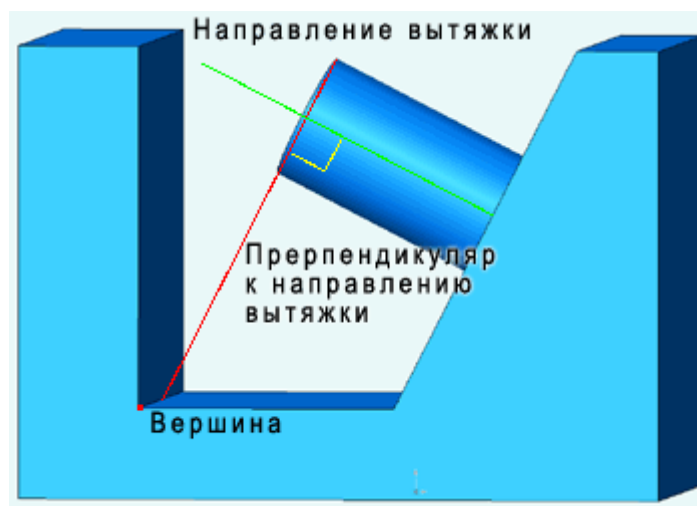


Рисунок 42.

Граничні умови задають умова закінчення витягування ескізу. У найпростішому випадку витягування виробляється від середньої поверхні до «средней поверхности + глубина». Ця умова називається «На заданное расстояние».

До вершини

Гранична умова «До вершини» обмежує глибину витягування перпендикуляром, проведеним із заданої вершини на напрямок витягування. Спробувати в роботі це гранична умова можна, створивши ескіз у формі літери «П», витягнувши його на деяку відстань, а потім створивши ескіз на внутрішній поверхні «П» і витягнувши його «До вершини», вказавши в якості останньої будь-яку протилежну вершину.

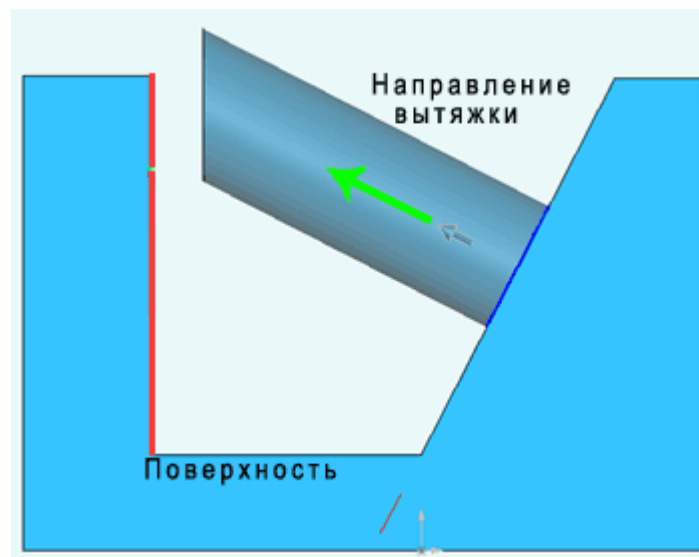


Рисунок 43.

До поверхности

Гранична умова «До поверхности» працює практично так-же, як і умова «До вершини», але на відміну від останнього торець бобишки впритул примикає до обраної поверхні.

Подібним чином працює і гранична умова «На расстоянии от поверхности». За допомогою цієї умови можна зупинити витягування на деякій відстані від заданої поверхні, як на рисунку. При цьому торець бобишки буде паралельний до обраної поверхні.

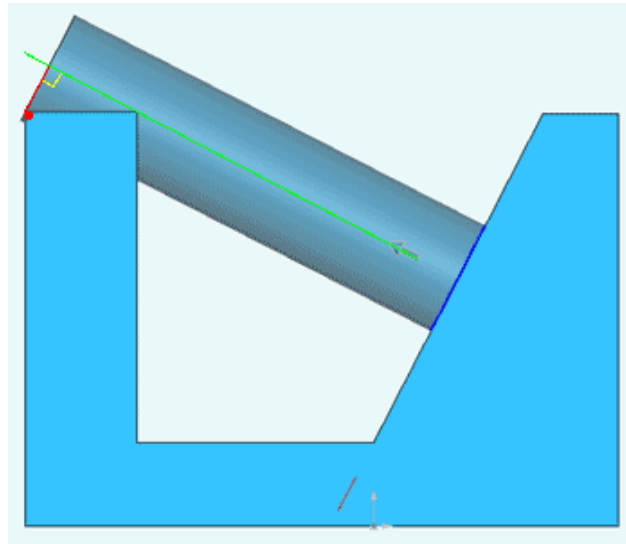


Рисунок 44.

Через все

Гранична умова «Через все» витягує елемент від площини ескізу через всю існуючу геометрію, як показано на рисунку. Торець бобишки зрізається по перпендикуляру, опущеного з крайньої точки моделі на напрямок витягування.

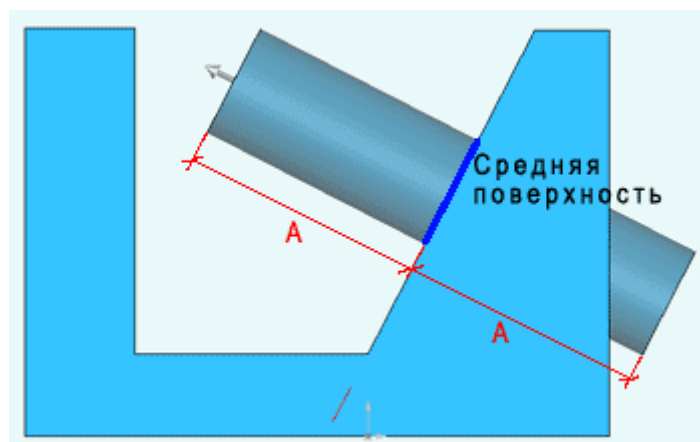


Рисунок 45.

Средняя плоскость

Гранична умова «средняя плоскость», як уже було сказано вище, витягує бобишку на однакові відстані в обох напрямках від площини ескізу. Це можна побачити на рисунку. Відстані «А» рівні між собою і дорівнюють параметру «Глубина».

Уклон

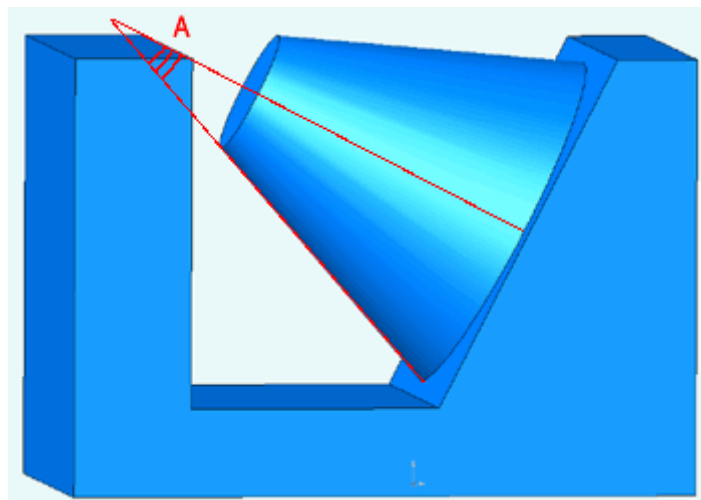


Рисунок 46.

При використанні нахилу ескізи середньої поверхні і торця бобишки є подібними. При нахилі всередину ескіз торця бобишки виходить менше ескізу основи, при нахилі назовні - більше. Зовні це виглядає як зрізана піраміда, або як усічений конус. Нахил задається в градусах між загальним напрямком витягування та бічною поверхнею. На рисунку показаний нахил «внутрь» і буквою «А» позначений кут нахилу.

Інструмент «Вытянутый вырез»

На рисунку представлена панель Менеджера свойств при виконанні операції «Вытянутый вырез». Потримайте вказівник миші над елементами

управління менеджера властивостей для того, щоб дізнатися призначення кожного елемента.

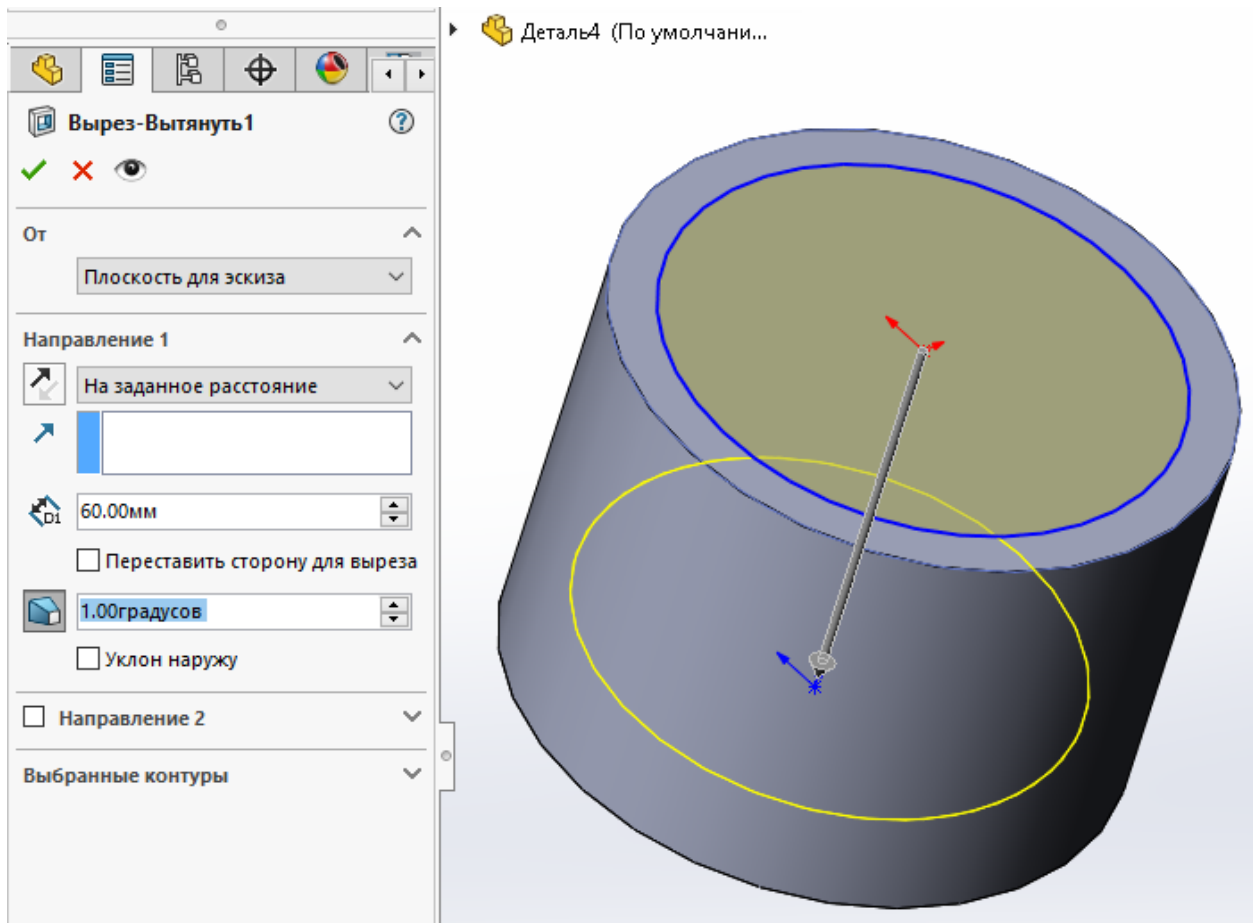


Рисунок 47.

Вытянутый вырез - це операція, по суті своїй зворотна витягуванню. Якщо при витягуванні ми створювали об'єм, заповнений матеріалом, витягаючи ескіз, то при створенні вирізу ми прибираємо об'єм з уже створеної моделі. Вирізи застосовуються як для створення отворів різної форми, так і для створення канавок, прибирання частини матеріалу тощо

Виріз створюється після хоча-б однієї операції витягування або будь-який інший операції створення форми.

Виріз, як і бобишка створюється з ескизу на плоскій грані моделі, або на окремій площині.

Для створення витягнутого вирізу треба зробити ескіз активним, натиснути кнопку «Вытянутый вырез» на панелі інструментів «Элементы», або увійти в меню «Вставка»- «Вырез»- «Вытянуть».

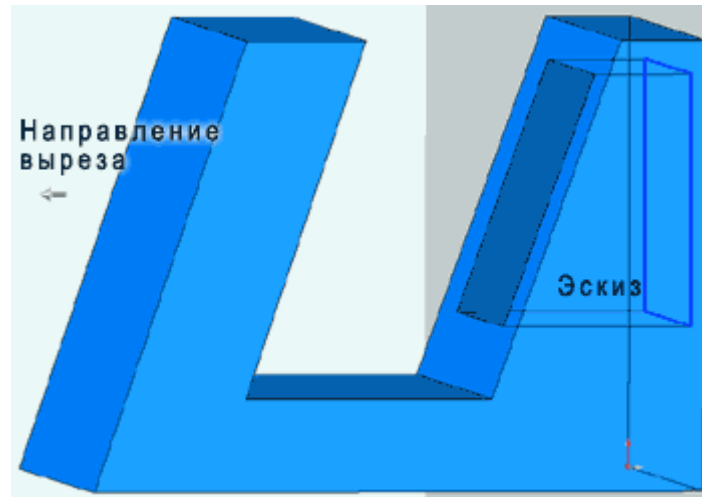


Рисунок 48.

В основному елементи Менеджера свойств при виконанні операції вирізу збігаються з аналогічними елементами при виконанні операції витягування бобишки, але є й відмінності.

Граничні умови

«На заданное расстояние», «Насквозь», «До вершины», «До поверхности», «На расстоянии от поверхности» і «Средняя плоскость» працюють так же, як і аналогічні умови при витягуванні бобишки.

До следующей

Це гранична умова виробляє виріз у напрямку вирізу до першої була зустрінута межі або поверхні. На рисунку показана «П-подібна» модель, до

однієї з «ніжок» якої застосована операція вирізу «до следующей». В результаті прямокутний отвір утворився лише в одній «ніжці» моделі.

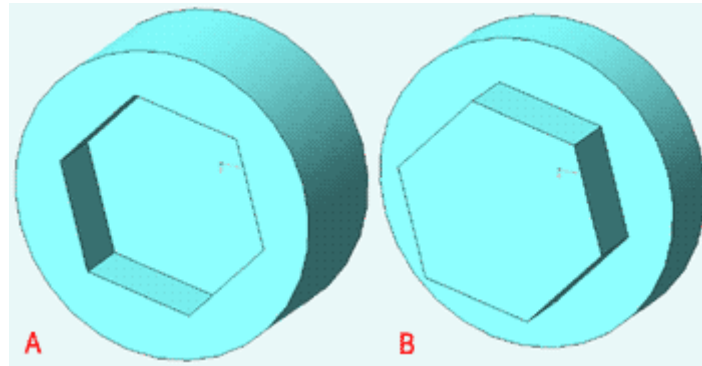


Рисунок 49.

Переставить сторону для выреза

Це ще один параметр, якого не було при витягуванні бобишки. За замовчуванням виріз виробляється ВСЕРЕДИНІ вирізуваного ескізу. Якщо треба прибрати матеріал ЗОВНІ ескізу, використовується цей параметр. На рисунку «А» показаний виріз за замовчуванням, а на рисунку «В» - виріз з використанням параметра «Переставить сторону для выреза»

Инструмент «Линейный массив»

На рисунку праворуч представлена панель Менеджера свойств при виконанні операції «Линейный массив». Потримайте вказівник миші над елементами управління менеджера властивостей для того, щоб дізнатися призначення кожного елемента.

Лінійний масив призначений для створення подібних геометричних об'єктів, розташованих на прямій, або на площині. Лінійний масив здійснює копіювання обраних об'єктів через певну відстань. Прикладом лінійного

масиву може служити розташування вікон в багатоповерховому будинку або розташування ліхтарних стовпів вздовж дороги, шпал на залізниці тощо

Щоб створити найпростіший лінійний масив виконайте наступні кроки:

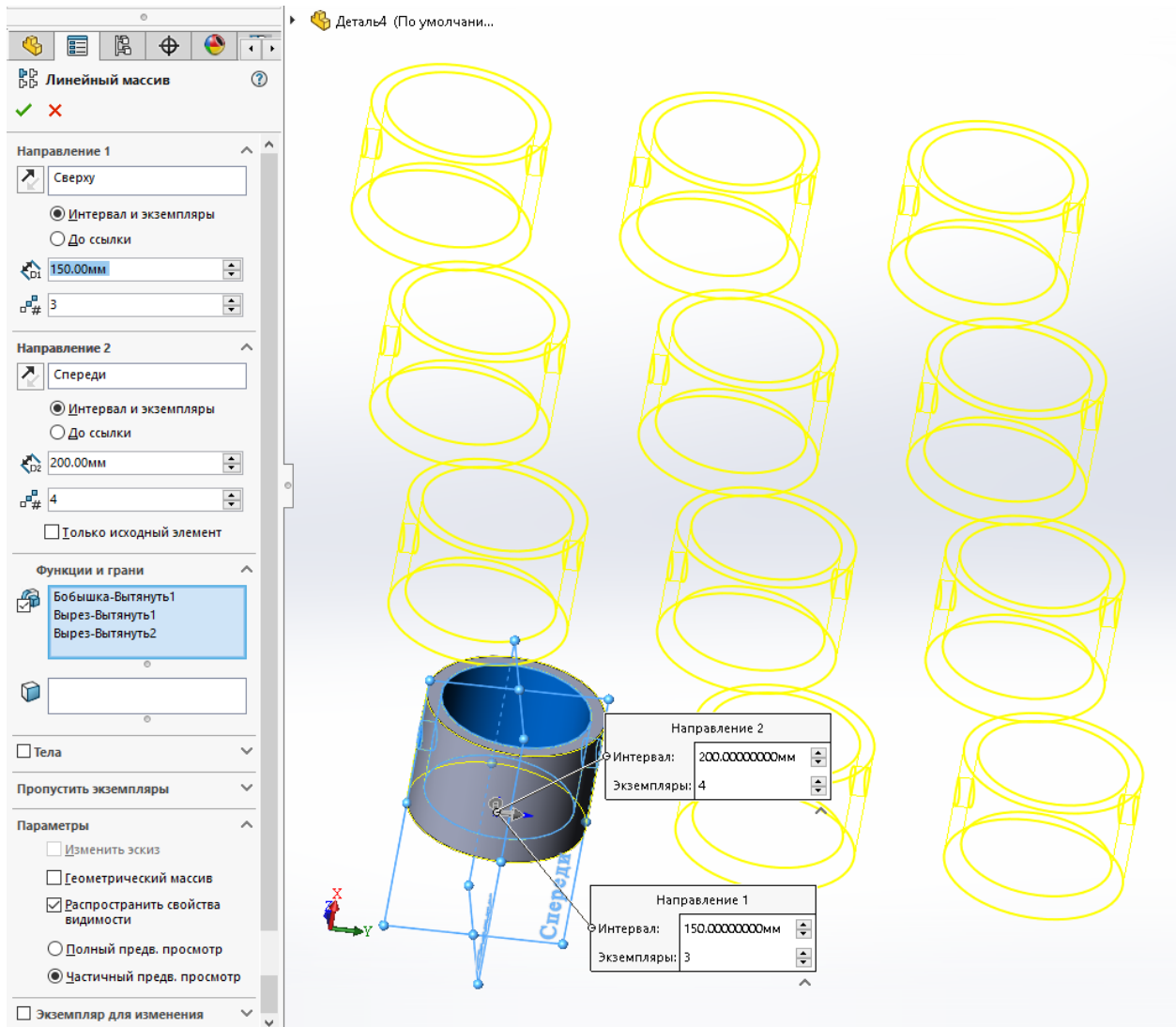


Рисунок 50.

- Створіть витягнуту основу у вигляді прямокутного паралелепіпеда.
- Виберіть будь-яку його грань і виріжте в її кутку отвір.
- Натисніть кнопку «Линейный массив», або зайдіть в меню «Вставка» - «Массив/Зеркало» - «Линейный массив».
- Вкажіть в якості «Направление 1» одне з ребер основи.

- Активізуйте вікно «Копировать элементы» і натисніть на отвір. Як альтернативний варіант можна активізувати вікно «Копировать грани» і вибрати по черзі всі грані, з яких складається отвір. Бічна циліндрична поверхня отвору теж вважається гранню. Копіювання граней буває корисно в разі, якщо модель імпортована з іншої програми і містить тільки грані, а не елементи.

- Задайте число копійованих елементів і відстань між ними. У графічній області буде показано попереднє розташування отворів масиву.

- Якщо необхідно, скористайтеся кнопкою «Реверс направления» для того, щоб скопіювати елементи розташовувалися по іншу сторону від вихідного.

- Натисніть «ОК».

В результаті вийде ряд отворів на заданій вами відстані. Уважно стежте, щоб який-небудь елемент масиву не «завис у повітрі», тобто всі елементи масиву повинні доводитися на поверхню паралелепіпеда, хоча б частково. В іншому випадку SolidWorks видасть повідомлення про помилку.

Задіємо тепер «Направление 2».

- Знайдіть в списку дерева конструювання «Линейный массив 1»

- Клацніть по ньому правою кнопкою миші і у вікні виберіть пункт «Редактировать определение». Ця дія поверне вас у вікно «Менеджера свойств» так, як ніби ви не натискали кнопку «ОК».

- Клацніть в зоні вікна «Направление 2»

- Виберіть ребро основи, перпендикулярний раніше обраному.

- Задайте число копійованих елементів і відстань між ними для другого напрямку.

- Якщо необхідно, скористайтеся кнопкою «Реверс направления» для того, щоб скопіювати елементи розташовувалися по іншу сторону від вихідного.

- Натисніть «ОК».

У вас вийде лінійний масив, що складається з декількох рядів отворів, показаний на рисунку «А» нижче. Жовтою стрілкою позначено «Направление 1», зеленою стрілкою - «Направление 2». Червоним позначено вихідний елемент.

У вікні групи «Направление 2» є додатковий параметр «Только исходный элемент». Він дозволяє при створенні масиву в двох напрямках копіювати в другому напрямку тільки вихідний елемент і не копіювати копії елемента в напрямку 1. На рисунку «В» показано те, що виходить при включенні цього параметра.

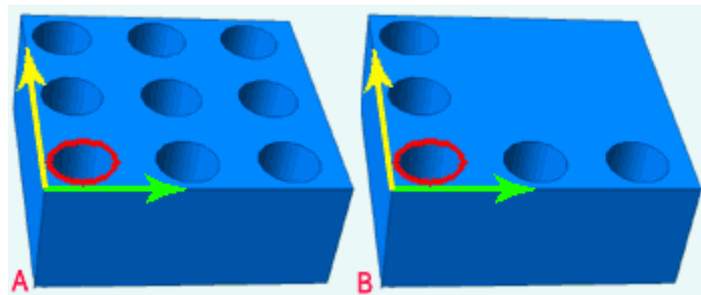


Рисунок 51.

Наступне вікно - «Пропустить екземпляр». Воно служить для виключення з масиву деяких елементів. На рисунку показано, що з масиву виключений центральний елемент. Для того, щоб виключити елементи з масиву, активізуйте вікно «Пропустить екземпляр». При цьому біля кожного елемента масиву з'явиться маркер, натиснувши на який можна внести елемент в список виключених. Щоб знову відобразити елемент - виберіть його в списку вікна «Пропустить екземпляры» та натисніть на клавіатурі клавішу «Delete».

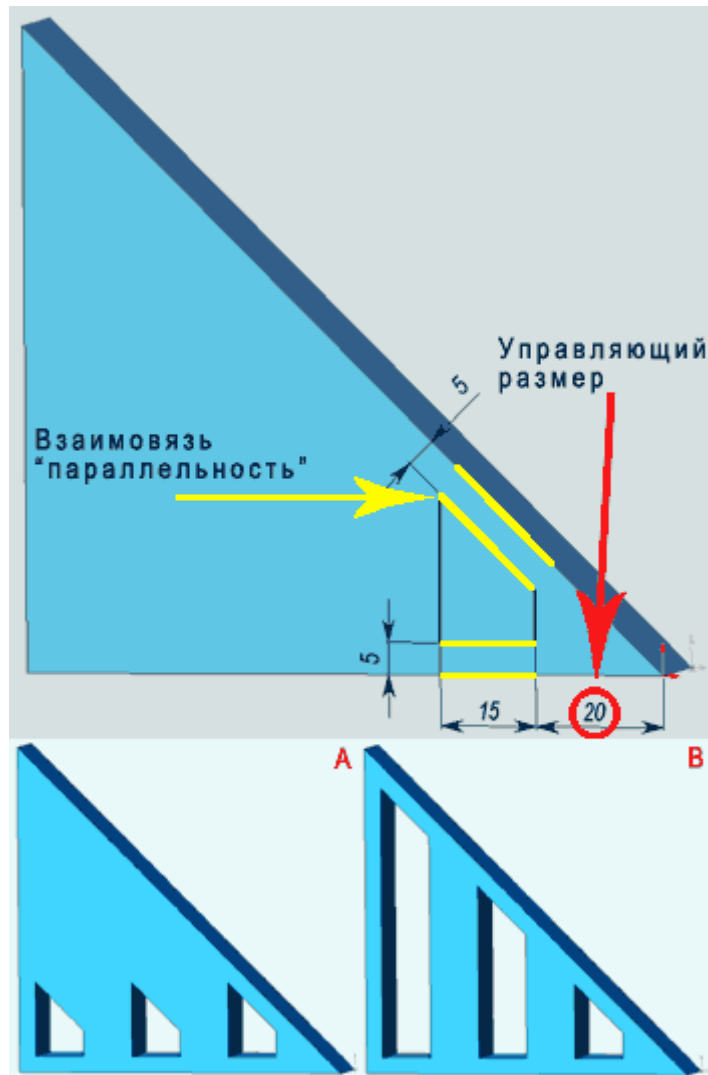


Рисунок 52.

Розглянемо тепер параметри операції «Линейный массив». З їх допомогою можна не тільки просто копіювати елементи, але і динамічно змінювати їх розміри.

Наприклад, нам потрібно, щоб виріз в трикутній деталі по вертикалі змінював свою висоту і завжди відстояв на 5 мм від гіпотенузи і катета трикутника основи.

Можна намалювати 3 ескізу окремо і витягнути кожен з них, а можна скористатися параметром Линейный Массив - Изменить Эскиз.

Намалюйте ескіз вирізу на межі основи. Попарно задайте взаємозв'язок «параллельность» сторонам ескізу вирізу і ребрах основи, так, як показано на рисунку жовтим кольором.

Розмір «20» на рисунку є «керуючим» розміром. Це означає, що при його зміні міняються розміри всього ескізу. Двічі натисніть на цей розмір і, використовуючи кнопки зміни значення параметра (зі стрілками), спробуйте поміняти значення розміру. При цьому весь ескіз повинен рухатися вліво-вправо і змінювати свою висоту.

Робимо з нашого ескізу виріз.

Вибираємо Линейный массив. Як Направление 1 виберіть розмір «20», тобто керуючий розмір. Налаштуйте кількість елементів і відстань і активізуйте параметр «Изменить эскиз».

Результат ви бачите на рисунку «В». А на рисунку «А» показаний той-же самий масив, але з виключеною функцією «Изменить эскиз».

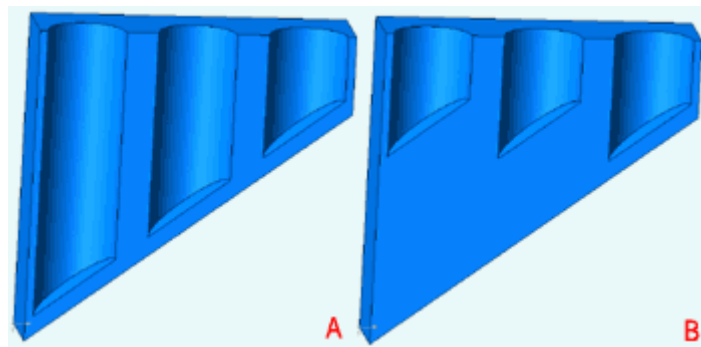


Рисунок 53.

Геометрический массив - це останній параметр в панелі менеджера властивостей Линейного массива.

Розглянемо роботу Геометрического массива на прикладі рисунка. На рисунку показаний розріз моделі, в якій виконаний виріз «на расстоянии от поверхности». Як поверхні задана скошена грань моделі. Після виконання вирізу заданий лінійний масив, двічі дублюючий виріз. На рисунку «А» показаний звичайний масив, що виходить при вимкненому

параметрі «Геометрический массив», а на рисунку «В» - то, що виходить при ВВІМКНЕНОМУ параметрі «Геометрический массив».

Як ми бачимо, в першому випадку для кожного екземпляра масиву вирішується заданий гранична умова «на расстоянии от поверхности», в результаті чого змінюється зовнішні розміри вирізу. У другому випадку кожен екземпляр просто копіює вихідний елемент, що прискорює промальовування всієї моделі.

Не можна створити геометричний масив елементів, межі яких злиті з іншою деталлю.

І останнє - якщо змінити вихідний елемент, відповідно йому зміняться і всі інші елементи масиву.

Інструмент «Круговой массив»

На рисунку представлена панель Менеджера свойств при виконанні операції «Круговой массив». Потримайте вказівник миші над елементами управління менеджера властивостей для того, щоб дізнатися призначення кожного елемента.

Круговий масив призначений для створення подібних геометричних об'єктів, розташованих по колу. Круговий масив здійснює копіювання обраних об'єктів, повертаючи їх на певний кут. Прикладом кругового масиву можуть служити спиці в колесі, сидіння каруселі тощо

Елементи менеджера властивостей і загальні прийоми роботи з круговим масивом практично ті-ж, що і при роботі з лінійним масивом. Однак, є й деякі відмінності, які ми зараз і розглянемо.

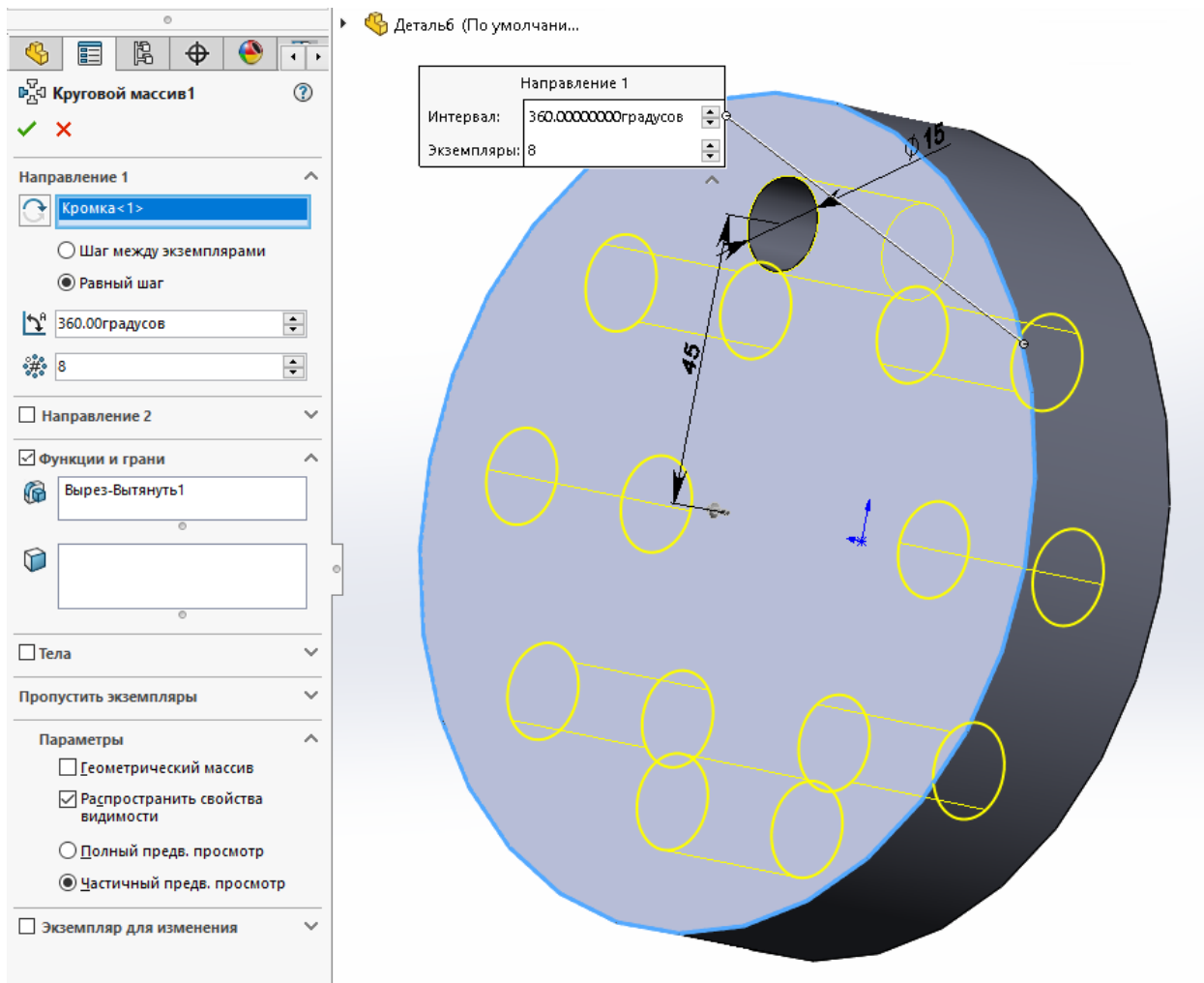


Рисунок 54.

- По-перше, кругової масив не має напрямків. Замість них використовується поняття «Массив оси». Оскільки для розміщення елементів по колу потрібна вісь, вона повинна бути задана.
- Як вісь може виступати як елемент «ось», так і будь-яке ребро або кромка, наявні в моделі.
- По-друге, замість відстані між екземплярами вказується «Угол» між екземплярами.
- У вікні настройки є параметр «Равный шаг». Його дія зводиться до обчислення кута між сусідніми елементами шляхом ділення «Суммарного угла» на «Количество экземпляро». За замовчуванням «Суммарный угол» дорівнює 360 градусам. Значення «Суммарного угла» при активації

параметра «Равный шаг» стає на тому-ж місці, де знаходився параметр «Угол».

Кнопка «Реверс направления» перевертає напрямок осі на 180 градусів. В результаті відлік починає вестися в іншу сторону. (Наприклад, був за годинниковою стрілкою, а став проти годинникової стрілки).

Інструмент «Зеркальное отражение элемента»

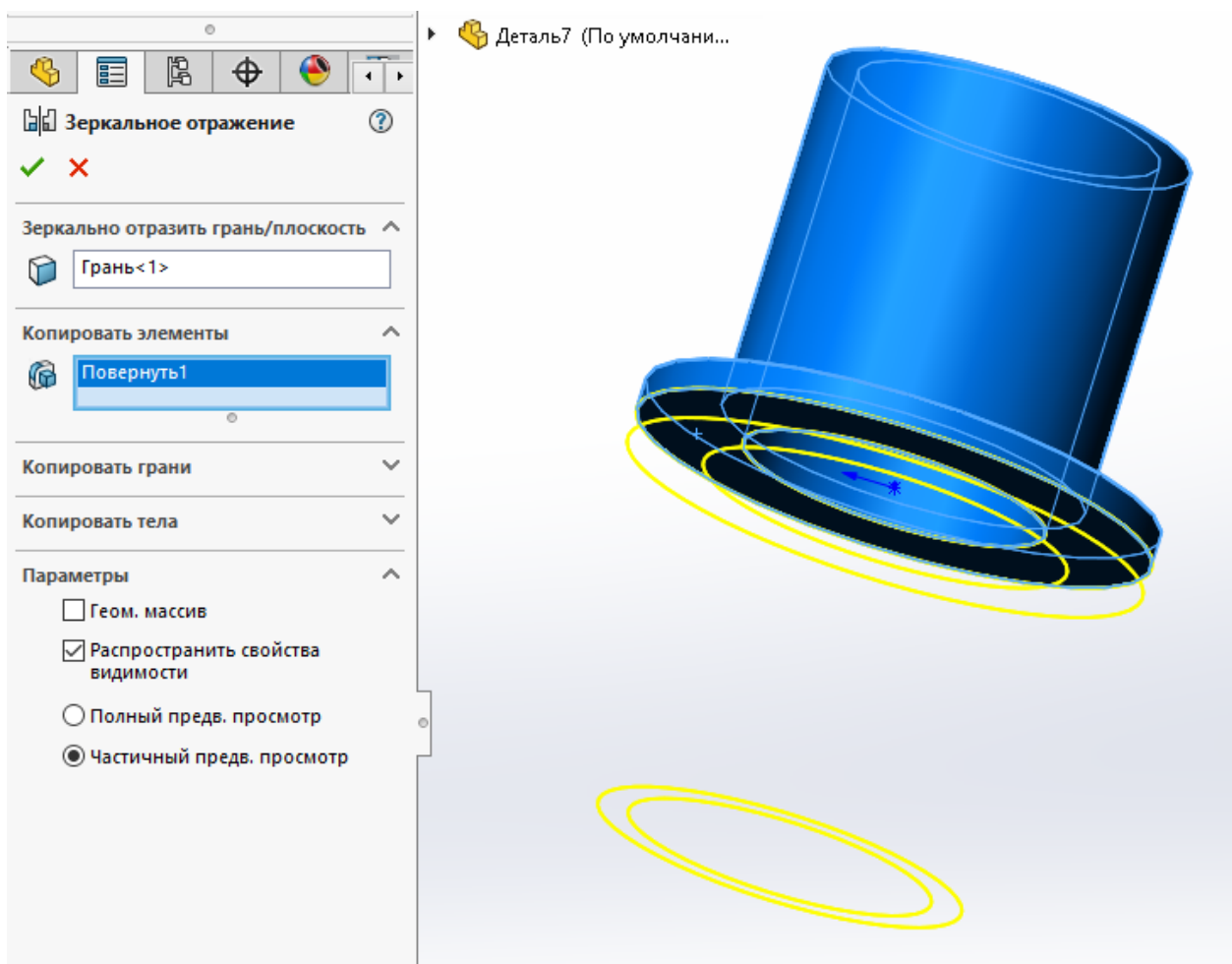


Рисунок 55.

На рисунку представлена панель Менеджера свойств при виконанні операції «Зеркальное отражение элемента». Потримайте вказівник

миші над елементами управління менеджера властивостей для того, щоб дізнатися призначення кожного елемента.

Зеркальное отражение элемента створює копію елемента або (декількох елементів), які дзеркально відображаються відносно площини.

Якщо Ви змінюєте вихідний елемент, дзеркально відбитий елемент теж змінюється.

Для створення дзеркального відображення елемента:

- Натисніть **Зеркальное отражение** на панелі інструментів «Элементы» або виберіть **Вставка, Массив/Зеркало, Зеркальное отражение**.

- Виберіть вікно **Плоскость симметрии** і виберіть площину або грань.

- Вибравши вікно **Копировать элементы**, натисніть на елемент або елементи в моделі або дереві конструювання **FeatureManager**.

- Якщо Ви хочете дзеркально відобразити тільки геометрію елемента (грані і кромки), а не весь елемент, виберіть **Геометрический массив**. Параметр **Геометрический массив** прискорює створення і перестроювання масиву. Також неможливо створювати геометричні масиви елементів, межі яких злиті з іншою деталлю.

Натисніть **ОК**.

Лекція 6. Зборка в SolidWorks

Загальні відомості про зборку

SolidWorks, крім створення окремих деталей і їх креслень, дозволяє створювати так звані «зборки», які за своєю суттю аналогічні складальним кресленням, використовуваним в традиційному машинобудуванні.

Щоб уявити, що таке зборка, приведемо життєвий приклад - банку з кришкою, що складається з деталей: банки і кришки, одягненою на банку.

Іншими словами, зборка - це сукупність моделей, між якими встановлені певні просторові взаємозв'язки (спряження).

Документи зборки мають розширення .sldasm.

Треба відзначити, що всередині файлу зборки не містяться деталі, що входять в зборку, в ньому зберігаються шляхи, що ведуть до файлів моделей, розташованим на вашому диску. Тому, якщо ви по необережності видалили або перемістили одну з деталей, що входять в зборку, або понесли замовнику файл зборки без моделей, що входять в неї, у вас нічого не вийде. SolidWorks спробує знайти «загублені» моделі, і коли не знайде, запропонує вам самостійно вказати йому шляхи до них.

В SolidWorks можна побудувати складні зборки, що складаються як з окремих деталей, так і інших зборок - вузлів.

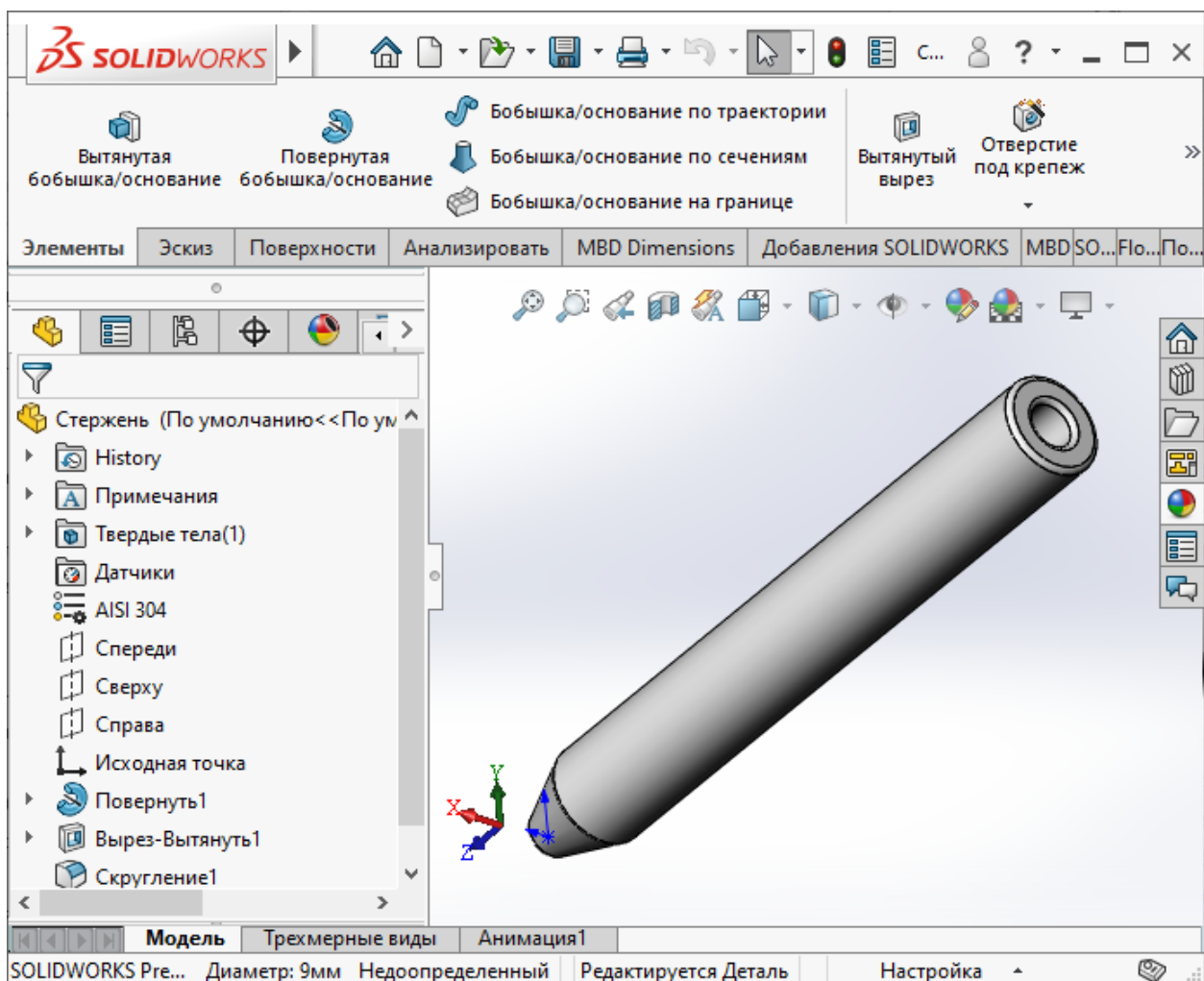


Рисунок 56.

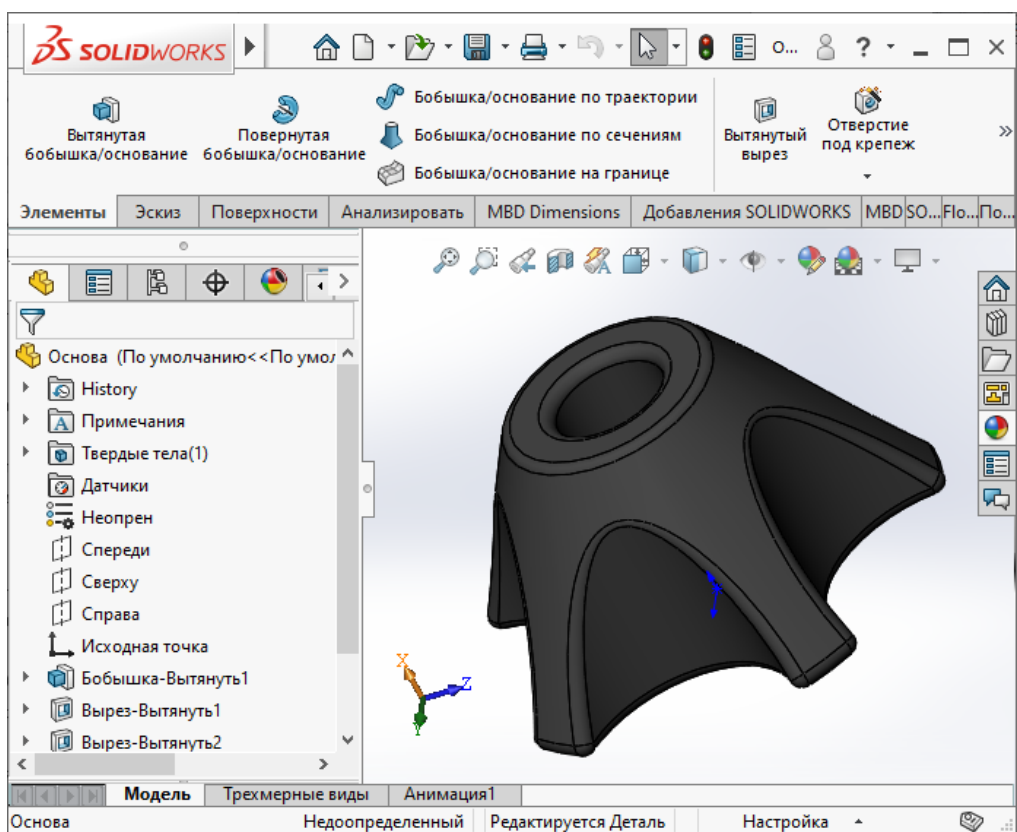


Рисунок 57.

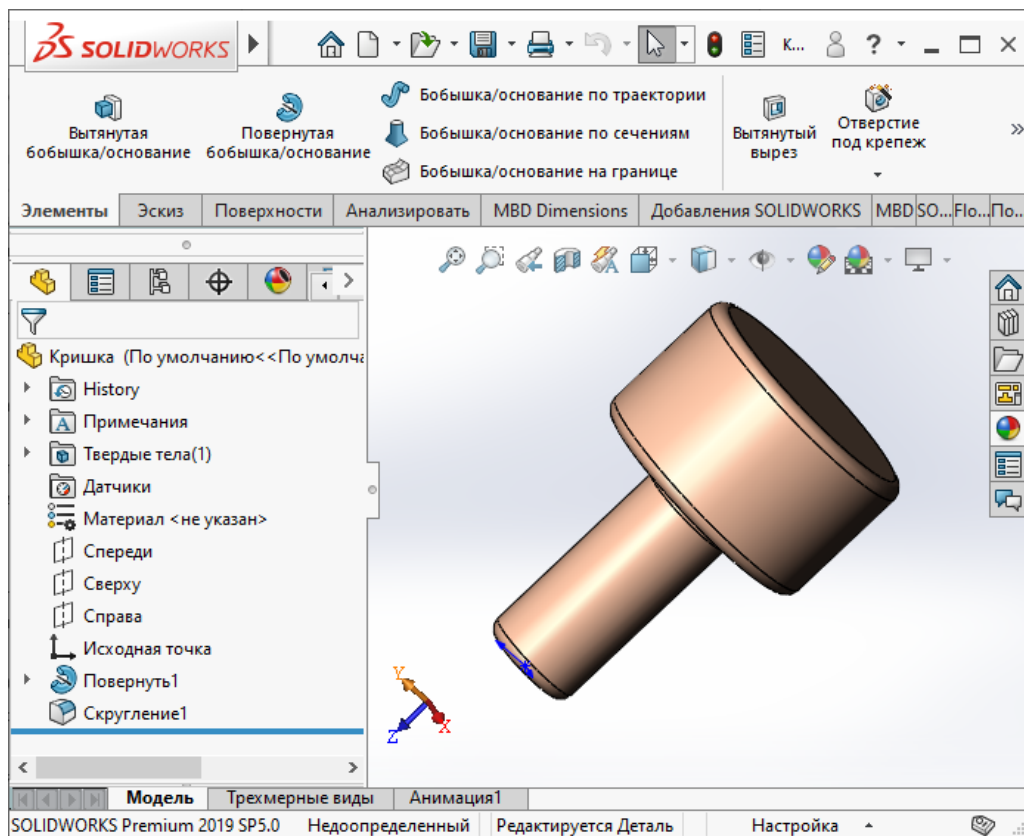


Рисунок 58.

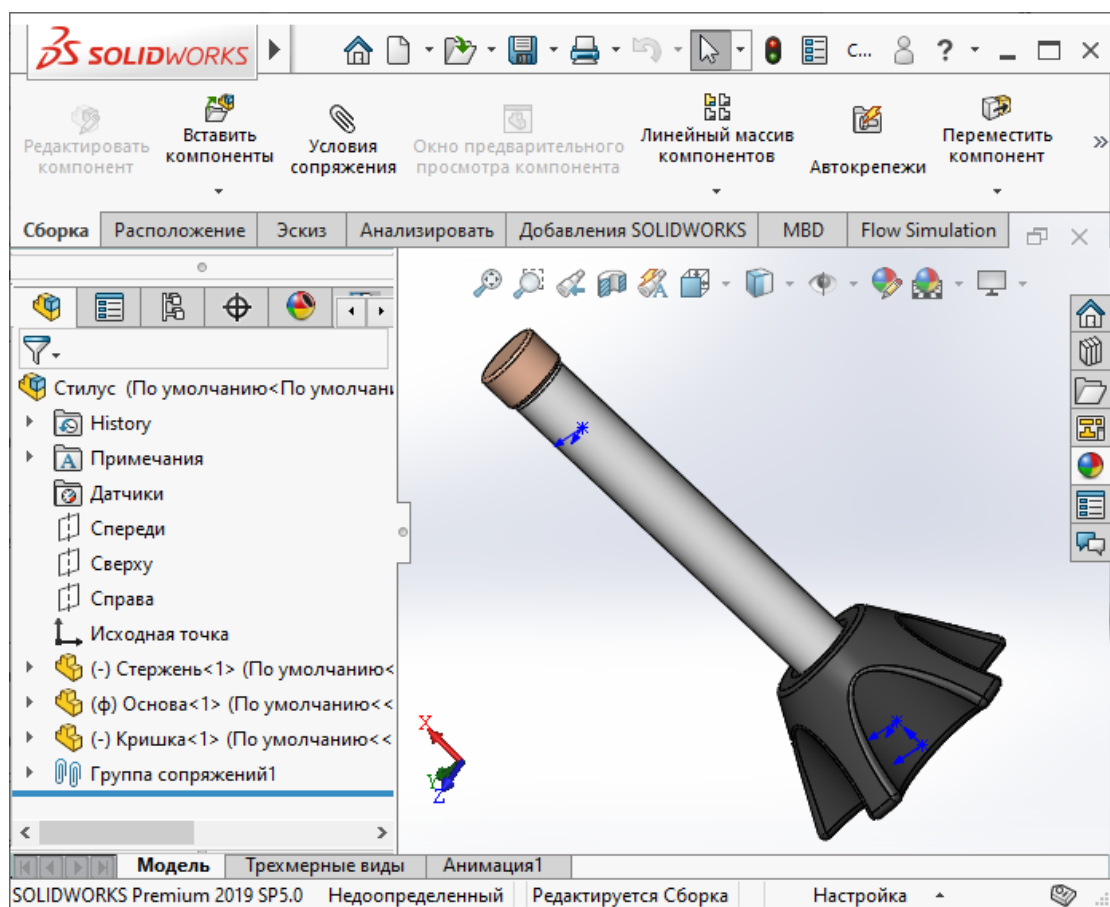


Рисунок 59.

Припустимо, ми хочемо створити збірку, що складається з трьох раніше створених моделей, як показано на рисунку.

Створимо новий файл збірки: «Файл -> Создать -> Сборка». Відкриємо раніше створені моделі, вибудуємо вікна зліва направо: «Окно -> Отобразить окна слева направо». Потім беремо мишкою модель в графічній частині вікна деталі і перетягуємо в графічну частину вікна збірки. Це один із способів додавання компонентів у збірку.

Інший варіант - взяти назву моделі з Дерева конструирования деталі і перетягнути його в поле Дерева конструирования збірки. Назва моделі додається в дереві конструювання збірки, а сама модель з'явиться в графічній області.

Крім цих, найрозповсюдженіших способів додавання компонент у збірку, можна використовувати наступні:

- Команда «Вставка -> Компонент»
- Перетягування компонента з Провідника Windows
- Перетягування гіперпосилання з Internet Explorer

Аналогічно можна додавати в більш складні зборки вже створені раніше зборки.

Для додавання стандартних елементів з бібліотеки кріпильних виробів, можна використовувати команду «Вставка -> Автокрєпежи».

Щоб видалити компонент з збірки, натисніть правою кнопкою миші на назві компонента в дереві конструювання, і, в меню, виберіть пункт «Удалити».

У Дереві конструювання біля назви компонентів може бути присутнім позначення (префікс), що надає інформацію про стан його взаємозв'язків з іншими компонентами:

- (-) недовизначено
- (+) перевизначено
- (f) зафіксовано
- (?) не вирішено

Відсутність префікса означає, що положення компонента повністю визначено.

При збереженні збірки шлях і ім'я кожного компонента з посиланням зберігаються в документі збірки. З цієї причини необхідно завжди дотримуватися обережності при збереженні або перейменування документа компонента, а також при переміщенні його в іншу папку.

Панель інструментів «Зборка»

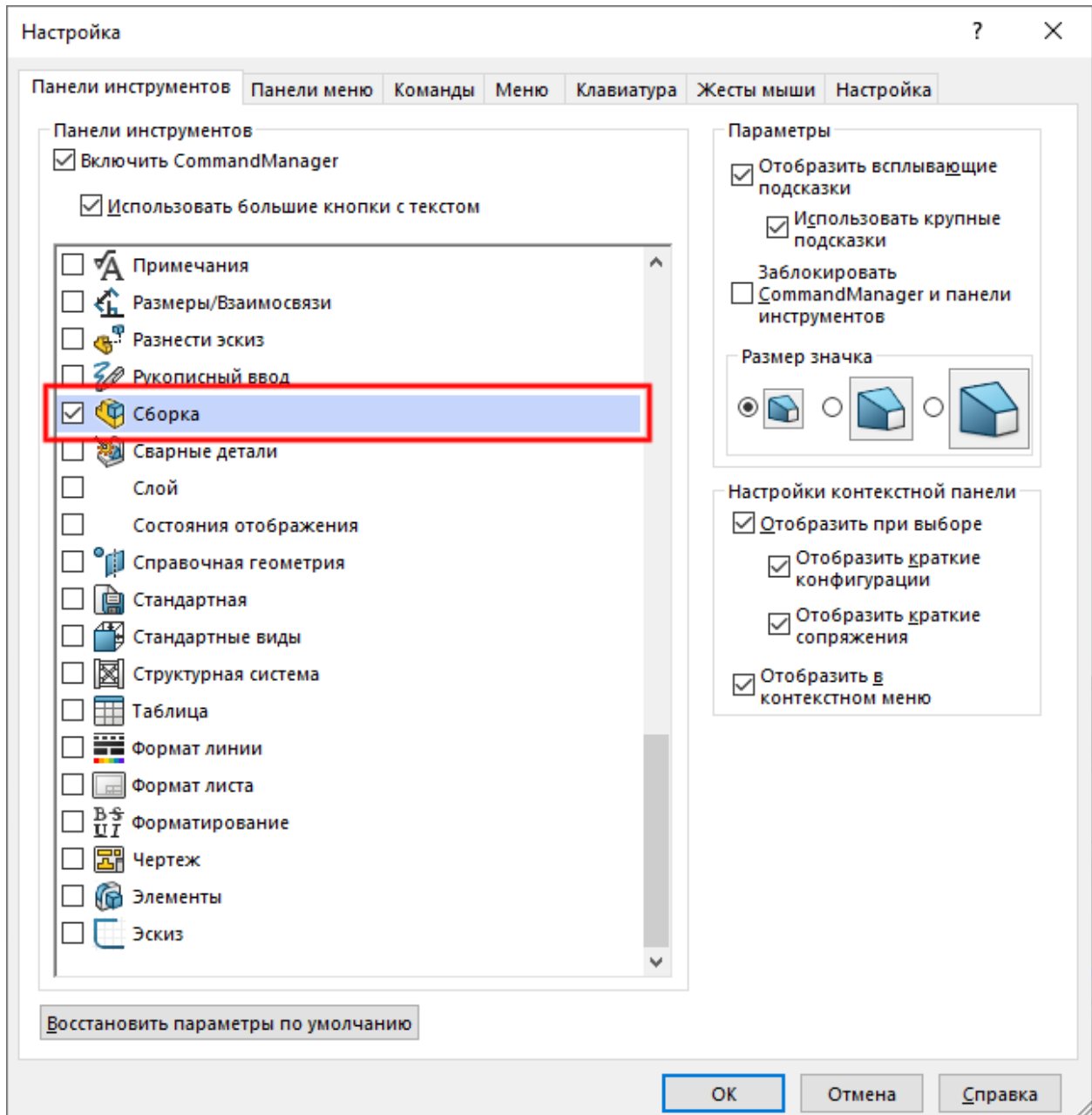


Рисунок 60.

Щоб відобразити панель інструментів «Сборка» необхідно увійти в пункт меню «Инструменты -> Настройка», вибрати вкладку «Панель инструментов» і поставити галочку навпроти слова «Сборка» (див. рисунок). Панель з'явиться на екрані. Як і всі інші панелі інструментів, її можна переміщати в зручне для вас місце, перетягуючи мишею.

Познайомимося докладніше з вмістом панелі «Сборка». Щоб дізнатися назву інструмента на панелі потримайте курсор над фрагментом рисунка і прочитайте підказку.



Рисунок 61.

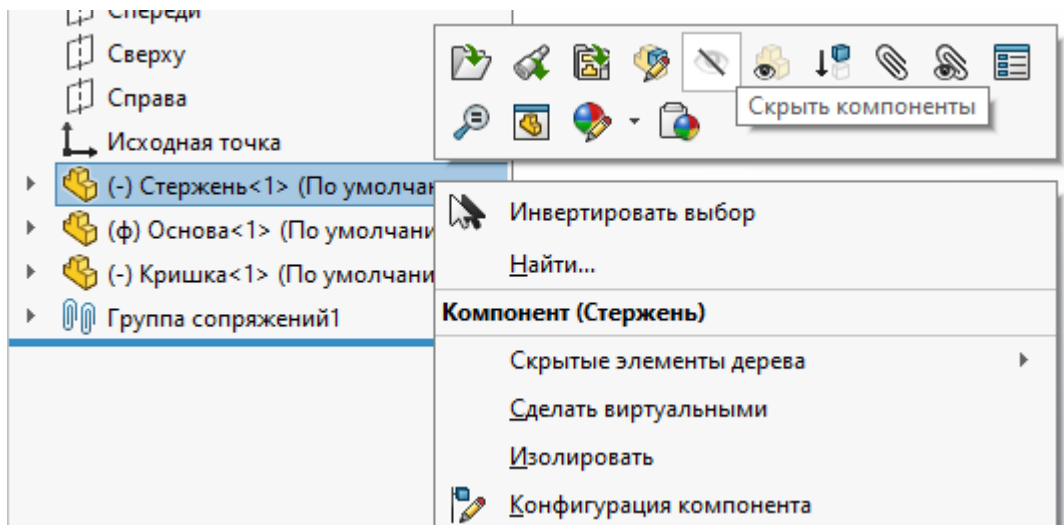


Рисунок 62.

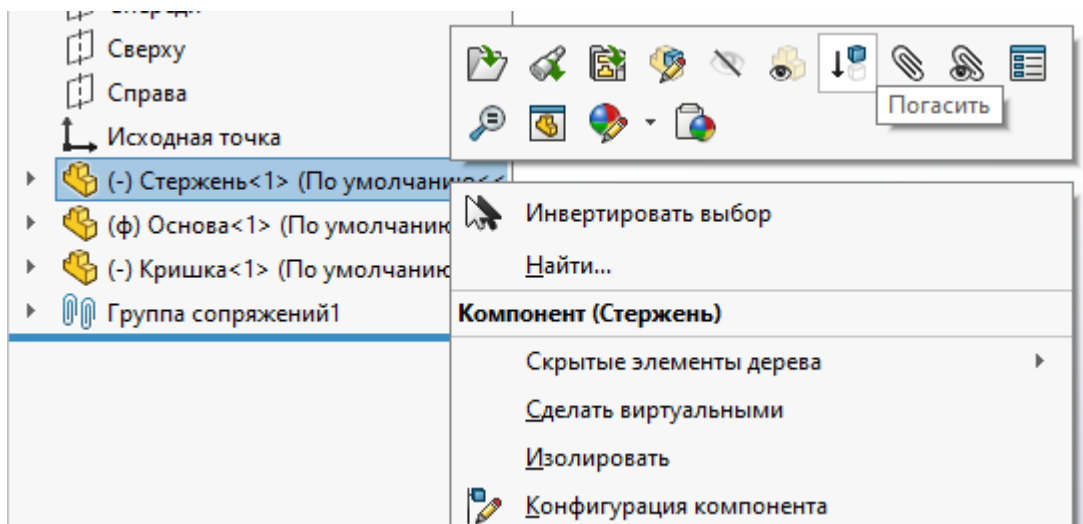



Рисунок 63.

«Скрыть/отобразить компонент» (в перекладі довідки - погашений компонент) корисний якщо ви працюєте зі складною зборкою і вам необхідно тимчасово вимкнути відображення будь-якої деталі, що входить в зборку. Станьте на назву цієї деталі в дереві конструювання та натисніть на цей інструмент, зображення деталі пропаде з екрану, а її назва і умовне зображення в дереві стане світло-сірого кольору. Щоб включити її відображення, треба встати на назву і повторно натиснути на інструмент «Скрыть/отобразить компонент» або скористатися пунктом контекстного меню «Скрыть/отобразить компонент» по кліку правої кнопки миші.

Треба враховувати наступне: погашений компонент не завантажується в пам'ять і більш не є функціональною частиною зборки. Погашений компонент невидимий і вибрати його елементи не можна. Він видаляється з пам'яті, тому швидкість перестроювання і відображення підвищується. Однак спряження, в яких використовуються погашення компоненти, також погашаються. В результаті положення компонентів зборки стає недовизначеним. Це також може вплинути на елементи в контексті, що містять посилання на погашення компоненти. При поверненні погашеного компонента в повністю вирішений стан можуть виникнути конфлікти. Тому стан погашення при моделюванні слід використовувати дуже обережно. «Вставить автокрепежи»  повністю виправдовує свою назву. Він дозволяє вставляти болти і гвинти в обрані отвори в зборці, які бере з бібліотеки.

Редагування деталей у зборках

При створенні зборки, крім додавання нових компонентів і установки спряжень, існує можливість редагувати всі компоненти, що входять в зборку.

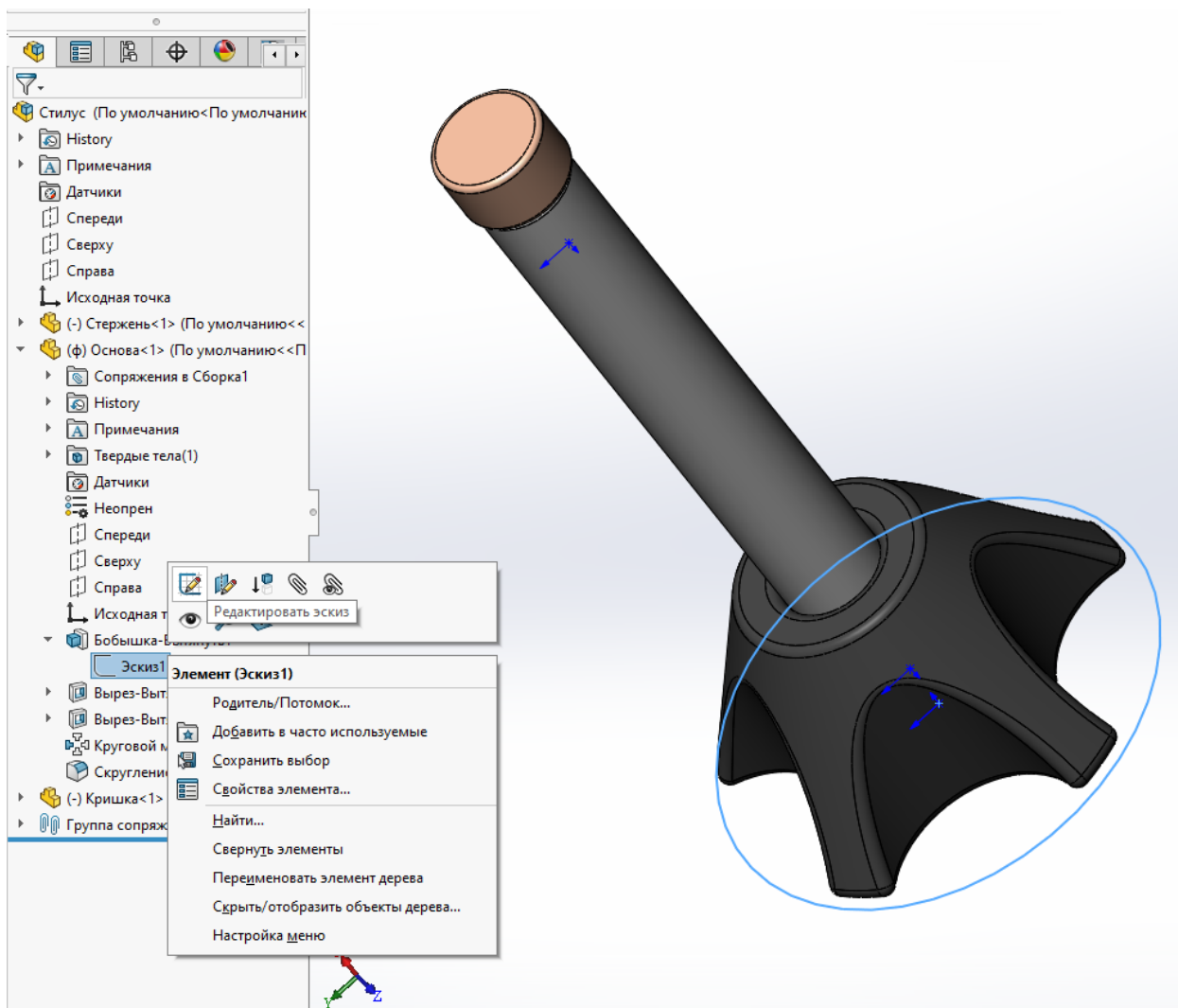


Рисунок 64.

Щоб відредагувати будь-якої ескіз або визначення будь-якого компонента, розгорніть дерево конструювання цього компонента і натисніть правою кнопкою на тому елементі, який ви хочете відредагувати. У контекстному меню виберіть «редагувати ескіз» або «редактировать определение» в залежності від того, що ви збираєтеся редагувати. SolidWorks автоматично увійде в режим редагування компонента, виділивши дерево конструювання редагованої деталі рожевим кольором.

Редагування деталі в збірці надає більше можливостей, ніж редагування її окремо. В ескізах, що створюються під час редагування

деталі в зборці, може використовуватися будь-яка кромка або грань будь-якої деталі. Розміри можна вказувати також щодо будь-якої кромки або межі будь-якої деталі. Для елементів можуть використовуватися додаткові кінцеві умови, наприклад, «до поверхності», «до другого компонент».

Перебуваючи в режимі редагування, ви бачите всю зборку цілком.

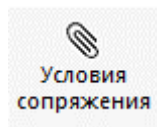
При зміні компонента в зборці, автоматично змінюється і файл цього компонента. Більш того, якщо одночасно зі складанням в іншому вікні відкритий цей компонент, то він також зміниться.

Спряження у зборках

Сопряжения в сборке це по суті справи ті-ж самі взаємозв'язку, за допомогою яких створюються моделі деталей, лише між компонентами зборки.

Для того, щоб задати спряження можна:

- натиснути на кнопку «Сопряжение» у вигляді скріпки на панелі



інструментів «Сборка» .

- вибрати в меню «Вставка -> Сопряжение».

Відкриється вікно Менеджера свойств. Виберіть потрібні об'єкти на компонентах, їх назви будуть відображені в полі «Сопрягаемые объекты».

Під час зазначення об'єктів можна сміливо повертати, перемішати і змінювати масштаб компонентів і зборки в цілому.

Якщо ви хочете задати відразу кілька спряжень, а потім вирішити їх всі одночасно, встановіть параметр «Определить и решить несколько сопряжений». На етапі освоєння програми, небажано користуватися цією можливістю, оскільки поетапне створення спряжень більш наочно і дозволяє швидше відстежити помилки при роботі.

Для перевертання пов'язаних компонент відносно один одного служить параметр «Выравнивание»

Выравнивание працює з векторами нормалі до вказаних поверхонь. Вектор нормалі виходить з поверхні компонента.

- Вирівняні спряження мають вектори нормалей, спрямовані в одну сторону.
- Невирівняні спряження мають вектори нормалей, спрямовані в протилежні сторони.
- Спряження, розташовані максимально близько будуть вирівняні або не вирівняні в залежності від того, яка умова задовольняється при найменшому русі.

Якщо ви хочете подивитися, що вийде після натискання кнопки «ОК», натисніть «Предварительный просмотр»


Якщо вам не сподобалося те, що ви побачили, натисніть кнопку «Отменить ввод» і спробуйте змінити параметри спряження.

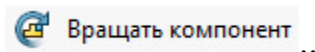
Спряження створює геометричні взаємозв'язки, такі як збіг, перпендикулярність, дотичність тощо **SolidWorks** досить інтелектуальна програма, тому вона пропонує тільки ті типи спряжень, які можливі для обраних об'єктів, оскільки кожна взаємозв'язок спряження дійсна для певних поєднань геометричних форм.

Можливі варіанти типів спряжень:

- Угол
- Параллельный
- Совпадение
- Перпендикулярный
- Концентричность
- Симметричный
- Расстояние
- Касательный

Переміщення і обертання компонента

Після додавання компонента в зборку, його можна перемістити до місця передбачуваного сполучення з іншими компонентами. У цьому нам допомагають два інструменти панелі «Сборка»: «Переместить компонент»  Переместить компонент та «Вращать компонент»



При переміщенні можна встановлювати такі параметри:

- **Свободное перемещение** - компонент переміщається в будь-якому напрямку.

- **Вдоль сборки XYZ** - компонент переміщається уздовж осей X, Y або Z зборки. У графічній області з'являється система координат, що полегшує орієнтування.

- **Вдоль объекта** - компонент переміщається уздовж обраного об'єкта. Якщо цим об'єктом є лінія, кромка або вісь, пересувається компонент має одну ступінь свободи. Якщо в якості об'єкта обрана площину або плоска грань, переміщуваний компонент має два ступені свободи.

- **Дельта XYZ** - компонент переміщається на вказане вами відстань від свого поточного положення.

- **Расположение XYZ** - компонент переміщається в зазначені вами координати, відносно початкової точки зборки.

При обертанні можна встановлювати такі параметри:

- **Свободное перемещение** - компонент обертається в будь-якому напрямку.

- **Вокруг объекта** - компонент обертається навколо обраної лінії, кромки або осі.

- Дельта XYZ - компонент обертається на вказаний вами кут від свого поточного положення

Зверніть увагу, що неможливо перемістити або повернути компонент, чиє розташування зафіксовано або повністю визначено. Можна переміщати компонент тільки в межах ступенів свободи, що допускаються взаємозв'язками спряжень.

Лекція 7. Інжиніринг і його місце у науково-технічному прогресі

Поняття інжинірингу

Інжиніринг - це сукупність проектних і практичних робіт, що відносяться до інженерно-технічної сфери. Як самостійний вид комерційних операцій інжиніринг передбачає надання на основі договору про інжиніринг однією стороною, що іменується консультантом, іншій стороні, що називається замовником, комплексу або окремих видів інженерно-технічних послуг, пов'язаних з проектуванням, виготовленням і введенням виробу в експлуатацію, з розробкою нових технологічних процесів на підприємстві замовника, удосконаленням наявних виробничих процесів аж до впровадження виробу у виробництво і навіть збуту продукції.

Ознаками інжинірингу в загальних рисах можна назвати наступні моменти:

1. Різні знання, яким притаманна відносна практична новизна і які подаються замовником у вигляді науково-технічних послуг найрізноманітнішого характеру.
2. Допоміжний характер по відношенню до основних інновацій.
3. Високий ступінь корисності або промислової придатності.

Предметна область інжинірингу

Основою інжинірингу є розробка, зміна (з метою поліпшення) і контроль втілення в життя технологічних, організаційних та фінансово-економічних моделей технічних систем (об'єктів) відповідно до поставлених цілей. Іншими словами, інженери інжинірингових компаній працюють з моделями на різних фізичних носіях відповідно до положень теорії подібності та моделювання. Вони мають справу з віртуальними і реальними об'єктами: спочатку створюють віртуальний об'єкт, потім здійснюють технічний супровід втілення його в реальний об'єкт; в ході експлуатації коректують віртуальну модель згідно параметрам реальному житті устаткування, будівель і споруд, що взаємодіють в технологічному ланцюжку випуску продукції.

У будівництві мета інжинірингу - розробити модель і створити об'єкт, як можна ближче відповідний цій моделі. При експлуатації необхідно в першу чергу коректно моделювати технологічні процеси з урахуванням реальних подій життєвого циклу об'єкта. Таким чином, на всіх етапах інжинірингу потрібно безперервне моделювання: в період виготовлення (будівництва) - моделювання пристрою об'єкта, на стадії експлуатації - моделювання процесів.

Яскравою ілюстрацією цього твердження є сучасні інжинірингові компанії, переважна більшість яких зайняті підготовкою та супроводженням проектів, виконуючи функції:

- технічного агента, інженера-замовника;
- технічного консультанта при здійсненні закупівель і на всіх етапах передінвестиційної стадії проектів;
- технічного фахівця в командах управління проектами;

- виконавця передпроектної документації - технічних пропозицій, концепцій, обґрунтування інвестицій (тобто того, що вкладається в зміст терміну Basic Engineering);

- інтегратора і (або) замовника проектної та робочої документації.

Настільки розмита предметна область інжинірингового бізнесу, виправдана нестачею саме технічних фахівців з організаторськими здібностями (або навпаки - менеджерів з технічним нахилом), в даний час вимагає перегляду. Точно так же вимагають перегляду і об'єктна сторона інжинірингу, і його організація.

Таким чином, інжиніринг як сферу бізнесу можна досить чітко розділити на два сегменти:

а) будівельний і виробничий інжиніринг, який найбільш поширений в даний час і про який йшла мова вище;

б) експлуатаційний інжиніринг - менш «публічний» вид діяльності, але постійно затребуваний в процесі експлуатації енергооб'єктів.

Різні фахівці розглядають предметну область інжинірингу по-різному, виходячи з конкретних функціональних цілей. Наведемо кілька прикладів.

Існує тенденція розділення інжинірингу на три частини:

1. Інженерія: проектування, конструювання, рішення технічних завдань.

2. Виготовлення (будівництво) об'єктів «під ключ» (EPC / EPCM - Engineering, Procurement, Construction / Management).

3. Управління термінами виготовлення (будівництва) та вартістю об'єкта (входить до складу Engineering Economy - інженерної економіки).

Також актуальними стають такі завдання:

- сервіс та управління ремонтами обладнання;
- IT-супровід та підтримка проектів;
- комплектація обладнання і логістика.
- підготовка технічної та комерційної документації;

- управління виробництвом (будівництвом);
- комплектація об'єктів обладнанням і матеріалами;
- координація дій партнерів (субпідрядників);
- навчання персоналу замовника роботи на поставленому і введеному в експлуатацію обладнанні.

Як бачимо, інжиніринг як правило тісно пов'язаний з бізнес-процесами в рамках реалізації інвестиційних проектів.

Таким чином, під будівельним і промисловим інжинірингом слід розуміти створення моделі промислового об'єкта і управління процесом її втілення - від інвестиційного задуму до введення в експлуатацію і підтвердження відповідності фактичних параметрів застосовуваних технологій розрахунковим характеристикам.

Експлуатаційний інжиніринг - це цілеспрямована корекція моделі в період експлуатації системи (об'єкта) відповідно до поставлених завдань. Крім того, експлуатаційний інжиніринг передбачає повсякденну роботу експлуатаційного персоналу, постійно має справу не тільки з конкретним обладнанням, будівлями і спорудами, виробничими циклами, а й з їх функціональними моделями, за допомогою яких оцінюється ефективність технологічних процесів і стан об'єктів.

В останні 30 років міжнародна громадськість і уряди приділяють все більше уваги екологічним аспектам промислового / цивільного будівництва і виробництва. Деякі фахівці навіть виділяють особливу сферу інженерної діяльності - екологічний інжиніринг. Його змістом є моделювання природоохоронних заходів, а також формулювання екологічних вимог до проектної документації та контроль їх втілення при зведенні об'єктів.

З огляду на тісний зв'язок будівництва та охорони навколишнього середовища, варто відзначити важливість екологічних проблем (точніше, їх рішення) в якості складової інжинірингу. Причому тут доводиться констатувати наростаюче рік від року ускладнення бюрократичного

оформлення екологічної дозвільної документації, крім цілком зрозумілого посилення вимог до обладнання, матеріалів і конструкцій в частині їх екологічного впливу на навколишнє середовище.

Світовий досвід свідчить, що розвиток предметної області інжинірингу має відбуватися в напрямку від розв'язання окремих завдань до комплексного інжинірингу, відповідного даному вище визначенню, а розвиток бізнесу - від торгівлі окремими послугами до торгівлі моделями і технологіями (способами) їх втілення в реальні об'єкти.

У 1981 р американська Асоціація інженерів цивільного будівництва (ASCE) випустила «Посібник з використання послуг інженерів». У цьому документі проаналізовано практика інженерного консультування, дана класифікація інженерних послуг, показана процедура вибору інженера, висвітлені й інші супутні питання. Послуги, пропоновані сучасними інженерно-консультаційними фірмами, за визначенням ASCE, яка є «законодавцем» сучасного інжинірингу, включають в себе наступні вісім груп:

1. *Прямі індивідуальні послуги.* До них відносяться послуги окремих консультантів зі спеціальними знаннями, в тому числі допомога в підготовці юридичних процедур, присутність і виступи в суді, а також опрацювання інженерно-технічних питань.

2. *Попередні техніко-економічні дослідження і фінансово-економічні порівняння.* Ці послуги можуть передувати затвердження проекту і включати аналіз умов і зіставлення декількох можливих варіантів, в тому числі вплив об'єкта на навколишнє середовище, експлуатаційні витрати, фінансові аспекти, зокрема очікуваний дохід. Результати служать основою для висновків і рекомендацій про доцільність технічного рішення (спорудження об'єкта).

3. *Вивчення потенціалу планування.* Йдеться про попередні дослідження при створенні генпланів або довгострокових програм

економічного розвитку регіонів (міст) з урахуванням впливу зовнішніх умов.

4. *Оцінки і розрахунки витрат.* Ці послуги можуть включати аналіз капітальних, експлуатаційних і накладних витрат, ставок кредитування.

5. *Допомога в фінансових питаннях.* Поради та фінансові рекомендації щодо джерел фінансування.

6. *Управління виробництвом (будівництвом).* Дана група послуг має на увазі застосування техніки управління і прийняття рішень на різних етапах виробництва (стадіях будівництва).

7. *Інспектування і випробування обладнання і матеріалів.* До цих послуг належать приймання обладнання на заводах фірм-продуцентів і випробування матеріалів, що застосовуються підрядником для спорудження об'єкта (на місці будівництва).

8. *Експлуатаційні послуги.* По завершенні будівництва інженерно-консультаційна фірма на прохання замовника приймає на себе відповідальність за початкову експлуатацію об'єкта як автор проекту.

Перелік послуг комплексного інжинірингу може бути розширений за бажанням замовника в напрямку надання інженерно-консультаційної підтримки з боку спеціалізованих фірм на наступних етапах експлуатації об'єкта або навіть допомоги в реалізації продукції, виготовленої на цьому об'єкті. Таким чином, **в міжнародній практиці комплексний інжиніринг в широкому сенсі включає:**

- *консультативний, або «чистий», інжиніринг (Consulting Engineering),* пов'язаний з проектуванням об'єкта, створенням планів будівництва і контролю за проведенням робіт (авторський нагляд); він не передбачає поставку обладнання, виконання будь-яких будівельних заходів, передачу ліцензій або технологій;

- *технологічний інжиніринг (Process Engineering),* що складається в наданні замовнику технологічної інформації, необхідної для будівництва

промислового об'єкту і його експлуатації (передача виробничого досвіду і знань, технології та патенти);

- *будівельний і виробничий, або загальний, інжиніринг (General Contracting)*, що охоплює проектування і постачання устаткування і техніки та / або монтаж установок, а при необхідності і інженерні роботи.

Відповідно до вищесказаного в різних країнах можна виділити наступні категорії інжинірингових компаній - в залежності від предметної області послуг:

- *інженерно-консультаційні*, які надають відповідні послуги без наступної поставки обладнання;

- *інженерно-будівельні та промислові (контрактори)* - вони можуть надавати весь комплекс послуг, пов'язаних зі створенням промислових та інших об'єктів на умовах «під ключ»;

- *консультаційні з питань організації та управління (Management Consultant)* - до переліку їх послуг входить управління підприємствами, організація виробництва, збуту тощо .;

- *інженерно-дослідні*, що спеціалізуються головним чином на розробці технології виробництва нових матеріалів.

Доцільність зосередження послуг комплексного інжинірингу в рамках однієї компанії обумовлена такими міркуваннями:

- промисловий об'єкт - надзвичайно складна система, що вимагає єдності задуму і втілення, а також єдності відповідальності за прийняті технічні рішення;

- оптимальний спосіб роботи з моделлю - «занурення» в неї від задуму до деталізації в робочих кресленнях;

- накопичення компетенцій найбільш ефективно і корисно, коли творець моделі бере участь в її втіленні, аналізує досвід експлуатації об'єкта і акумулює практичні знання з метою вдосконалення моделі;

- тільки розпорядник (власник) моделі може типізувати її, застосовувати («прив'язувати»), оптимізувати за критерієм ціна / якість.

Поєднання всіх видів інжинірингових робіт з моделлю об'єкта, втіленої в технічну документацію, призводить до того, що комплексна компанія крім виконання традиційних функцій:

- бере участь в самих ранніх стадіях передінвестиційної фази проекту - опрацювання інвестиційного задуму і створення документації (концепції, техніко-комерційної пропозиції - ТКП, обґрунтування інвестицій - ОІ);

- готує технічну частину тендерної документації за замовленням основного обладнання, за вибором ЕРС / ЕРСМ-контрактора;

- розробляє розділ організації будівництва і в його складі формує графік робіт (в системах Primavera, Microsoft Project та ін.), Який стає невід'ємною частиною проектної документації: відповідальний творець моделі повинен знати, як вона втілиться в життя;

- бере участь в управлінні проектом будівництва (шляхом включення своїх представників до групи управління) або організації цього процесу (створює групу управління проектом).

Як впливає з вищевикладеного, майбутнє, по-перше, за комплексним інжинірингом - наданням повного спектру послуг при будівництві або при експлуатації; по-друге, за компаніями, що працюють в обох формах інжинірингу - будівельної та експлуатаційної. В повний спектр послуг обов'язково повинна входити розробка проектної і робочої документації для будівництва.

Це повинно призвести до того, що:

а) *замовник звільниться від невластивих йому інжинірингових функцій;*

б) *відбудеться укрупнення і виросте компетенція інжинірингових компаній;*

в) *підвищиться якість розробки проектів.*

На ринку розшириться частка і діапазон пропозицій комплексного продукту, який може і повинен оптимізуватися в результаті технічного прогресу і зміни зовнішніх умов. При цьому конкурентний простір змушені будуть покинути численні псевдоінжинірингові структури, утворені для «відмивання» грошей; зменшиться вартість робіт, вартість проектів.

Структура інжинірингу

В основу уяви про змістовну частину комплексного інжинірингу логічно помістити досить добре випробувану в міжнародній практиці структуру організації проекту яка показана на рисунку 65.

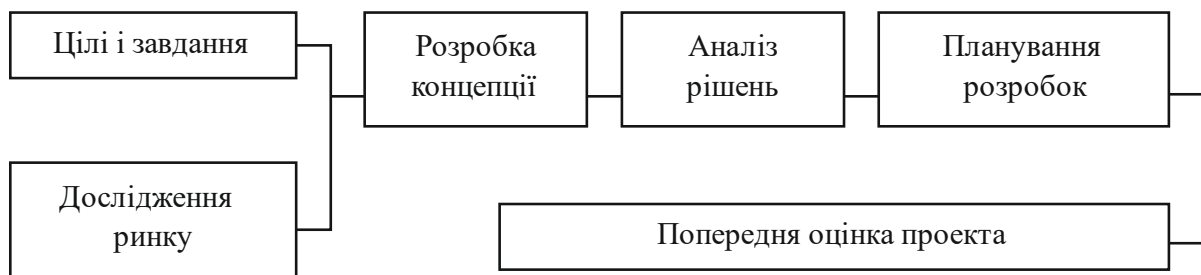


Рисунок 65. Етап попереднього аналізу проекту

Техніко-економічний аналіз проекту є найбільш важливим етапом розробки, оскільки кінцевий результат в значній мірі залежить від того, наскільки кваліфіковано і переконливо прийняті основні рішення і положення забезпечать надалі успіх проекту на ринку машинобудівної продукції. Перш за все, формулюються цілі проекту і визначаються завдання, які, на думку розробників, повинні домогтися досягнення поставленої мети. Ця частина роботи будується на основі матеріалів з вивчення ринку попиту і пропозицій; аналізу розвитку технічних і інформаційних засобів; обліку можливих коопераційних зв'язків тощо На основі отриманих даних створюється модель майбутнього проекту і його

можливі різновиди. Розробляється укрупнений план реалізації проекту. На цьому етапі в число учасників розробки, крім керівництва і провідних фахівців інжинірингової організації, входять представники замовника проекту та авторитетні консультанти з боку по специфічних проблем і питань.

На наступному етапі проекту, приблизно в тому ж складі розробників, формується концепція розробки, яка ґрунтується на ретельному аналізі дійсного і прогнозованого положення підприємства в майбутньому, на розумінні динаміки попиту продукції на ринку, на основі обраної структури з урахуванням використання нових технологій і технічних рішень. Робота на цьому етапі будується на основі проведення значних досліджень за всіма складовими технічної проблеми з метою прийняття конкретних рішень і оцінки попередніх витрат для реалізації проекту в цілому. В результаті попередньої оцінки уточнюються проблемні моменти проекту і виробляються заходи для їх вирішення (рисунок 66).



Рисунок 66. Етап оптимального варіанту проекту

Попередній аналіз і ряд проведених експериментальних досліджень створюють необхідні умови для більш глибокого вивчення розроблюваної системи з позиції її можливої оптимізації. З цією метою створюється математична модель технічної системи, складається опис комплексної системи і формується в остаточному вигляді її структура.

Далі розраховуються більш точно капіталовкладення, опрацьовуються питання техніки безпеки та екології, враховуються

законоположення і санкції, які в тій чи іншій мірі можуть вплинути на прийняті рішення (рисунок 67).



Рисунок 67. Остаточний етап проектування

Етап робочого проектування зводиться до детальної розробки конструкцій, вибору основних технічних характеристик системи, аналізу собівартості виготовлення, а також складання технічних завдань на комплектуючі елементи і на проектування спеціальних пристроїв на стороні.

Заключна частина проекту присвячується остаточному (детальному) проектуванню всіх складових системи, оформлення специфікацій на розміщення замовлень, придбання матеріалів та інші роботи.

Керівництву підприємства, де повинна буде експлуатуватися спроектована технологічна система, **треба пам'ятати, що не всі питання слід передоручати проектувальнику**. Наприклад, роботу з відбору кадрів для експлуатації та майбутнього технічного обслуговування системи слід проводити самостійно з урахуванням передбачуваної соціальної та психологічної обстановки в колективі.

Постійне підвищення якості продукції стає способом існування підприємств, до цього зобов'язують і зростаючі потреби покупця і посилюється конкурентна боротьба на світовому ринку. Основні вимоги, дотримання яких забезпечує високу якість продукції, можна коротко сформулювати наступним чином:

- *системність* - процес, що охоплює всі ланки виробництва і експлуатації (підприємство-споживач-постачальник);

- *комплексність* - забезпечення якості на етапах маркетингу, розробки і проектування виробництва, обслуговування і експлуатації;

- *організованість* - взаємопов'язана робота всіх підрозділів і окремих працівників;

- *пріоритет споживача* - основа визначення споживчих властивостей продукції;

- *новаторство* - постійне введення нових технологій у всіх сферах діяльності;

- *спільність* - єдність цілей і зусиль всіх співробітників підприємства;

- *керованість* - введення системи управління якістю, що діє під керівництвом першої особи.

Підводячи підсумок розгляду питання про особливості організаційно-структурного характеру інжинірингових фірм, відзначимо, що їх поява в сфері діяльності підприємств і фірм не є випадковим. Інжинірингові організації є логічною ланкою основної стратегічної мети діяльності підприємства, яка полягає у випуску на ринок виробів високої якості.

Історія інжинірингу та його розвиток

Спочатку інжиніринг виник в Англії в цивільному будівництві та обмежувався консультативною діяльністю в області спорудження доріг, мостів, портів, аеродромів, систем водо- та енергопостачання, робіт по меліорації і т.п. Пізніше інженерно-консультативні послуги стали надаватися також в області промисловості. **Інжиніринг в США почав розвиватися також з надання консультативних послуг і обслуговував виключно внутрішній ринок.** Поштовхом для поширення американського інжинірингу за межами США послужила друга світова

війна, під час якої здійснювалися в широких масштабах роботи з будівництва аеродромів, доріг, портів, військових об'єктів в інших країнах. Ці роботи виконувалися як приватними американськими інженерними фірмами по урядовим замовленням, так і спеціальними відділами американської армії, укомплектованими фахівцями з інжинірингу.

У перші повоєнні роки інжиніринг отримав розвиток і в інших промислово розвинених країнах. Цьому в значній мірі сприяла діяльність різних міжнародних організацій, в тому числі Міжнародного банку реконструкції та розвитку (МБРР), спрямована на надання технічної допомоги країнам, що розвиваються.

З другої половини 50-х років почався новий етап у розвитку інжинірингу та виділення його в самостійну область міжнародної комерційної діяльності. Якщо на попередньому етапі інжиніринг обмежувався тільки наданням технічних консультацій, а всі роботи виконували фірми партнери, то для наступного етапу характерно випереджувальний розвиток такого роду об'єктів переважно з поставкою «під ключ».

Виникнувши в 90-і роки поняття «реінжиніринг бізнес-процесів» (БПР) стало популярним терміном, що позначає діяльність, спрямовану на кардинальні зміни в бізнесі, пов'язані з перепроєктування бізнес-процесів. В даний час БПР взятий на озброєння багатьма провідними компаніями світу. Зокрема, за даними фірми Ernst & Young, 100 найбільших банків Північної Америки витратили в 1997 р близько 2,9 млрд.дол. на реінжиніринг своїх підрозділів. За останні роки уряд США початок понад 200 проектів з реінжинірингу.

Види інженерно-технічних послуг

До інжинірингових послуг належать *інженерно - консультаційні послуги з підготовки процесу виробництва і реалізації продукції (робіт, послуг), підготовці будівництва та експлуатації промислових, інфраструктурних, сільськогосподарських та інших об'єктів, передпроектні і проектні послуги.*

Надання на основі договору про інжиніринг повного комплексу послуг і поставок, необхідних для будівництва нового об'єкта, називається комплексним інжинірингом. Він включає три окремих види інженерно-технічних послуг, кожен з яких може бути предметом самостійного договору.

Консультативний інжиніринг пов'язаний головним чином з інтелектуальними послугами з метою проектування об'єктів, розробки технічної документації та контролю за проведенням робіт.

Технологічний інжиніринг полягає в наданні замовнику технології або технологій, необхідних для виготовлення виробу і його експлуатації (договори на передачу виробничого досвіду і знань), розробки проектів з будівництва, енергопостачання, водопостачання, транспорту та ін.

Будівельний і / або загальний інжиніринг - це переважно поставки обладнання, техніки та / або монтаж установок, включаючи при необхідності інженерні роботи.

Фінансовий інжиніринг - наймолодша і поки мало вивчена область, яка зраджує головним чином якість виробництва і пропозиції фінансових послуг. Суть фінансового інжинірингу складається в створенні нових фінансових продуктів і послуг, які використовуються фінансовими інститутами при розподілі ресурсів, ризиків, ліквідності, доходів та інформації відповідно до фінансових потреб клієнтів і змінами в макро - і мікроекономічній ситуації.

Лекція 8. Особливості сучасного інжинірингу в світовій практиці Інжинірингова діяльність сьогодні, сучасний інжиніринг

Повний цикл інжинірингу з будівельними роботами має в своєму складі:

1. Дослідження маркетингової доцільності проекту;
2. Вивчення технічної можливості його реалізації;
3. Техніко-економічна оптимізація та складання попереднього проекту з орієнтовною прив'язкою його до місцевості і зазначенням вимог до земельної ділянки;
4. Складання робочого проекту та підготовка торгів на обладнання;
5. Оцінка надійшовших на торги пропозицій;
6. Складання інженерно-будівельних та інженерних проектів під вибране в результаті торгів обладнання;
7. Підготовка торгів на інженерно-будівельні та інженерні роботи;
8. Оцінка пропозицій, що надійшли;
9. Нагляд за виготовленням обладнання, його випробування;
10. Координація інженерно-будівельних робіт, поставок і монтажу;
11. Допомога в підготовці обслуговуючого персоналу замовника;
12. Пуск підприємства чи іншого об'єкта в експлуатацію технічними умовами «під ключ» («готова продукція в руки»);
13. Спостереження і консультації під час експлуатації об'єкта після здачі.

Інжинірингові послуги можуть стосуватися будь-якої фази життєвого циклу (ЖЦ) системи будь-якої природи (технічної, соціальної, економічної): дослідження; проектування; складання технологічних схем; вибору оптимальних варіантів (будівництва); поставки (матеріалів, машин, устаткування); пуску в експлуатацію; нагляду за роботою об'єкта. Однак,

через високу складності інжинірингу повний цикл виконується зазвичай групою (консорціумом) фірм (постачальників обладнання, виконавців окремих підрядів). У практиці діяльності інжинірингових фірм зазвичай залучення інших організацій, тому в якості об'єктів інжинірингу беруться складні і масштабні об'єкти: теплові та атомні станції, нафтопроводи, аеродроми, шахти, промислові підприємства, порти.

Так, дослідження доцільності та здійсненності проекту (техніко-економічні дослідження) проводяться на ранній стадії реалізації проекту, при цьому аналізуються всі технічні, соціально-економічні, фінансові, екологічні та інші фактори:

- стан внутрішнього і зовнішнього ринку товарів;
- тенденції їх виробництва та споживання;
- фірми і товари-конкуренти;
- канали збуту;
- державна економічна і зовнішньоторговельна політика, якщо вона зачіпає умови реалізації проекту;
- забезпечення робочою силою;
- постачання сировиною, електроенергією тощо

Розробка робочого проекту та підготовка умов проведення торгів на обладнання. Умови проведення торгів зазвичай містять загальні вимоги, які встановлюють порядок їх проведення, адміністративні, правові та фінансові положення, що регулюють взаємини між постачальником і клієнтом, технічні специфікації, креслення та графіки робіт. Іноді одночасно готуються умови проведення торгів на будівельні роботи.

Оцінка заявлених на торги пропозицій на поставку обладнання. Зіставляючи заявлені на торги пропозиції з урахуванням відповідності вимогам по надійності і продуктивності обладнання, термінів поставки, цін і фінансових умов, консультант вибирає і рекомендує клієнту певну фірму (або кілька фірм) для закупівлі необхідного обладнання.

Підготовка умов для торгів на інженерно-будівельні роботи. Після остаточного вибору комплекту обладнання консультант розробляє плани виробничих будівель, складських приміщень, бункерів, водонапірних веж, доріг та інших інженерно-будівельних споруд. Умови проведення торгів на інженерно-будівельні роботи (як і на обладнання) складаються із загальних вимог, технічних специфікацій, креслень тощо.

Оцінка пропозицій інженерно-будівельних робіт. Оцінка заявлених на торги пропозицій і рекомендації по ним надаються консультантом клієнту у формі короткої доповіді. Для проектів спорудження підприємств з безперервним процесом виробництва характерно об'єднання підрядника і постачальника обладнання в особі однієї фірми. Для подібних проектів торги пропозицій на поставку обладнання одночасно служать торгами на інженерно-будівельні роботи.

Спостереження за виготовленням обладнання. Такого роду послуги надають при поставках великого, унікального і спеціального обладнання з метою забезпечення необхідної якості відповідно до технічних умов, в цих випадках консультант зазвичай здійснює нагляд за експлуатаційними випробуваннями окремих машин або декількох блоків комплектного обладнання, що проводяться на підприємстві-виробнику.

Інші види інжинірингових послуг. Консультант бере участь в наступних етапах реалізації промислового проекту, здійснюючи, зокрема:

- координацію інженерно-будівельних робіт, постачання обладнання, матеріалів, монтажу обладнання відповідно до розроблених графіків;
- спостереження за інженерно-будівельними роботами;
- спостереження за установкою і монтажем устаткування;
- спостереження за пуском і введенням об'єкта в експлуатацію;
- допомога в підготовці інженерно-технічних працівників для побудованого об'єкта (майстрів, інженерів-експлуатаційників та ін.);

- надання послуг після пуску промислового підприємства в експлуатацію (післяпускові послуги) і в початковий період його роботи.

Якщо передбачені проектом технологія, обладнання, інші компоненти вимагають істотних змін і адаптації до місцевих умов, комплексний інжиніринг включає також і цей вид послуг. Інженерно-консультаційні послуги охоплюють також формування систем управління виробництвом, контролю якості, формування системи збуту тощо У кожному конкретному контракті можуть бути передбачені відповідні види послуг.

Оскільки об'єктами інжинірингових контрактів є передані консультантом замовнику знання і досвід, а вони, в свою чергу, можуть виступати об'єктами ліцензійних угод, то основні переваги від укладення контрактів на надання інжинірингових послуг схожі з тими вигодами, які отримують сторони при укладенні ліцензійних угод.

Взаємозв'язок інжинірингу, проектування, управління проектами при вирішенні практичних завдань

Управління проектами на основі формалізації і стандартизації бізнес-процесів (і ІТ-засобів їх забезпечення) на сьогоднішній день стає домінуючою філософією в світовій виробничій практиці, процесах будівництва, в розробці та виробництві унікальної продукції, організації соціальних експериментів тощо. Управління проектами актуально і для інжинірингу, оскільки це комплекс взаємопов'язаних завдань. Зокрема, розробка проектної і робочої документації вимагає складної організаційної підтримки і детального вибудовування специфічних бізнес-процесів, однак їх ключові принципи є тими ж, що і в будівельній діяльності, і в бізнесі зі створення складних інтелектуальних продуктів.

Термін «проект» має два основних тлумачення.

Перше й найдавніше з них, найтісніше пов'язане з інжинірингом, означає зафіксований на фізичному носії прототип, образ, модель розробляється (що будується) об'єкта, а попросту - проектну документацію, креслення і текст. Цьому визначенню відповідає в англійській мові термін design. Термін «проект», який використовується у вітчизняній практиці саме в такому тлумаченні, означає документацію, яка містить рішення по виробництву і (або) будівництва якогось об'єкта.

Друге тлумачення відповідає англійський термін project. Інвестиційний проект - «конкретний захід, в яке вкладаються кошти з метою отримання прибутку і (або) приросту капіталу». Ще одне визначення проекту виглядає так: тимчасове підприємство (Endeavor) для створення унікальних продуктів, послуг або результатів тощо.

Розглядаючи зв'язок функціональних (розробка моделей, організація будівництва, управління проектом) і предметних областей інжинірингу, слід чітко уявляти собі особливості інженерної діяльності.

Рішення будь-яких системних проблем, які зачіпають відносини власності або сферу користування благами і мають монетарний характер, завжди можна розбити на три категорії завдань:

- політичними;
- економічними;
- технічними.

Ці категорії завдань (або поодинокі завдання), зрозуміло, не мають вузькоспеціалізованих властивостей, відповідних рамкам своїх найменувань. У кожній з них найчастіше переплітаються аспекти інших категорій. Політичні завдання ставляться і виконуються з урахуванням економіки і технічних можливостей; умови економічних задач і варіанти реалізації неможливо уявити поза їх взаємозв'язку з політичними і технічними факторами, а техніка завжди функціонує в економічному і

політичному просторі, що накладає обмеження на параметри її створення і експлуатації.

Однак завжди можна виділити в поставлених перед розробниками завдання домінуючі особливості, що дозволяють в цілому віднести їх до тієї чи іншої категорії, і на цій основі шукати рішення на одному з головних напрямків - політичному, економічному або технічному. Останні два і є - сфера інжинірингу, де він постійно виступає в якості засобу обґрунтування різних точок зору осіб, що володіють владними повноваженнями.

Звичайно, успішне вирішення кожної категорії завдань можливо з переважаючим використанням «своїх» методів. Політичні завдання вирішуються оптимальним чином політичними засобами, економічні - економічними, технічні - технічними. Але з залученням і засобів інших категорій.

Міжнародний інжиніринг

Міжнародний інжиніринг (engineering) - це виконання комплексу операцій з надання послуг виробничого характеру, що здійснюються спеціалізованими інженерно-консультаційними промисловими, будівельними та іншими компаніями.

Торгівля інжиніринговими послугами отримала розвиток під впливом науково-технічної революції.

Провідними експортерами інжинірингових послуг є компанії таких країн з ринковою економікою, Як США, Великобританія, Франція, ФРН, Японія.

Міжнародний інжиніринг має низку особливостей:

1. Функціонування в якості однієї з послуг виробничого призначення, яка реалізується не в речовій формі продукту, а в корисному ефекті. Наприклад, проектування, консультування, навчання тощо.

2. Зв'язок з підготовкою і забезпеченням процесу виробництва і реалізацією, розрахованих на проміжне і кінцеве споживання реальних благ і послуг.

3. Наявність комерційних властивостей, що виявляються в процесі купівлі-продажу.

4. Відмінність від ліцензій і «ноу-хау». Об'єктом купівлі-продажу на ринку інжинірингу є послуги з підготовки, систематизації, пристосуванню до використання в конкретних умовах і передачі доступних будь-яким кваліфікованим фахівцям науково-технічних, виробничих знань і досвіду. Такого роду послуги є відтвореними, тобто, їх можуть надати багато фірм. У той же час продаж ліцензій, «ноу-хау» і нових технологій здійснюється їхнім реальним власником і автором.

Інжинірингові фірми

Консультаційні фірми. Ці організації допомагають промисловим корпораціям і фірмам знизити до мінімуму ризик, пов'язаний з освоєнням великих нововведень. Подібні фірми проводять глибокі техніко-економічні дослідження з оцінки кон'юнктури ринку, перспектив розвитку певних технічних напрямків, конкурентоспроможності нової продукції тощо Від цих фірм можна отримати технологічні прогнози на кілька років, інформаційні огляди і деякі інші матеріали. Консультаційні фірми, надаючи корпораціям інформаційні послуги, суттєво знижують ступінь ризику при освоєнні (впровадженні) нововведень.

Як різновид консультаційних фірм при технічних вузів в США створюються так звані центри нововведень. Кожен з таких центрів щорічно обробляє 400-500 ідей і пропозицій щодо нововведень з метою рекомендації їх промисловим фірмам. Як правило, рекомендується до використання 5-

15% від початкової кількості пропозицій. Промислові фірми виявляють певний інтерес до співпраці з подібними центрами.

Впроваджувальні фірми. Основна мета діяльності таких фірм - впровадження винаходів у промисловість. Через різні канали ці фірми відбирають перспективні наукові ідеї, беруть на себе турботи і витрати по освоєнню нововведень, шукають фірми, які взялися б за реалізацію нововведення, укладають з нею договори про фінансування нововведення і розподілі майбутніх доходів. В їх діяльності є як дуже вдалі угоди по впровадженню, так і промахи. І, тим не менш, досвід роботи цих організацій дуже цікавий.

Фірми «ризикового капіталу». Ці підприємства є дрібні фірми, які беруться за розробку радикальних нововведень. Як правило, винахідник є главою фірми. Масштаби цього явища відносно невеликі. У США з 1,5 млн. Дрібних підприємств налічується кілька десятків тисяч фірм «ризикового капіталу». У США фірми «ризикового капіталу» за об'ємом витрат на НДДКР становлять лише 5%, а за кількістю зареєстрованих винаходів - 50%.

На частку фірм «ризикового капіталу» припадають такі стадії створення нової продукції як пошук, розробка і первинне освоєння трудомістких науково-технічних нововведень, тобто такі види робіт, які великі корпорації вважають дуже ризикованими з позицій ринкового успіху і витрат ресурсів. Після того, як ця стадія, несприятлива з точки зору великого капіталу, пройдена, корпорації прагнуть «прибрати до рук» перспективне науково технічне нововведення. При цьому монополії використовують найрізноманітніші способи боротьби: від патентних позовів до покупки самої «ризикової» фірми.

Характер зміни в організаційній структурі різних підприємств і інжинірингових фірм особливо став помітний в 80-і роки, коли в усьому світі (особливо в Японії) широким фронтом велися великі роботи в областях електроніки, робототехніки, заводів-автоматів тощо

Основою будь-якого проекту, що розробляється є організаційний і технічний потенціал підприємства, що поєднує в собі можливості технічних, технологічних та інформаційних систем, обладнання та обчислювальної техніки, маркетингові дослідження, фінансову і комерційну стійкість при вирішенні поставленої мети. При цьому важливе місце займає порядок (послідовність) здійснення інжинірингу по етапах з обов'язковим контролем в кінці кожного з них. У початковий період проведення інжинірингу особливе значення має організаційна підготовка до розробки проекту. Мистецтво початкового етапу проектування ґрунтується на сумі знань технічного та інформаційно-технологічного характеру у взаємозв'язку з політико-економічними та екологічними аспектами розвитку суспільства.

Особливості функціонування інжинірингових фірм. Системність і комплексність виробничих процесів інжинірингових фірм.

Як правило, інжинірингові організації беруть участь в розробках складних технічних систем машинобудування, що вимагають великих капітальних витрат, і залучають до роботи багато висококваліфікованих фахівців. У зв'язку з цим зростають вимоги до прийнятих рішень на стадії розробки ескізних варіантів проектів і підвищується особиста відповідальність тих керівників, які приймають рішення. Помилки, допущені на початкових стадіях проектування, зумовлюють додаткові витрати, збільшують терміни виготовлення, налагодження і пуску системи в експлуатацію. Через допущені помилки система може і не отримати втілення в життя. Тому з метою підвищення ймовірності впровадження нововведення в життя і ефективності інженерних розробок використовуються положення системного і комплексного підходу до вирішення складних технічних завдань.

Важливою частиною системного аналізу є проектування оптимальних систем, тобто систем, що забезпечують отримання максимально можливого прибутку або мінімально можливих витрат при створенні продукції машинобудування високої якості. Стрижень методології оптимального проектування складають процедури формалізації задач технічного проектування, орієнтовані на використання обчислювальної техніки. Системне проектування має на меті підвищити якість прийнятих проектних рішень, скоротити терміни проектування і витрати на нього, закласти основи для переходу до автоматизованого проектування.

Створення і розвиток складних технічних систем в даний час неможливо без використання принципів і методів системного підходу і математичного апарату системотехніки. Для системотехніки характерно еволюційне проектування, тобто продовження проектування після того, як система створена. Тому в проекті потрібно передбачати можливі модифікації проектованої системи, що дозволяють коригувати проектні рішення в процесі її налагодження в конкретних виробничих умовах. Використання такого підходу дозволяє чіткіше організувати процес проектування в часі, здешевити і скоротити проектувальний цикл.

Для методів системного проектування характерні ще дві взаємозалежні тенденції: розробка принципово нових методів проектування та інтенсивна системна інтерпретація відомих методів. Системне проектування дозволяє створювати інформаційний варіант системного опису великих технічних засобів і дає єдино можливу основу для міждисциплінарної співпраці при їх побудові. Як методологія системне проектування складних технічних засобів засновано на раціональному поєднанні евристичних (прогнозних) прийомів, узагальнюючих досвід і здоровий глузд з формальними процедурами аналізу і синтезу, орієнтованих на використання ЕОМ.

Комплексний підхід при вирішенні складних технічних систем включає в себе необхідність врахування великої кількості факторів в їх взаємозв'язку, а також виявлення переліку основних обмежень і вимог, що пред'являються до них з боку проєктованого об'єкта. Такі фактори можна укрупнено виділити в наступні групи:

- фактори функціонально-технологічного призначення, що описують проєктовану систему з її входами і виходами в просторово-часовому розподілі;

- фактори технічного призначення, що враховують необхідний рівень автоматизації, перелік обов'язкових технічних засобів, що входять до складу проєктованої системи;

- фактори економічного призначення, що включають поняття продуктивності, вартості, прибутку, періоду експлуатації і ін .;

- фактори функціонального призначення, що відображають такі показники як точність, якість, надійність, довговічність, ритмічність і ін .;

- фактори інформаційного призначення, що забезпечують опис дійсної ситуації, що складається у виробництві, а також створюють можливість коригувати і редагувати програми при внесенні конструктивно-технологічних змін;

- фактори експлуатаційного призначення, що створюють необхідні умови для експлуатації системи, режиму її роботи та інші фактори.

Лекція 9. Інжинірингові проєкти та забезпечення якості продукції.

Інжиніринг та якість продукції

Розвиток світової економіки в даний час нерозривно пов'язаний з високою якістю виготовлення продукції і товарів широкого застосування.

Значення якості не вичерпується тільки її роллю в міжнародній конкуренції. Якість продукції в більшій мірі визначає «якість життя» суспільства.

Перш за все, необхідно встановити, що слід розуміти під якістю товару.

Якість не можна виміряти як якийсь фізичний параметр з наступних причин. По-перше, як правило, мова в даному випадку йде не тільки про одну єдину величину, а про сукупність багатьох ознак і властивостей. По-друге, у товару є ознаки, дані, яких можуть реєструватися і порівнюватися з аналогами кількісно (точність, швидкість, потужність, вага тощо) і ознаки якісного плану (високий, швидкий, важкий тощо) в рівній мірі використовуються в оцінці за якістю.

Поняття якість може бути застосовано не тільки до товару, але також і до діяльності підприємства, конструкторського бюро, технологічного відділу та інших служб, для яких не існує заданих нормативів, але від їх роботи залежить якість товару, що випускається. Їх діяльність може позитивно або негативно вплинути на якість товару, що випускається, а оцінка подібної діяльності може варіюватися в безмасштабному вимірі «від дуже добре, до дуже погано». Отже, можна говорити про існування «високої» і «низької» якості продукції (або діяльності підприємства) в деякій класифікації за сукупністю різних рангів критеріїв. В області технічної творчості навряд чи можна виділити якийсь центральний ознака, який грає вирішальну роль. Обов'язково міститься безліч ознак, так званих «вторинних» багато в чому визначають якість товару.

Таким чином, ми підходимо до необхідності розглянути проблему досягнення якості товару у вигляді системного підходу, що складається із сукупності робіт з проектування якості, управління якості і контролю якості.

Система забезпечення якості

Система забезпечення якості виробу індивідуальна для кожного підприємства і тому вона не може носити універсального характеру, оскільки в кожному конкретному випадку залежить від масштабності підприємства і його матеріально-технічних можливостей. І, тим не менш, спільними ознаками такої системи повинні бути три її блоки: проектування якості, управління якістю і контроль якості. Причому ці блоки складають як би постійно діючий замкнутий контур взаємодії між собою безперервно в часі.

Система забезпечення якості фактично відображає всі сфери діяльності підприємства і включає в себе наступні складові: якість проектування виробу; якість виробничих завдань; якість вибору матеріалів і заготовок; якість виготовлення деталей і контроль; якість зберігання; якість зборки і випробувань; якість відвантаження споживачеві; якість технічного обслуговування.

Перераховані вище складові зовсім не означають необхідність мати по кожному питанню спеціальну службу в структурі виробництва. Сенс всієї діяльності підприємства полягає у виконанні тих заходів, які забезпечують стійкий попит на ринку виробів. Для окремих великих підприємств (або об'єднань) буває економічно обґрунтованим мати окрему службу за якістю.

Проектування якості полягає в розробці переліку якісних показників виробу та встановленні їх кількісних значень. На цьому етапі закладається основа якості всієї системи і тому від професійного рівня знань фахівців, що забезпечують цю якість, в кінцевому рахунку, залежить успіх підприємства в цілому.

Контроль якості включає в себе питання з вивчення і втілення на практиці тих вимог, які були визначені на попередньому етапі. По-перше, встановлюються, а при необхідності проектуються, засоби контролю

і визначаються об'єми випробувань з урахуванням обраних контрольних ознак. Зазвичай контрольні операції, в силу отримання достовірних результатів вимірювання, вимагають більшого часу. Тому не останнє місце приділяється використанню більш продуктивних засобів вимірювання. По-друге, проводиться юстирування обраних засобів вимірювання і атестація на відповідність стандартам виміру, які, як правило, зберігаються в центральних вимірювальних лабораторіях або метрологічних центрах. Кожне вимірювальний засіб періодично перевіряється, а результати перевірки фіксуються в його паспорті. По-третє, проводяться вимірювання складових елементів і виробу в цілому, узагальнюються отримані результати і в разі отримання негативних даних рекомендуються заходи по їх усуненню.

Управління якістю включає в себе функції розробки заходів щодо усунення недоліків, виявлених на етапі контролю якості, внесення цих заходів в процес виробництва виробу і контролю їх виконання. Потім результати роботи передаються на рівень проектування якості, де вони у вигляді завдань направляються на реалізацію. Виходячи з цих планових завдань, а також з креслень, операційних карт, стандартів і інших матеріалів, розробляються подальші плани проведення контролю. Іншими словами, цикл діяльності підприємства по забезпеченню якості виробу повторюється і цей процес не закінчується, оскільки тенденція постійного підвищення якості виробів в світі має стійкий характер.

Важливим в структурі управління якістю є організація потоку інформації з ділянок проектування контролю, проведення контролю і обробки, даних контролю всередині підприємства. Крім очевидної інформації про обробку та аналізі даних про якість і супутньої для цієї мети відповідної документації враховуються також витрати, пов'язані з досягненням якості виробу. Проектування, управління і контроль якості

разом з інформаційним потоком утворюють як би єдиний ідеологічний блок під умовною назвою «техніка забезпечення якості виробу».

Необхідно відокремлювати операції вимірювання, проведені в лабораторних умовах і в виробничих. У лабораторних умовах зазвичай проводять цілий ряд науково-дослідних і спеціальних робіт, наприклад дослідження на надійність роботи виробу, або випробовують на міцність нові види матеріалів, а також проводять типові випробування зразків, в тому числі досвідчених, тощо У виробничих умовах завдання вимірювання, перераховані вище, виключаються, а основна увага спрямовується на вхідний контроль комплектуючих або покупних елементів, на контроль виготовлення окремих деталей і остаточний контроль в зборі. Природно, що принципи і засоби вимірювання в лабораторних і виробничих умовах використовуються різні. Першим властиво використання вимірювальної техніки більш універсального характеру, другим - більш продуктивного. Але достовірність отриманих результатів при вимірюванні в обох випадках повинна бути високою і надійною.

В системі забезпечення якості обов'язково присутній блок питань, пов'язаних з підготовкою спеціальної програми навчання і підвищення кваліфікації співробітників підприємства. У подібній програмі дуже чітко пояснюються завдання підвищення якості, розглядаються можливі варіанти його досягнення. Працівники повинні керуватися таким принципом: «Якість не повинно обмежуватися технічним оглядом виробу, а повинно бути враховано проектуванням, конструюванням і виробництвом».

Таким чином, дані контролю, інформація та ініціативи, одержувані з виробничого процесу, аналізуються, узагальнюються і перетворюються в заходи щодо підвищення якості з урахуванням економічної доцільності для даного підприємства.

Система забезпечення якості не є універсальним засобом вирішення всіх проблем якості. Повною мірою результати її впровадження повинні

проявитися через 10-15 років, хоча деякі позитивні зрушення можуть настати і після декількох місяців.

Узагальнені показники якості

Уже згадувалося про значущість «вторинних» ознак в загальній оцінці якості продукції. Як приклад зупинимося більш детально на узагальненому показнику якості металорізальних верстатів (МРВ) з числовим програмним керуванням (ЧПК).

Вибір МРВ з ЧПК для здійснення технологічного процесу обробки деталі є одним з найбільш складних питань в технологічній підготовці виробництва. Різноманітність варіантів обробки і типів обладнання, велика кількість діючих факторів і необхідність приведення багатьох з них до єдиної системи оцінок якості, вимога врахування фактора часу при підрахунку ефективності, неповна наявність даних по соціальним, екологічним та іншим питанням значно ускладнюють вибір технологічного процесу і обладнання.

Вибір МРВ може здійснюватися із суто економічних факторів. Але при цьому обов'язково визначають відповідність технічних можливостей МРВ вимогам замовника та виробництва.

Умови замовника формуються у вигляді заявки, в якій описується коротка характеристика передбачуваного МРВ, область його застосування, матеріал і параметри оброблюваної (або оброблюваних) деталі, зміст і склад технологічних операцій, точність, річна програма (або продуктивність), наводяться деякі вихідні техніко-економічні показники і ряд інших даних.

Виробник МРВ будує свою політику на основі досягнень вітчизняної та зарубіжної науки і техніки, укрупненої потреби МРВ на ринку, реальної можливості виготовлення обладнання на підприємстві.

При збігу інтересів замовника і виробника подальший діалог між ними відбувається на етапах розробки технічного завдання на проектування МРВ, технічної пропозиції, технічного проекту, робочої документації та виготовлення МРВ. При розбіжності інтересів встановлюються нові контакти замовника з іншими виробниками.

В принципі процедура формування переліку показників якості добре опрацьована і при цьому застосовується багатокроковий ітераційний метод, що складається з наступних етапів: складання попереднього переліку показників, що впливають на якість; формування узагальненого показника якості по приватним показникам і анкетне опитування експертів з метою уточнення вагових коефіцієнтів; математична обробка отриманих результатів.

Показники якості МРВ повинні бути обрані так, щоб при наближенні системи до оптимальної оцінки вони або підвищувалися, або знижувалися. В цьому випадку загальний показник якості МРВ матиме відповідно максимальне (наприклад, прибуток) або мінімальне (наприклад, трудомісткість виготовлення) значення. Нижче розглянуті основні часткові показники якості МРВ.

Точність (А1). Сучасний розвиток техніки пов'язано з постійним підвищенням вимог до якості виробів, що випускаються, до окремих складових, в тому числі і точності. Для МРВ з ЧПК досягнення цієї мети пов'язане з рядом труднощів, оскільки на відміну від інших видів обладнання МРВ з ЧПК повинен забезпечити комплексну обробку заготовки з мінімальною кількістю переустановлень і високою продуктивністю, тобто забезпечити завдання підвищення точності обробки з одночасною вимогою зняття ріжучим інструментом великого об'єму металу. Досягнення заданої точності обробки з урахуванням мінімізації витрат на виробництво верстатів може бути прийнято в якості приватного показника точності обробки заготовок.

Продуктивність (A2). Поява МРВ з ЧПК в значній мірі було пов'язано з необхідністю підвищити продуктивність обробки заготовок. Підсумки перших результатів експлуатації подібних верстатів у виробничих умовах і аналіз подальшого їх розвитку дозволили розробникам виробити деякі загальні положення, що характеризують переваги цих верстатів з ЧПК і визначити їх місце в промисловості:

- продуктивність підвищується за рахунок інтеграції операцій і оптимізації технологічних параметрів обробки;
- істотно скорочується допоміжний час внаслідок здійснення комплексної автоматизації;
- скорочуються витрати на міжопераційний транспорт за рахунок зосередження функцій декількох традиційних МРВ в одному;
- створюються сприятливі умови для прискореного випуску нової продукції завдяки оперативному виготовленню дослідних зразків і настановних серій.

Таким чином, якщо продуктивність МРВ з ЧПК оцінюється як кількість заготовок, що обробляються в одиницю часу, то показник А2 повинен відображати мінімум можливого штучно калькуляційного часу обробки однієї заготовки.

Надійність (A3). Ефективність застосування МРВ з ЧПК залежить від забезпечення високого рівня надійності роботи верстата і від організації їх використання в умовах виробництва на підприємстві, для якого виконується замовлення. Надійність може оцінюватися по інтенсивності відмов за певний час експлуатації. Кращим буде верстат з мінімальною частотою відмов або найбільшою ймовірністю безвідмовної роботи. Кількісна оцінка надійності при цьому може проводитися за коефіцієнтом технічного використання верстата, значення якого повинно прагнути до одиниці.

Ступінь уніфікації (A4). Ступінь уніфікації конструкції МРВ впливає на собівартість його виготовлення. Тому зменшення собівартості пов'язано

зі збільшенням коефіцієнта уніфікації, який визначається як відношення кількості уніфікованих деталей до загальної їх кількості.

Маса верстата (A5). Цей важливий технічний показник характеризує металоємність і економічність конструкції МРВ, так як оцінка маси на стадії проектування необхідна для аналізу техніко-економічного рівня верстата. Як правило, цей показник прагнуть зменшити. Його конкретне значення встановлюється в залежності від призначення МРВ.

Вартість верстата (A6). Вартість МРВ з ЧПК формується проектною ціною і уточненою. Проектна ціна, після завершення стадії розробки, уточнюється головним чином за рахунок включення додаткових витрат по новому верстату, пов'язаних з розширенням його технологічних можливостей, і за рахунок проведення заходів, що полегшують умови праці, що поліпшують техніку безпеки, що знижують рівень шуму та ін.

Придбання МРВ з ЧПК замовником пов'язано з додатковими капітальними вкладеннями на доставку верстата, вартістю займаного приміщення, вартістю пристосування, ріжучого і допоміжного інструменту, комплексу програмного забезпечення тощо. Якісне використання МРВ в конкретних умовах замовника можливо тільки тоді, коли різниця приведених витрат буде позитивна, а термін повернення додаткових вкладень - мінімальним.

Рівень автоматизації (A7). Різноманіття виробничих умов замовників не дозволяє в даний час виробити і реалізувати тверді нормативні показники необхідного рівня автоматизації МРВ з ЧПК. Рівень автоматизації і можливість вбудовування верстатів в автоматизовані потоки залежить від умов виробництва замовника, його технічного та організаційного оснащення. Тому вимоги, що впливають з цих умов, можуть вплинути на компонування верстата, а отже, і на його якість. Високий рівень автоматизації МРВ дозволяє зменшити (мінімізувати) витрати, пов'язані з витратами виробництва, через недосконалість систем

організації, диспетчеризація, складування та інших служб виробництва замовника.

Час технічного обслуговування (A8). Цей показник якості тісно пов'язаний з експлуатаційною надійністю МРВ з ЧПК. Мета технічного обслуговування - проведення верстата в робочий стан, при якому ймовірність виникнення відмови зводиться до мінімуму. Зручність і час технічного обслуговування можуть бути оцінені за середнім часом, витраченому на приведення системи в робочий стан за певний відрізок експлуатації МРВ.

Ергономічність (A9). Система людина - МРВ відноситься до системи М-Ч-С (машина - людина - середовище), в якій основною ланкою є оператор. У цих системах повинна бути забезпечена сумісність людини і МРВ, тобто технічні характеристики верстата повинні бути узгоджені з психофізіологічними характеристиками оператора.

Забезпечення сумісності людини з МРВ враховується при створенні систем управління і контролю за рахунок раціонального їх розміщення. Це дозволяє знизити стомлюваність робітника і підвищити продуктивність роботи; механізація і автоматизація допоміжних операцій проводиться за рахунок введення швидкодіючих затискачів заготовки, автоматизації збирання стружки і підналагодження різального інструменту, введення систем активного контролю і ряду інших процесів, що виключають участь людини.

Список приватних показників може бути продовжений. Перераховані ж показники якості МРВ з ЧПК можуть впливати один на одного безпосередньо або через інші показники. Наприклад, вартість верстата залежить від компонування і, отже, від металоємності, розмірів основних вузлів, трудомісткості виготовлення тощо У свою чергу металоємність визначається кількістю вхідних в компоновку верстата вузлів, відносної

металлоємкістю з урахуванням розмірних параметрів або потужності верстата. Цей взаємозв'язок можна простежити і на інших показниках

Стандартизація та якість

Важливу роль у вирішенні проблеми якості продукції покликана грати стандартизація. Стандарти є необхідною основою, яка дозволяє створювати вироби високої якості. Більше половини всіх стандартів Міжнародної організації зі стандартизації (ISO) присвячені питанням випробувань і методам оцінки якості продукції, тобто пов'язані з проблемою якості. Розроблені ISO стандарти по системі управління якістю серії 9000 узагальнюють досвід найбільш розвинених країн щодо вирішення цієї проблеми і дозволяють поширити його на всі більш широке коло країн, що входять в світовий ринок.

У стандартах ISO серії 9000 відзначається, що управління якістю є тим самим аспектом загального керівництва, який визначає політику якості та її здійснення. Тому крім якості кінцевої продукції в розрахунок приймаються якість збуту, якість фінансування, якість маркетингу. Згідно зі стандартами ISO серії 9000 вимоги до якості, встановлені замовником, повинні завжди виконуватися. Принцип бездефектного виробництва означає неприпустимість відхилень від цих вимог. Для цього необхідно вкладати великі кошти в планування виробничих процесів, контролювати їх і управляти ними.

Витрати на якість складаються з ціни відхилень, яка включає витрати на доопрацювання, позапланове обслуговування споживачів, ремонт, зберігання, гарантійний ремонт, і ціни узгодження, що складається з витрат на контроль, нагляд, ревізії, навчання персоналу, контроль технологічних процесів. Досвід промисловості ФРН показує, що на допущені дефекти доводиться до 40% витрат підприємства, причому 34% - з вини управління

і 6% з вини працівників. Для того щоб змінити такий стан, стандарти ISO серії 9000 передбачають ряд рекомендацій:

- *керівництву підприємств слід доводити до співробітників нову концепцію управління якістю;*

- *необхідно створювати інфраструктури організаційного плану, що сприяють процесу послідовного вдосконалення підприємства;*

- *необхідно організовувати єдині виробничі системи для обліку та встановлення пріоритетів у вирішенні проблем якості, які будуть доступні кожному на підприємстві.*

Особлива роль в стандартах ISO серії 9000 в рішенні проблеми підвищення якості відводиться метрології. Рішення про якість, технічний рівень і надійності продукції можуть бути прийняті тільки після якісної оцінки параметрів виробів, тобто після вимірів. Вимірювання повинні проводитися на всіх етапах виробництва - від вхідного контролю сировини і комплектуючих до випробування готової продукції. Важливо виявити і локалізувати шлюб відразу ж після його виникнення, а не під час випробувань і тим більше не при експлуатації виробу. Відповідно підвищується роль і значення сучасних засобів вимірювання та контролю, випробувального обладнання, засобів діагностики.

При здійсненні загального контролю якості стандарти рекомендують прогнозувати зміну вимог споживача на максимально тривалий термін в залежності від галузі виробництва. Крім того, при здійсненні загального контролю якості повинні враховуватися такі основні економічні чинники:

- *доведення до вдосконалення засобів і методів контролю;*

- *підвищення продуктивності контрольних операцій;*

- *планування економічно вигідного для кількох країн постачання світового ринку товарами, виробленими безпосередньо в цих країнах (міжнародна спеціалізація);*

- співпраця з країнами, що розвиваються;
- зміна структури виробництва.

В Україні діє нормативний документ ДСТУ ISO 3230-95 «Управління якістю та забезпечення якості. Терміни та визначення». Цей документ включає в себе наступні розділи:

Основні положення

Загальні терміни

Терміни, що стосуються якості

Терміни, що стосуються системи якості

Терміни, що стосуються засобів і методів

Абетковий вказівник українських термінів

Абетковий вказівник англійських термінів

Абетковий вказівник російських термінів.

В ДСТУ ISO 3230-95 дано ряд понять і визначень, які стосуються процесу створення продукції з моменту розробки до моменту її виготовлення.

Основне поняття в стандарті має таку редакцію: - *«Якість продукції - сукупність властивостей продукції, які обумовлюють її придатність задовольнити певні потреби відповідно до її назвою».*

Таким чином, характерною особливістю сучасного підходу до проблеми якості є орієнтація на споживача, на задоволення його зростаючих запитів і потреб. Існуюче раніше переконання в необмеженість купівельного попиту не виправдалося; тільки вища якість здатне задовольнити постійно зростаючі запити споживача. Вихід на прямий зв'язок і роботу зі споживачем, розробка програм по різкого зниження числа відмов продукції, що продається, глибокий аналіз ситуаційної обстановки, в якій діє підприємство, - ось далеко не повний перелік ознак сучасних ринкових відносин.

Лекція 10. Автоматизація та комп'ютерний інжиніринг

Автоматизація виробництва та інжиніринг

Термін «автоматизація виробництва» зазвичай має на увазі рішення виключно технічних аспектів управління виробничим процесом, яке орієнтоване на інтегроване застосування обчислювальної техніки. У результаті такого підходу виникає небезпека розгляду проблем, пов'язаних з автоматизацією, тільки в технократичному відношенні. У більшості ж випадків ефективність автоматизації виробничих процесів залежить від комплексного розгляду різноманітних, і не тільки технологічних, завдань. Це твердження ґрунтується на таких міркуваннях.

По-перше, істотно змінилися вимоги до технічного рівня обладнання як з точки зору підвищення штучної продуктивності, так і з позицій зміни підходів до визначення його якісних критеріїв і гнучкості функціонування. У результаті відзначається скорочення частки непродуктивного часу роботи обладнання і частки участі людини у виробничому процесі.

По-друге, новітні технології на основі комп'ютеризації володіють незрівнянно більш широкими можливостями щодо організації та реалізації принципів адаптивного управління, наближаючи технологічний процес до оптимальних умов протікання. Виробничі системи, побудовані на цих принципах, можуть широко бути представлені в сучасному виробництві в різних поєднаннях і умовах їх експлуатації. У зв'язку з цим виникають завдання аналізу і прогнозування тенденцій розвитку виробничих операцій на основі комп'ютеризованої інтеграції з запрограмованими критеріями прийняття рішень. Перераховані особливості істотно впливають на зміст праці людини, зайнятого в подібному виробництві.

По-третє, соціально-економічний ефект нової техніки та технології, оцінюється ставленням отриманого від їх використання загального економічного ефекту, до загальної суми витрат на їх досягнення. Це

зумовлює необхідність забезпечення кінцевих техніко-економічних і соціальних результатів, що мають де ніжне вираз. Підвищення сукупність соціальних і економічного ефекту пов'язано з інтенсифікацією наукової праці, поліпшенням використання виробничих фондів і іншими показниками організації виробництва. Важливий етап автоматизації виробництва є взаємодії системи людина-машина, а також деяких соціально - технологічних проблем. Підвищення зацікавленості співробітників в успішній діяльності підприємства є найважливішим завданням з точки зору реалізації їх інтелектуальних і творчих можливостей. Однак в даний час ці можливості в більшості випадків не використовуються. Для вирішення цих питань необхідно враховувати складність і трудомісткість виконання роботи, зручність експлуатації виробничого обладнання, можливість доступу до технологічної інформації в процесі виконання роботи з метою прийняття рішень тощо Успішне впровадження та ефективного використання систем автоматичного принципу дії прямо пов'язане з рівнем технічних знань обслуговуючого персоналу.

Головні тенденції та підходи сучасного комп'ютерного інжинірингу

Інноваційна M^2 3 -концепція - “MultiDisciplinary & MultiScale / MultiStage & MultiTechnology (MultiCAD & MultiCAE)”- концепція (рисунок 68). Терміни “MultiDisciplinary & MultiScale / MultiStage” уособлюють собою багатодисциплінарні, багатомасштабні (багаторівневі) та багатостадійні дослідження та інжиніринг на базі між-/ мульти- / і трансдисциплінарних або мультифізичних (“MultiPhysics”), знань і комп'ютерних технологій, в першу чергу, наукоємних технологій комп'ютерного інжинірингу (Computer-Aided-Engineering).

В рамках М³-концепції, що у повній мірі відповідає усім передовим сучасним трендам, для виконання НДР і НДДКР, як правило, здійснюється перехід:

- від окремих дисциплін, наприклад, теплопровідності і механіки, на базі термомеханіки, електромагнетизму і обчислювальної математики до мультидисциплінарної обчислювальної термоелектромагнітомеханіки (концепція MultiDisciplinary);

- від одномасштабних моделей до багатомасштабних ієрархічних наномікрomezомакро моделей (концепція MultiStage), що застосовуються разом з САЕ-технологіями під час створення нових матеріалів зі спеціальними властивостями, розробці конкурентоспроможних систем, конструкцій та продуктів нового покоління на всіх технологічних етапах «формування і зборки» конструкції (наприклад, лиття металу - формування / штамповка / ковка / - / гнуття - зварювання тощо, концепція MultiStage);

Концепція “Simulation-Based Design” - комп'ютерне проектування конкурентоспроможної продукції, що базується на ефективному і всебічному застосуванні САД-систем (Computer-Aided-Design) світового рівня і скінченно-елементного числового моделювання (Finite Element Simulation, FE Simulation & Simulation & Analysis, S&A) в рамках програмних продуктів САД-систем - де-факто основоположна парадигма сучасного машинобудування (у самому широкому сенсі цього терміну, включаючи, наприклад, авіа-, двигуно-, ракето, автомобілебудуванні, електро- / енерго- машинобудуванні, приладобудуванні тощо), яка, і це представляється надзвичайно важливим, з початку ХХІ століття вже застосовується всіма компаніями-лідерами з різноманітних галузей промисловості.

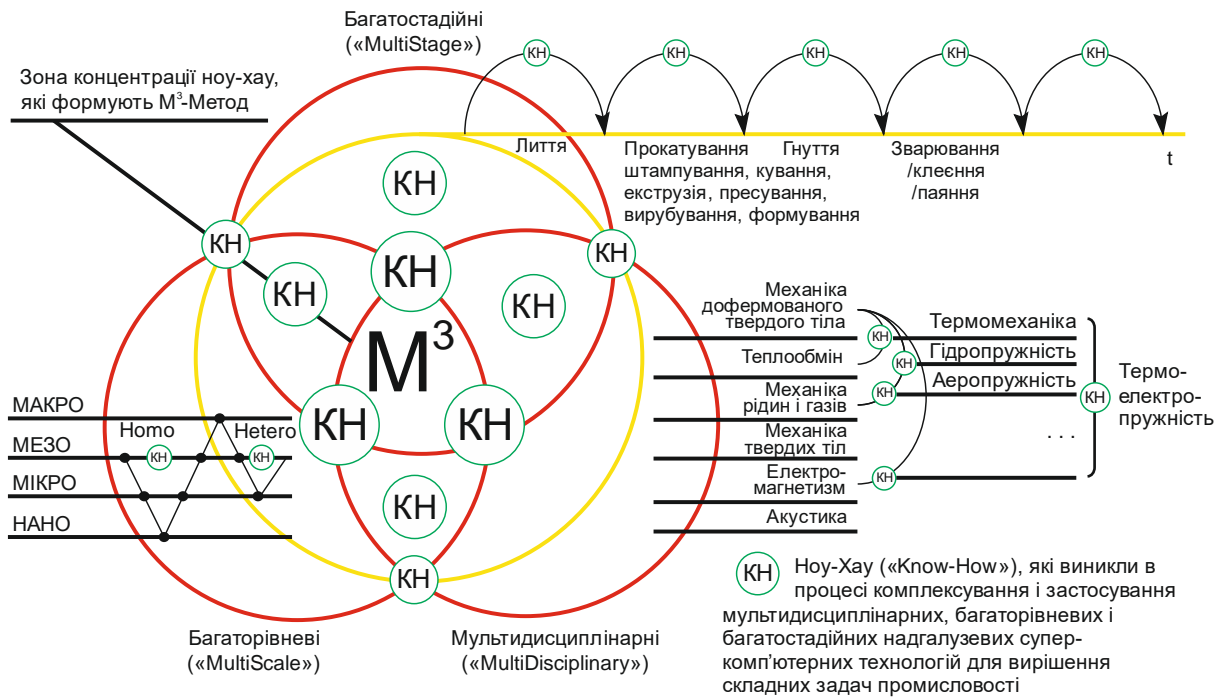


Рисунок 68. Інноваційна М3-концепція на базі Ноу-хау «М3-Метод комплексування та застосування мультидисциплінарних, багаторівневих та багатостадійних надгалузевих суперкомп'ютерних технологій для вирішення складних задач промисловості, енергетики, транспорту, будівництва тощо»

В основі концепції «Simulation-Based Design» лежить сучасний універсальний і потужний числовий метод скінченних елементів (МСЕ; Finite Element Method, FEM) і передові комп'ютерні технології, які тотально використовують сучасні засоби візуалізації:

- CAD, Computer-Aided-Design - комп'ютерне проектування (САПР, Система Автоматизованого проектування); наразі відрізняють три основних підгрупи CAD; машинобудівні CAD (MCAD - Mechanical CAD), CAD печатних плат (ECAD - Electronic CAD / EDA - Electronic Design Automation) тощо, треба відмітити найбільш розвинутими є MCAD-технології та відповідний сегмент ринку;

- FEA, Finite Element Analysis - скінченно-елементний аналіз, в першу чергу, задач механіки деформованого твердого тіла, статички,

коливань, стійкості, динаміки та міцності машин, конструкцій, приладів, апаратури, установок та будівель, тобто всього спектру продуктів та виробів різноманітних галузей промисловості; за допомогою різних варіантів МСЕ ефективно розв'язують задачі механіки конструкцій, теплообміну, електромагнетизму, будівельної механіки, технологічної механіки (відмітимо в першу чергу задачі пластичної обробки металів тиском), задачі механіки руйнування, задачі механіки композитів та композитних структур тощо;

- CFD, Computational Fluid Dynamics - обчислювальна гідродинаміка, де основним методом розв'язання задач механіки рідини і газу є метод скінченних об'ємів;

- CAE, Computer-Aided-Engineering - наукоємний комп'ютерний інжиніринг, побудований на ефективному застосуванні мультидисциплінарних надгалузевих CAE-систем, основаних на FEA і CAE-технологіях, інших сучасних обчислювальних методах. За допомогою CAE-систем розробляють та застосовують раціональні математичні моделі, що мають високий рівень адекватності до реальних об'єктів і до реальних фізико-механічних процесів, виконують ефективне розв'язання тривимірних дослідницьких та промислових задач, які описуються, як правило, нестационарними нелінійними диференціальними рівняннями в частинних похідних в просторових областях складної форми; часто FEA, CFD і MBD (Multi Body Dynamics) вважають взаємодоповнюючими компонентами комп'ютерного інжинірингу (CAE), а відповідними термінами уточнюють спеціалізацію, наприклад, MCAE (Mechanical CAE), ECAE (Electrical CAE) тощо

Такий детальний аналіз концепцій, мети, призначення та інструментів наукоємного комп'ютерного інжинірингу наведений у лекції за ради того, щоб чітко усвідомити, яким повинен бути сучасний, світовий рівень

проектування в машинобудуванні та, зокрема, в галузі пакувального обладнання.

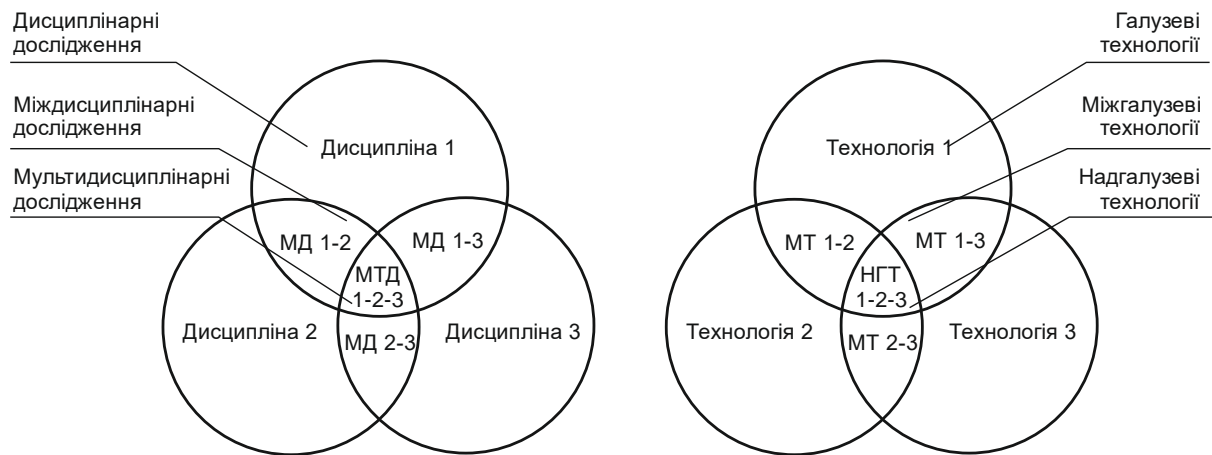


Рисунок 69 Мультидисциплінарні дослідження і надгалузеві технології

Спираючись на проведений аналіз тенденцій та підходів до методології сучасного комп'ютерного інжинірингу неважко визначити місце дисципліни «Інноваційний інжиніринг обладнання переробних і харчових виробництв». Очевидно, що дисципліна ПОПХВ, чітко вписується в концепцію «Simulation-Based Design», а головними інструментами під час навчання за її програмою слугують CAD-CAE-системи або програмні продукти світового рівня.

Однак, за деякими більш складними своїми розділами навчальна дисципліна ІнжПО також однозначно вписується в концепції MultiDisciplinary або MultiPhysics, MultiStage тощо.

На кінець, неважко визначити головні етапи застосування наукоємного комп'ютерного інжинірингу в рамках дисципліни «Інноваційний інжиніринг обладнання переробних і харчових виробництв». Вони можуть бути такими:

1) створення ескізу об'єкта проектування в CAD-системі (для цього може бути використано який-небудь прототип). Тут під об'єктом проектування розуміється деталь або вузол. Далі на основі ескізу

створюється твердотільна модель за схемами: для деталі - ескіз-твердотільна тривимірна модель; для вузла - загальний ескіз - ескізи всіх деталей вузла - відповідні твердотільні моделі - зборка деталей у вузол. Під час створення твердотільної моделі вузла можна використовувати стандартні деталі, наприклад, болти, гвинти, гайки, шайби тощо. Тобто для стандартних деталей не створюються окремі ескізи та твердотільні моделі;

2) *аналіз, на базі створеної твердотільної моделі об'єкта проектування, дії фізичних полів в середині об'єкта проектування під час його експлуатації і їх взаємодії між собою та зовнішніми фізичними полями різної фізичної природи - гравітаційними, тепловими, електромагнітними, променевими тощо. Цей пункт є визначальним для вибору математичної моделі для числового аналізу фізичного стану об'єкта дослідження з метою встановлення його експлуатаційної придатності;*

3) *вибір математичної моделі, що описує фізичні поля в об'єкті проектування і їх взаємодію між собою та зовнішніми полями різної фізичної природи під час його експлуатації (див. п. 2), яка включає систему диференціальних рівнянь в частинних похідних механіки твердого деформованого тіла, або гідродинаміки, або разом механіки континууму (механіки суцільних середовищ) та відповідні початкові й граничні умови;*

4) *розробка на базі твердотільної моделі та математичної постановки задачі дослідження фізичного стану об'єкта проектування в будь-якому середовищі САЕ-системи числової моделі, яка включає: експорт розробленої твердотільної (геометричної) моделі з CAD в САЕ-систему; вибір розв'язувача згідно обраної математичної моделі (див. п. 3); виконання дискретизації геометричної моделі; задання початкових та граничних умов на дискретизованій моделі згідно обраної математичної моделі; виконання розрахунків та перегляд їх результатів у вигляді фізичних полів та епюр;*

5) *детальний аналіз результатів числового моделювання на предмет їх відповідності вимогам експлуатаційних умов, наприклад, для задач*

механіки НДС критерієм експлуатаційної придатності конструкції може бути її запас міцності, який визначається як відношення границі плинності матеріалу до еквівалентних напружень за Мізесом. У разі не виконання цих вимог переходимо в п. 1. та змінюємо вхідні геометричні параметри моделі, або в п. 4 та замінюємо конструкційний матеріал тощо;

б) *створення деталювальних та складальних креслень на базі остаточного варіанту твердотільної моделі об'єкта проектування.*

Концепція моделювання інженерних об'єктів

Розрахункове обґрунтування технічного проекту базується на моделюванні об'єктів, що становлять цей проект. Обговорюючи послідовність моделювання інженерних об'єктів і систем, слід виділити три пов'язаних між собою моделі: 1) *фізичну*; 2) *математичну*; 3) *розрахункову*. В основі комп'ютерного аналізу інженерних систем лежать математичні моделі фізичних явищ.

Фізична модель містить перелік основних процесів і явищ, що визначають поведінку системи. Будь-яке явище природи нескінченно у своїй складності. Щоб описати деякий явище, необхідно виявити найістотніші властивості, закономірності, внутрішні зв'язки, роль окремих характеристик цього явища. Виділивши найбільш важливі фактори, що впливають на процеси, що відбуваються, можна знехтувати менш істотними властивостями аналізованої системи.

Математична модель являє собою систему рівнянь, що описують виділені фізичною моделлю істотні процеси, а також початкові і граничні умови. У загальному випадку математична модель за допомогою рівнянь і додаткових умов описує поведінку технічної системи на трьох рівнях: 1) взаємодія системи із зовнішнім середовищем (по межі - граничні і контактні умови, в початковий момент часу - початкові умови); 2) взаємодія між

елементарними об'ємами всередині системи; 3) властивості окремо взятого елементарного об'єму (рівняння стану середовища).

Математичні моделі мають властивість спільності, оскільки одні й ті ж математичні рівняння описують фізичні явища різної природи. За допомогою математичного моделювання рішення наукової або інженерної задачі зводиться до вирішення математичної задачі.

Для вирішення математичних задач використовуються дві основні групи методів: аналітичні та чисельні. Аналітичні методи дозволяють отримати рішення задачі у вигляді формул. На жаль, в інженерній практиці це нечасто можна досягти. Наприклад, переважна частина нелінійних диференціальних рівнянь аналітичними методами не наважується. Для вирішення таких завдань розробляються і застосовуються методи наближених обчислень або чисельні методи, що дозволяють звести рішення математичної задачі до виконання кінцевого числа арифметичних дій над числами.

Розрахункова модель адаптує математичну модель безпосередньо до проведення обчислень. З цією метою математична модель представляється у формі, зручній для застосування чисельних методів: задається послідовність обчислювальних і логічних операцій, які потрібно зробити, щоб знайти рішення у вигляді чисел із заданою точністю.

Якщо розрахункову модель багаторазово реалізували на комп'ютері, змінюючи параметри аналізованого об'єкта, то говорять про проведення обчислювального експерименту. Обчислювальний експеримент, який використовує в якості дослідницького інструменту високопродуктивні комп'ютери, стає в даний час важливим напрямком науково-дослідної діяльності.

Методи, за допомогою яких завдання перетворюється до вигляду, зручного для реалізації на комп'ютері (обчислювальні методи), можна розбити на кілька класів: 1) *методи еквівалентних перетворень*; 2) *методи*

апроксимації; 3) прямі методи; 4) ітераційні методи; 5) статистичні методи.

Методи еквівалентних перетворень дозволяють замінити вихідну задачу більш простим завданням, має те ж рішення. Методи апроксимації замінюють вихідну задачу наближеною завданням з більш простим математичним рівнянням, наприклад, лінійної або квадратичною функцією. Прямі методи дозволяють отримати рішення після виконання кінцевого числа елементарних операцій. Ітераційні методи припускають багаторазове виконання однотипного набору дій. Статистичні методи засновані на моделюванні випадкових величин і побудові статистичних оцінок рішень.

Обговоримо комп'ютерне моделювання технічної системи. Під комп'ютерним моделюванням технічних систем і пристроїв розуміють адекватну заміну досліджуваного технічного об'єкта розрахункової моделлю і її подальше вивчення методами обчислювальної математики із залученням сучасних обчислювальних засобів і комп'ютерних програм.

Комп'ютерне моделювання як універсальний інструмент дослідження завойовує міцні позиції в різних областях інженерної діяльності та стає найважливішим напрямком в проектуванні нових технічних систем, в аналізі властивостей різних об'єктів, у виборі і обґрунтуванні оптимальних умов їх функціонування.

Процес комп'ютерного моделювання включає три етапи: 1) *побудова моделі; 2) верифікація і 3) віртуальне дослідження.*

Перший етап комп'ютерного моделювання - побудова моделі. Під комп'ютерною моделлю розуміють деякий віртуальний об'єкт, який в процесі дослідження заміщає об'єкт-оригінал таким чином, що його безпосереднє вивчення дає нові знання про об'єкті-оригіналі. Будь-яка модель містить обмеження і акцентує увагу на деяких виділених властивості об'єкта, важливих з точки зору досліджуваних процесів. Але якщо комп'ютерна модель не враховує принципово важливі якості об'єкта, то які

б складні і точні методи не застосовувалися в подальшому для вирішення завдання, отримані результати виявляться ненадійними, а в деяких випадках - абсолютно невірними. Пізнавальні можливості моделі обумовлюються тим, що модель відображає деякі суттєві риси об'єкта-оригіналу.

Другий етап комп'ютерного моделювання - верифікація моделі, її перевірка. Верифікація полягає в зіставленні розрахункових результатів, отриманих в рамках даної моделі, з аналогічними експериментальними даними. Для перевірки моделі складається тестова задача. Верифіковані моделі можна поширити на інші процеси і системи подібного типу.

Третій етап комп'ютерного моделювання - віртуальне дослідження моделі. У процесі вивчення властивостей об'єкта модель виступає як самостійний об'єкт дослідження. Однією з форм такого дослідження є проведення обчислювальних експериментів, коли відповідно до деякого плану змінюються умови функціонування моделі і систематизуються дані про відгуки системи на варіації умов.

Залежно від складності моделі застосовуються різні математичні підходи. Для значно формалізованих і нескладних моделей найчастіше вдається отримати аналітичний розв'язок, але фізична інформативність дослідження спрощених моделей аналітичними методами невелика, оскільки дозволяє оцінити тільки порядок розрахункових параметрів і не транлюється однозначно на складні об'єкти. Для комплексних і складних моделей (наприклад, при дослідженні транспортних аварій або режимів різання в механообробці) аналітичне рішення отримати не вдається. У цих випадках основними є чисельні методи рішення, які вимагають проведення розрахунків на комп'ютерах.

Необхідність комп'ютерного моделювання залежить від того, що багато об'єктів безпосередньо досліджувати неможливо або їх дослідження вимагає великих витрат часу і коштів. Відповідними об'єктами для суто комп'ютерного моделювання є, наприклад, імплантанти та їх поведінку

всередині людських органів або ресурс конструкцій, що функціонують в космічному просторі.

Програмне забезпечення для математичних розрахунків

Існує кілька загальновідомих математичних пакетів, що реалізують різні чисельні методи, а також здатних виробляти аналітичні математичні перетворення.

Mathcad (сайт розробника - PTC - Parametric Technology Corporation, США, www.ptc.com/products/mathcad) є зручним інструментом роботи для розраховувачів-інженерів, адаптований до інженерних і конструкторських розрахунків і має інтуїтивно зрозумілий інтерфейс. Пакет не призначений для професійних математиків, які використовують системи, що діють в області символічної математики або математичної статистики. У ньому немає сенсу програмувати складні завдання, для цього слід використовувати систему Matlab або мови програмування Fortran або C ++.

Власником програми MathCAD в даний є відомий розробник наскрізних технологій проектування CAD / CAE / CAM / PLM Pro / ENGINEER в машинобудуванні - компанія PTC. В основі інтеграції Mathcad і Pro / ENGINEER лежить двосторонній зв'язок між цими додатками. Їх користувачі можуть легко зв'язати будь-який файл Mathcad з деталлю і збіркою Pro / ENGINEER. У свою чергу, базові величини, розраховані в системі Mathcad, можуть бути переведені в параметри і розміри CAD-моделі для управління геометричним об'єктом. Параметри з моделі Pro / ENGINEER також можна ввести в Mathcad для наступних інженерно-конструкторських розрахунків. При зміні параметрів взаємна інтеграція двох систем дозволяє динамічно оновлювати обчислення і конструкторську документацію.

Відмінною особливістю програми MathCad є відсутність спеціальної мови програмування і пов'язана з цим легкість і наочність виконання завдання, можливість відображати математичні формули в тому вигляді, в якому вони зазвичай записуються на аркуші паперу. Наявність розвинених засобів подання розрахункових результатів спрощує аналіз проекту і створення технічних звітів.

До недоліків пакета слід віднести відсутність вбудованих засобів налагодження програм і невисоку швидкість розрахунків.

MATLAB (скорочено від Matrix Laboratory - дослівно в перекладі «матрична лабораторія»), сайт розробника MathWorks, США, www.mathworks.com) орієнтований на рішення наукових і інженерних задач, побудований за принципом мови програмування високого рівня, дозволяє зберігати документи в форматі мови програмування C. MATLAB як високорівнева система програмування дозволяє різко скоротити витрати праці при перевірці алгоритмів і проведенні приблизних розрахунків. MATLAB працює як інтерпретатор і включає великий набір інструкцій (команд) для виконання найрізноманітніших обчислень, для завдання структур даних і графічного представлення інформації. Команди написані на C, але багато і таких команд, які представлені в термінах вбудованих C-програм. Користувач може без особливих труднощів додавати свої команди і писати програми в термінах вже існуючих команд; дещо складніше робити це на Фортрані та C. Можна обмінюватися даними з програмами на цих мовах, а з них звертатися до системи. Є зручні способи управління рахунком.

Головним недоліком програми є її висока вартість для промислового застосування. Але доступні безкоштовні студентські ліцензії. Розробники програми розташовані в Массачусетсі. Багато відкриті курси Массачусетського університету супроводжуються технічними

розрахунками в середовищі MATLAB і відкривають вільний доступ до відповідних файлів.

Mathematica (сайт розробника Wolfram Research, США, www.wolfram.com) популярний серед теоретиків, надає широкі можливості в проведенні аналітичних перетворень. Рішення завдання здійснюється за допомогою набору команд і за змістом роботи аналогічно програмування. Існують також додатки до програми у всіх значущих інженерних напрямках.

Maple (сайт розробника Maplesoft, Канада, www.maplesoft.com) вирішує завдання аналітично або чисельно. Програма здатна обмінюватися інформацією з текстовими редакторами для підготовки наукових публікацій, активно позиціонує себе в мехатроніці і конструюванні машин.

Програмне забезпечення для графо-математичних задач

SolidWorks — продукт компанії SolidWorks Corporation (зараз — дочірня компанія Dassault Systèmes), САПР, інженерного аналізу та підготовки виробництва будь-якої складності та призначення (сайт www.solidworks.com).

SolidWorks є ядром інтегрованого комплексу автоматизації підприємства, за допомогою якого здійснюється підтримка життєвого циклу виробу згідно з концепцією CALS — технологій, включаючи двонаправлений обмін даними з іншими Windows-застосунками та створення інтерактивної документації.

Програма з'явилась в 1993 році та склала конкуренцію таким продуктам як AutoCAD та Autodesk Mechanical Desktop, SDRC I-DEAS і Pro/ENGINEER, Solid Edge.

Завдання, які вирішуються:

Конструкторська підготовка виробництва:

- 3D проектування виробів (деталей і зборок) будь-якого ступеня складності з урахуванням специфіки виготовлення.

- Створення конструкторської документації.

- Промисловий дизайн.

- Проектування комунікацій (електроджгутів, трубопроводи тощо.).

- Інженерний аналіз (міцність, стійкість, теплопередача, частотний аналіз, динаміка механізмів, газо / гідродинаміка, оптика і світлотехніка, електромагнітні розрахунки, аналіз розмірних ланцюгів і ін.).

- Експрес-аналіз технологічності на етапі проектування.

Технологічна підготовка виробництва:

- Проектування оснащення і інших засобів технологічного оснащення.

- Аналіз технологічності конструкції виробу.

- Аналіз технологічності процесів виготовлення (лиття пластмас, аналіз процесів штампування, витягування, гнуття та ін.).

- Розробка технологічних процесів.

- Матеріальне та трудове нормування.

- Механообробка: розробка керуючих програм для верстатів з ЧПК, верифікація УП, імітація роботи верстата. Фрезерна, токарна, токарно-фрезерна і електроерозійна обробка, лазерна, плазмова і гідроабразивна різання, вирубні штампи, координатно-вимірювальні машини.

- Управління даними і процесами на етапі ТПП.

Управління даними і процесами:

- Робота з єдиною цифровою моделлю виробу.

- Електронний технічний і розпорядчий документообіг.

- Технології колективної розробки.

- Робота територіально-розподілених команд.

- Ведення архіву технічної документації.

- Проектне управління.

- Захист даних.

- Підготовка даних для ERP, розрахунків собівартості.

SolidWorks Simulation (COSMOSWorks) – універсальний інструмент для аналізу методом кінцевих елементів. SolidWorks Simulation існує в трьох конфігураціях: власне SolidWorks Simulation, SolidWorks Simulation Professional та SolidWorks Simulation Premium. Однак, навіть в мінімальній конфігурації модуля міцнісного аналізу забезпечується повноцінний статичний аналіз, як деталі, так і зборки з використанням кінцевих елементів твердого тіла, поверхонь і балок. Реалізовано різноманітні контактні умови і всілякі віртуальні з'єднувачі.

Модуль SolidWorks Simulation дозволяє проводити інженерні розрахунки і моделювати різних впливи навколишнього середовища на виріб.

Основними особливостями SolidWorks Simulation є:

- лінійний аналіз;
- втомний аналіз металу;
- нелінійний аналіз;
- теплової аналіз;
- частотний аналіз;
- аналіз виробів з пластмаси і гуми;
- динамічний аналіз і ін.

Лінійний аналіз напружень дозволяє Solidworks-дизайнерам і інженерам швидко і ефективно перевірити якість, продуктивність і безпеку ще при створенні їх дизайну.

Лінійний аналіз напружень за допомогою SolidWorks Simulation може бути невід'ємною частиною процесу розробки, що знижує потребу в дорогих прототипах, виключає доопрацювання і затримки, а також економить часу і витрати на розробку. За допомогою такого аналізу можливо обчислювати напруги і деформації геометрії, такі як:

- деталь або зборка під навантаженням, яка деформується з невеликими поворотами і переміщеннями;
- статичні навантаження виробу (не враховуючи інерції) і постійні навантаження;
- матеріал під постійною напругою деформації ([закон Гука](#)).

Моделювання методом аналізу кінцевих елементів (FEA) – це дискретизація проєктованих компонентів в тверде тіло, оболонку або балковий елемент, що використовує лінійний аналіз напружень для визначення реакції деталей і вузлів під впливом: - сили; - тиску; - прискорення; - температури. - контакт між компонентами.

Для проведення аналізу напружень, повинні бути відомими дані матеріалів компонентів. Стандартна база даних SolidWorks CAD попередньо завантажена матеріалами, які можуть бути використані SolidWorks Simulation.

Моделювання методом скінченних елементів використовується для розрахунку переміщень компонентів, деформацій і напружень при внутрішніх і зовнішніх навантаженнях. Геометрія при аналізі дискретизується у використання тетраедричних (3D), трикутних (2D) і балкови елементів.

Так як промислові компоненти виконуються переважно з металу, аналіз металевих компонентів може бути виконано за допомогою лінійного або нелінійного аналізу напружень. Аналіз неметалічних компонентів (наприклад, пластмаси або гумових деталей) повинен здійснюватися з використанням методів нелінійного аналізу напружень, через їх складний взаємозв'язок деформації і навантаження.

SolidWorks Flow Simulation Electronic Cooling Module Add-In – додатковий модуль для теплового розрахунку електронних пристроїв. Він включає розширену базу даних по віртуальних вентиляторах, матеріалах електротехнічного призначення, термоелектричних охолоджувачах

(елементи Пельтьє). Модуль забезпечує імітацію проходження постійного струму та нагріву ним, теплових трубок, багат шарових друкованих плат.

SolidWorks Flow Simulation HVAC Module Add-In – додатковий модуль SolidWorks Flow Simulation для розрахунку систем вентиляції, опалення та кондиціонування. Він включає: розширену базу даних по будівельних матеріалах і вентиляторах; уточнену модель теплообміну випромінювання з урахуванням відображення, заломлення і спектральних характеристик; розрахунок параметрів комфорту – середньої прогнозованої оцінки, середньої температури і ін.

SolidWorks Flow Simulation є модулем гідрогазодинамічного аналізу в середовищі SolidWorks. Для модуля Flow Simulation немає різниці між геометричними сутностями, створеними в SolidWorks або імпортованими в базовий модуль. Забезпечується підтримка для 64-розрядних операційних систем з доступом до всієї доступної оперативної пам'яті. Також використовується багатопроцесорність при вирішенні.

Модуль Flow Simulation програмного середовища SolidWorks дає можливість моделювання процесів:

- стаціонарні і нестаціонарні течії;
- стискувані і нестискувані (рідини або газу) течії, включаючи до-, транс- і надзвукові режими;
- ідеальні і реальні газу;
- неньютонівські рідини;
- одно і багатоконпонентні течії без хімічних взаємодій і розділення фаз;
- спільні розрахунки течії рідини або газу та теплопередачі всередині твердого тіла без наявності границі розділення газ – рідина;
- ламінарні і турбулентні течії, враховуючи ламінарний/турбулентний перехід;

- «заморожування» течій для розділення «швидких» і «повільних» процесів;

- течії в пористих середовищах з урахуванням теплопровідності стінок;

- урахування шорсткості стінок;

- зовнішні і/або внутрішні течії;

- конвекційний теплообмін, вільна, вимушена або змішана конвекція;

- радіаційний теплообмін з управлінням прозорістю стінок і розділенням властивостей стінок для теплообміну випромінюванням і сонячною радіацією;

- розрахунок траєкторій твердих частинок і крапель в потоці та ін.

Початковими і граничними умовами можуть задаватися наступні вихідні параметри:

- швидкість, тиск (статичний, динамічний, оточуючого середовища), масові та об'ємні витрати;

- температура, концентрація компонентів, параметри турбулентності;

- витратно-напірні характеристики віртуальних вентиляторів;

- різноманітні типи стінок, включаючи шорсткість, коефіцієнт тепловіддачі і параметри умовного середовища на стінках, що не межують з реальним текучим середовищем;

- джерела тепла (об'ємні і поверхневі), віртуальні тепло вентилятори;

- можливості вказати залежність граничних умов та параметрів від часу та координат;

- симетрія відносно базових площин і періодична симетрія.

Управління обчислювальними операціями виконуються безпосередньо по згенерованій розрахунковій сітці моделі SolidWorks, що створюється автоматично в області твердого тіла. Сітка адаптується в залежності від геометричних характеристик моделі і поля вирішення.

Результати дослідження виводяться у вікні SolidWorks. Існує можливість виводу функції на будь-якій площині у вигляді кольорових епюр, векторів та ізоліній, відображення результатів за допомогою ізоповерхонь.

За результатами розрахунків можна створювати трирівневі траєкторії; виводити характеристики розрахунків, розподіл будь-якої характеристикою вздовж будь-якої кривої в MS Excel.

Autodesk Inventor — 3D САПР для створення і вивчення поведінки цифрових прототипів виробів і деталей. Розробник компанія Autodesk (сайт autodesk.com/inventor).

Використовується в основному в машинобудуванні. В комплект входить декілька продуктів: Autodesk Inventor Suite, Autodesk Inventor Routed Systems Suite (проектування кабельних і трубопровідних систем, в том числі для розводки складних ділянок трубопроводів, електричних кабелів і проводів), Autodesk Inventor Simulation Suite (засоби моделювання руху і аналізу навантажень, які спрощують вивчення поведінки виробу в реальних умовах ще на стадії проектування).

Інструменти Inventor забезпечують повний цикл проектування і створення конструкторської документації:

- 2D- / 3D-моделювання;
- створення виробів з листового матеріалу та отримання їх розгорток;
- розробка електричних і трубопровідних систем;
- проектування оснащення для лиття пластмасових виробів;
- динамічне моделювання;
- параметричний розрахунок напружено-деформованого стану деталей і зборок;
- візуалізація виробів;
- автоматичне отримання і оновлення конструкторської документації (оформлення по ЄСКД чи до вимог технічного кресленника).

Функціональні можливості

Компонувальні схеми, що поєднують окремі деталі і вузли. Користувачі можуть перевірити можливість складання об'єкта, додати і позиціонувати нові частини, а також усунути перешкоди (недоліки) між частинами проекту.

Ливарні форми і оснащення. Програма автоматизує ключові аспекти процесу проектування ливарних форм під тиском. Користувачі можуть швидко створювати і перевіряти конструкції форм, а потім експортувати їх в Autodesk Moldflow.

Деталі з листового матеріалу. Спеціальне середовище проектування виробів з листового матеріалу автоматизує багато аспектів роботи. Користувачі можуть створювати деталі розгортки, гнуті профілі, формувати фланці шляхом 3D-моделювання і вставляти в деталі спеціалізовані кріпильні елементи.

Генератор рам служить для проектування каркасів (рам) на основі стандартних профілів. Рами створюються шляхом розміщення стандартних сталевих профілів на каркасі. Формування кінцевих умов спрощується завдяки наявності стандартних опцій для кутових з'єднань і з'єднань встик. Користувачі можуть створювати власні профілі і додавати їх в бібліотеку.

Кабельні та трубопровідні системи. Середовище для створення трубопроводів допомагає проєктувати їх таким чином, щоб вписати в складну збірку або обмежений простір. Вона включає бібліотеку стандартних фітінгів, труб і шлангів, і забезпечує створення складальних креслеників, які оновлюються в межах змін вихідної 3D-моделі.

Є можливість доповнення бібліотек стандартних елементів.

Autodesk Simulation - це розвинений інструментарій інженерного аналізу, що дозволяє значно скоротити традиційний процес проектування виробу за рахунок заміни натурних експериментів над фізичним прототипом обчислювальними експериментами над його цифровим аналогом. Дизайнери і інженери, використовуючи цей програмний

комплекс вже на початковій стадії циклу проектування механізму, вузла або деталі, можуть отримати детальний опис проекту близькі до остаточних. А разом з цим - поліпшити дизайн, підвищити надійність, скоротити час і виробничі витрати.

Simulation включає також спеціальну технологію організації і оптимізації колективної роботи над виробом.

Можуть бути виконані наступні типи інженерного аналізу:

- статичні напруги і втомна міцність;
- динамічні навантаження в лінійній області деформування матеріалів;
- власні частоти (модальний аналіз);
- спектр реакцій;
- постійні та випадкові вібрації;
- аналіз стійкості;
- ударні навантаження;
- контактний аналіз;
- стаціонарний і нестаціонарний теплоперенос і теплопередача;
- стаціонарне і нестаціонарне протягом;
- протягом в пористих середовищах;
- протягом у відкритих каналах;
- масоперенос;
- електростатика.

Високий ступінь достовірності результатів в Autodesk Simulation забезпечується можливістю моделювання реальних і, як правило, складних, умов експлуатації виробу, за рахунок комбінування перерахованих фізичних процесів - рішення міждисциплінарних (мультифізичених) завдань.

Є такі можливості:

- кінематика і напруги в одне і багато елементних системах;
- моделювання механічних подій (mes - mechanical event simulation);

- гідродинаміка і теплоперенос;
- гідродинаміка і механіка (і теплоперенос);
- термічні напруги;
- електростатика і теплоперенос з урахуванням джоулевої теплоти;
- електромеханіка.

Широкі фізичні можливості Autodesk Simulation підтримуються розвиненими інструментами для взаємодії з САД системами і в першу чергу з Autodesk Inventor, постановки задачі моделювання зі створенням кінцево-елементних моделей, завданням навантажень і накладенням зв'язків, визначенням властивостей матеріалів, а також представленням результатів моделювання.

Autodesk Simulation - представлений в наступних варіантах комплектації:

- Autodesk Simulation Mechanical - статика, лінійна динаміка, теплообмін, кінематика, контакт, нелінійні матеріали, надійність, моделювання механічних подій;

- Autodesk Simulation CFD - моделювання потоків рідини, двофазні потоки, теплопередача, теплові потоки, моделі завихрення, різні види руху. Simulation CFD існує в трьох варіантах виконання - CFD, CFD Advanced і CFD Motion;

- Autodesk Simulation Moldflow - дозволяє покрити практично всі технологічні проблеми в лиття пластмас: заповнення, розміщення точок уприскування, дефекти, аналіз кристалізації, моделювання різних видів лиття, аналіз літнікової системи. Moldflow існує в двох варіантах виконання - Adviser і Insight, кожен з яких ділиться на 3 підгрупи;

- Autodesk Composite Analysis, Design - структурний аналіз, проектування композитних матеріалів, інформація про різні композитних матеріалах і структурах, аналіз багатошарових матеріалів;

- Autodesk Simulation DFM - допомагає інженерам, які проектують деталі з пластмаси, використовувати електронне макетування (Английский) при створенні своєї продукції. Simulation DFM вбудовується в існуючу 3D-САПР, додаючи в неї прості для розуміння індикатори, в реальному часі сигналізують про технологічність виготовлення виробу, вартості та вплив на навколишнє середовище.

Лекція 11. Проектування. Параметрична оптимізація конструкції Особливості реалізації проектних робіт

Проектування - це ітеративний процес, при якому конструкція постійно змінюється, поки не почне відповідати критеріям приймання, що складається з таких параметрів, як міцність, собівартість, експлуатаційні характеристики, зручність і форма. Первинна конструкція (вихідне проектне рішення) може проходити через безліч циклів проектування перш, ніж буде готова до серійного виробництва. Цикл проектування складається з наступних етапів:

- Побудова моделі в SolidWorks
- Створення прототипу конструкції
- Польові випробування прототипу
- Оцінка результатів польових випробувань
- Зміна конструкції на основі результатів польових випробувань

Цей процес триває до отримання задовільного рішення.

Цикли проектування є дорогими і тривалими через польових випробувань прототипів. Через обмеження по часу і вартості більшість конструкторів приймають рішення, не є оптимальним.

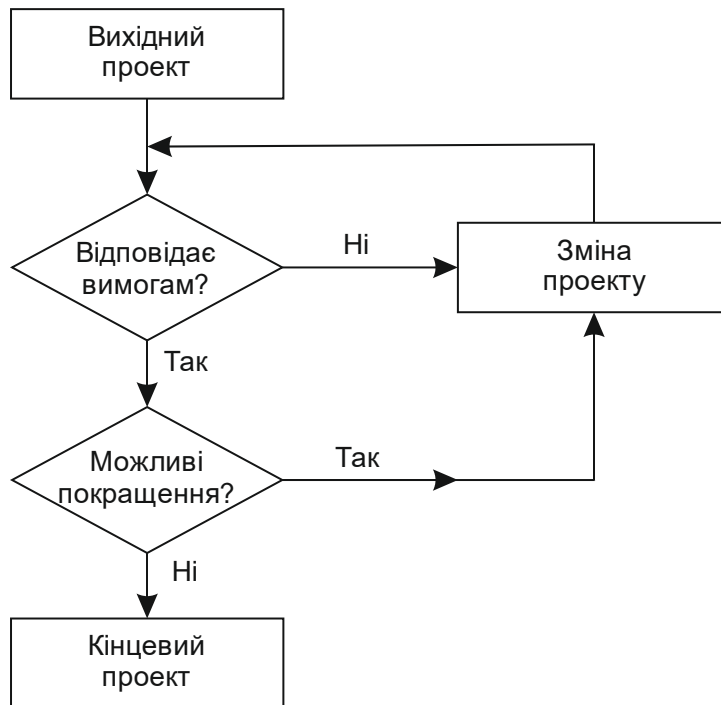


Рисунок 70.

Проблема оптимізації розмірів формулюється, наприклад, як завдання визначення оптимального розподілу товщини пластини, або перетину стрижня. Оптимальна розподіл товщини мінімізує такі фізичні величини як податливість, максимальні напруги, середня енергія деформації, прогин при задоволенні умов рівноваги і інших обмежень на стан конструкції і (або) параметри проектування (design variables).

До числа параметрів проектування може бути віднесена, наприклад, товщина пластини, а до змінних стану - прогин. Основною особливістю завдань оптимізації розмірів є те, що область проектування відома a priori, і вона фіксована в процесі оптимізації.

Метою завдання оптимізації форми є знаходження форми області, тобто сама форма є змінною проектування.

Оптимізація топології включає визначення числа, форми і розташування «порожнеч» в суцільній конструкції, а також правил завдання зв'язності в структурі. Мета оптимізації топології - знаходження

оптимального розподілу матеріалу всередині заданої області проектування (design domain). Задані: навантаження, граничні умови, обсяг створюваної структури і, можливо, деякі додаткові обмеження, такі як зумовлені розташування і розміри пустот і областей, зайнятих суцільним матеріалом. Топологія, форма і розміри структури не є стандартні параметричні функції, але безліч певним чином розподілених функцій, заданих в області проектування. Ці функції параметризують тензор жорсткості середовища, і їх належний вибір дозволяє сформулювати завдання оптимізації топології.

Оптимізація конструкцій. Загальні поняття. Основні визначення

Поняття оптимізації конструкцій включає три тісно пов'язані, але різні по своїй постановці і вирішенню проблеми оптимізації розмірів, форми і топології структур.

Проблема оптимізації розмірів формулюється, наприклад, як завдання визначення оптимального розподілу товщини пластини, або перетину стрижня. Оптимальна розподіл товщини мінімізує такі фізичні величини як податливість, максимальні напруги, середня енергія деформації, прогин при задоволенні умов рівноваги і інших обмежень на стан конструкції і (або) параметри проектування (design variables).

До числа параметрів проектування може бути віднесена, наприклад, товщина пластини, а до змінних стану - прогин. Основною особливістю завдань оптимізації розмірів є те, що область проектування відома a priori, і вона фіксована в процесі оптимізації.

Метою завдання оптимізації форми є знаходження форми області, тобто сама форма є змінною проектування. Оптимізація топології включає визначення числа, форми і розташування «пустот» в суцільній конструкції, а також правил завдання зв'язності в структурі. Мета оптимізації топології - знаходження оптимального розподілу матеріалу всередині заданої області

проектування (design domain). Задані: навантаження, граничні умови, об'єм створюваної структури і, можливо, деякі додаткові обмеження, такі як зумовлені розташування і розміри пустот і областей, зайнятих суцільним матеріалом. Топологія, форма і розміри структури не є стандартні параметричні функції, але безліч певним чином розподілених функцій, заданих в області проектування. Ці функції параметризується тензор жорсткості середовища, і їх належний вибір дозволяє сформулювати завдання оптимізації топології.

Оптимізація форми конструкції

Оптимізація форми конструкції на практиці передбачає використання кінцево елементного аналізу для вирішення завдання механіки і обчислення цільового функціоналу, заданого в тій чи іншій формі, а також геометричних і механічних обмежень. При цьому, так як в процесі ітерацій повинна змінюватися форма конструкції, кінцево елементне розбиття області дизайну також має змінюватися. Для такого перерозбиття області дизайну необхідно завдання певної параметризації, яка буде керувати процесом перестроювання сітки. Можливі три основні підходи до завдання такої параметризації, і їх вибір залежить від програмних засобів, які ми маємо.

1. Програмний комплекс, що включає CAD і CAE систему кінцево елементного моделювання, а також, можливо, зовнішню програму - оптимайзер.

Це найбільш ефективний спосіб, який реалізований в продуктах пакетах Simulia і SolidWorks, розроблених Dassault System. Однак в цьому випадку потрібна наявність потужних обчислювальних засобів і розвинених програмних інтерфейсів. Параметризація здійснюється в середовищі CAD системи шляхом завдання групи параметрів, що визначають геометрію

сплайнів NURBS, які і формують геометрію конструкції. Далі проводиться експорт CAD моделі в кінцево елементний формат, рішення задачі механіки, включаючи обчислення цільового функціоналу і обмежень. Ці результати обробляються вбудованим в MCE або зовнішнім оптимайзер, який призначає нові значення параметрів конструкції. Ці значення передаються в CAD програму тощо

2. Перешикування кінцево елементної сітки при ітераціях внутрішніми засобами системи MCE моделювання.

У цьому випадку опис геометрії конструкції здійснюється в формі скрипта завданням послідовності операторів, залежних від значень ряду параметрів, які однозначно визначають бажані зміни геометрії конструкції при її оптимізації. Для новоствореної геометрії перестроювання сітки також задається послідовністю скриптів, які можуть залежати або бути незалежними від параметрів дизайну. Подальша робота алгоритму оптимізації здійснюється аналогічно описаній вище.

3. Параметризовані геометрія і метод деформованої сітки.

Цей метод передбачає деформацію (тобто рух елементів сітки без порушення її топології) спочатку побудованої сітки відповідно до заданого законом її руху. Цей закон, який представляє собою рішення рівнянь деформованої сітки, коли граничні умови для цих рівнянь задані деякими співвідношеннями, в які входять параметри, які і характеризують допустимі зміни геометрії конструкції. Таким чином, відповідно до цього методу модифікація геометрії в ітераційне процесі відбувається разом з деформованою сіткою без руйнування її топології. Деформована сітка є дуже потужним засобом, що використовується також в задачах гідромеханіки, особливо, з вільною поверхнею рідини.

Послідовність дослідження проектування з оптимізацією

На першому етапі оптимізаційних розрахунків слід вказати значення для кожної змінної як дискретної або з використанням діапазону. Ви використовуєте датчики в якості обмежень або цілей. Програма запускає ітерації значень і виводить оптимальну комбінацію значень для зазначеної Вами мети.

Щоб виконати оптимізацію, встановіть прапорець Оптимізація на вкладці Исследование проектирования. При виборі значення Переменные або Цели для розділу Переменные оптимізаційне дослідження проектування активується автоматично. Щоб налаштувати параметри дослідження оптимізації проектування, використовуйте вкладку Просмотр переменных.

Вкладка Просмотр таблицы використовується для визначення сценаріїв вручну, при якому задаються все дискретні змінні, виконується їх запуск і знаходиться оптимальний сценарій.

Оптимізаційне дослідження визначається цільовою функцією, а також розрахунковими змінними і обмеженнями. Наприклад, Ви можете змінити розміри моделі до мінімально можливих, при яких напруга не перевищує встановлених обмежень. В цьому випадку мінімізовуваний об'єм є цільовою функцією, змінні розміри є розрахунковими параметрами, а максимальне напруження - обмеженням поведінки.

- **Переменные.** Виберіть в списку відповідно до стандартних параметрів або визначте новий параметр, вибравши **Добавить параметр**. Можна використовувати всі параметри і задаючи глобальні змінні **Simulation**. Змінні повинні бути визначені як **Диапазон**, **Дискретные значения** або **Диапазон при шаге**.

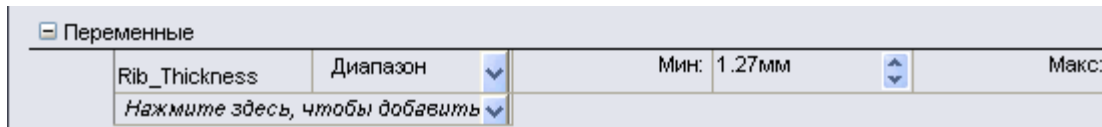


Рисунок 71.

Можна визначити комбінацію дискретних і безперервних змінних. Якщо будуть визначені тільки дискретні змінні, пошук оптимального сценарію буде виконуватися тільки серед попередньо заданих сценаріїв.

- **Ограничения.** Виберіть в списку заздалегідь визначених датчиків або визначте новий датчик. При перегляді результатів **Simulation** вибирайте дослідження **Simulation**, пов'язане з обраним датчиком. При запуску дослідження проектування запускаються і вибрані дослідження **Simulation**, і для всіх ітерацій відслідковуються значення датчика. Також можна використовувати керовані глобальні змінні для обмежень.

Таблица 1

Дерево конструирования FeatureManager	Вкладка «Исследование проектирования»

- **Цели.** Для визначення цілей використовуються датчики. Можна також визначити точні цілі, наприклад: прогин на кінці в 1 мм з довжиною консольної балки в якості змінної.

Максимальна загальна кількість обмежень і цілей не повинно перевищувати 20. Можна визначити до 20 проектних змінних. Для отримання найкращих результатів визначайте не більше 3-4 цілей для кожного дослідження оптимізації проекту.

Властивості дослідження проектування з оптимізацією

Хоча аналіз допомагає швидко і дешево змоделювати цикл проектування виробу на комп'ютері, вам все одно необхідно створити кілька досліджень і змоделювати безліч сценаріїв. Після кожної зміни ви повинні виконати аналіз і перевірити результати.

Навіть в найпростішій конструкції може бути кілька розмірів, які можуть бути змінені. Вибрати комбінацію параметрів, вести облік змін і переглядати результати буває досить важко.

При використанні параметричних і моделюючих функцій програми і можливостей автоматичної регенерації під час виконання дослідження проектування вдається автоматизувати процес оптимізації. У програмі є технологія швидкого виявлення тенденцій і пошуку оптимального рішення з найменшою кількістю прогонів. Програма використовує метод на основі

Планирования опыта. Програма пропонує на вибір дві різні ступені якості у властивостях дослідження проектування. Програма виконує ряд пробних прогонів, що залежать від рівня якості та кількості параметрів. У кожній спробі програма запускає всі необхідні дослідження моделювання, визначаючи особливим чином набір змінюваних значень. У таблиці нижче наведено кількість ітерацій для методів швидкого отримання точних результатів для безперервних змінних (параметр **Диапазон**). У програмі використовується квадратичний метод **Vox-Behnken** при налаштуванні **Высокое качество** і квадратичний метод **Rechtschafner** для настройки **Быстрые результаты**. Хоча метод **Rechtschafner** виконує певні попередні обчислення, які не потрібні для **Vox-Behnken**, потрібно провести кілька пробних прогонів, щоб сформулювати функцію відгуку і виконати оптимізацію.

Таблиця 2.

Кількість розрахункових параметрів (для безперервних змінних)	Высокое качество	Быстрые результаты
1	3	Не застосовується
2	9	Не застосовується
3	13	Не застосовується
4	25	15
5	41	21
6	49	28
7	57	36
8	Не застосовується	45
9	121	55
10	161	66
11	177	78
12	193	91
13	Не застосовується	105
14	Не застосовується	120
15	Не застосовується	136
16	385	153
17	Не застосовується	171
18	Не застосовується	190
19	Не застосовується	210
20	Не застосовується	231

Після проведення пробних запусків розраховуються оптимальні проектні змінні шляхом формування функції відгуку для змінних щодо цілей, а також мінімізації, максимізації або приведення до точних цільових параметрів. Потім програма запускає відповідні дослідження моделювання, щоб отримати результати для оптимальної конструкції.

Запуск команди «Исследования оптимизации»

Після настройки дослідження проектування встановіть галочку Оптимизация і натисніть на Запуск на вкладці Исследование проектирования. Кількість проходів, які виконуються програмою, залежить від ступеня якості дослідження.

В цілому, час розрахунку залежить від:

- Якості процесу дослідження проектування
- Числа змінних, обмежень і цілей, які необхідно оптимізувати
- Числа досліджень моделювання, які необхідно запустити для кожного проходу.
- Труднощів геометрії
- Розміру сітки, використовуваного для досліджень моделювання


Перевірка остаточних результатів

Розміри, отримані з оптимізаційного дослідження проектування з використанням безперервних змінних, можуть використовуватися після виробництва. Вам може знадобитися округлити розміри і перевірити

кінцеву модель. В якості альтернативи ви можете вибрати дискретні значення для змінних, які повинні відповідати параметрам виробництва.

1. Округліть змінні конструкції (розрахункові параметри) так, щоб вони відповідали параметрам виробництва.
2. Заново згенеруйте модель.
3. Виконайте початкові дослідження.
4. Перевірте результати на відповідність всім обмеженням.

Запуск команди «Оптимизационное исследование»

1. На вкладці «Исследование проектирования» виберіть значок «Свойства»  для завдання ступеня якості дослідження.

2. На вкладках Просмотр переменных або Просмотр таблицы дослідження проектування, в розділі Переменные задайте дискретні або безперервні змінні.

Результат дослідження проектування визначається сукупністю параметрів якості і заданих змінних.


3. У розділі Ограничения виберіть існуючі датчики або додайте нові датчики і задайте умови, яким має задовольняти ваше дослідження.

4. У розділі Цели виберіть існуючі датчики або додайте нові датчики і задайте цілі.

5. Встановіть галочку Оптимизация і натисніть Запустить.

6. На вкладці Просмотр результатов відображаються значення змінних, обмеження і цілі для проходів, а також для оптимального рішення.


Ви можете вибрати стовпець сценарію, щоб оновити модель з урахуванням набору значень змінних в графічному вікні. Також можна перемістити бігунок, розташований праворуч від кожної змінної, щоб оновити модель.

7. У лівій області вкладки дослідження проектування в вікні **Результаты и графики**  виберіть будь-які з представлених датчиків, пов'язаних з дослідженням моделювання.

Програма виконує оновлення епюри в графічному вікні. Оновіть прохід або сценарій і відобразить результати в графічному вікні.

8. Натисніть правою кнопкою на **Результаты и графики**  і виберіть один з наступних параметрів:

Таблица 3.

Очистить результаты	Видаляє результати, але зберігає визначення дослідження.
Определить график этапов проектирования	Побудувати двовимірний графік змінної проектування, завдання (цілі) або обмеження в залежності від номера сценарію, за умови що ви використовуєте тільки дискретні змінні.
Определить график локальной тенденции	Побудувати двовимірний графік завдання (цілі) або обмеження в залежності від змінної проектування. Якщо для якості дослідження поставлено параметр <i>Высокое качество</i> , побудова графіків неможлива, і визначаються тільки дискретні змінні.
Настройка меню	Ви можете включити або виключити параметри, які відображаються в меню, натиснувши правою кнопкою на Результаты и графики  .

Лекція 12. Топологічна оптимізація

Особливості виконання топологічної оптимізації

Оптимізація форми конструкції на практиці передбачає використання кінцевоелементного аналізу для вирішення завдання механіки і обчислення цільового функціоналу, заданого в тій чи іншій формі, а також геометричних і механічних обмежень. При цьому, так як в процесі ітерацій повинна змінюватися форма конструкції, кінцевоелементне розбиття області дизайну також має змінюватися. Для такого перерозбиття області дизайну необхідно завдання певної параметризації, яка буде керувати процесом перестроювання сітки. Можливі три основні підходи до завдання такої параметризації, і їх вибір залежить від програмних засобів, які ми маємо.

1. Програмний комплекс, що включає CAD і CAE систему кінцевоелементного моделювання, а також, можливо, зовнішню програму - оптимайзер.

Це найбільш ефективний спосіб, який реалізований в пакетах Simulia і SolidWorks, розроблених Dassault System. Однак в цьому випадку потрібна наявність потужних обчислювальних засобів і розвинених програмних інтерфейсів. Параметризація здійснюється в середовищі CAD системи шляхом завдання групи параметрів, що визначають геометрію сплайнів NURBS, які і формують геометрію конструкції. Далі проводиться трансформація CAD моделі в кінцевоелементний формат, рішення задачі механіки, включаючи обчислення цільового функціоналу і обмежень. Ці результати обробляються вбудованим в MCE або зовнішнім оптимайзер, який призначає нові значення параметрів конструкції. Ці значення передаються в CAD програму тощо

2. *Перебудовування кінцевоелементної сітки при ітераціях внутрішніми засобами системи MCE моделювання.*

У цьому випадку опис геометрії конструкції здійснюється в формі скрипта задаванням послідовності операторів, залежних від значень ряду параметрів, які однозначно визначають бажані зміни геометрії конструкції при її оптимізації. Для новоствореної геометрії перестроювання сітки також задається послідовністю скриптів, які можуть залежати або бути незалежними від параметрів дизайну. Подальша робота алгоритму оптимізації здійснюється аналогічно описаній вище.

3. *Параметризовані геометрія і метод деформованої сітки.* Цей метод передбачає деформацію (тобто рух елементів сітки без порушення її топології) спочатку побудованої сітки відповідно до заданого законом її руху. Цей закон, який представляє собою рішення рівнянь деформованої сітки, коли граничні умови для цих рівнянь задані деякими співвідношеннями, в які входять параметри, які і характеризують допустимі зміни геометрії конструкції. Таким чином, відповідно до цього методу модифікація геометрії в ітераційному процесі відбувається разом з деформованою сіткою без руйнування її топології.

Послідовність виконання топологічної оптимізації при проектуванні полегшених деталей

Якщо в деякій сфері діяльності важливі мала маса і міцність, то природною метою буде вибрати таку конфігурацію деталі, яка, володіючи найменшою масою, без проблем виконувала б своє функціональне призначення. В SolidWorks Simulation є можливість оптимізації топології деталей, яка полягає в зниженні маси при забезпеченні необхідного запасу міцності.

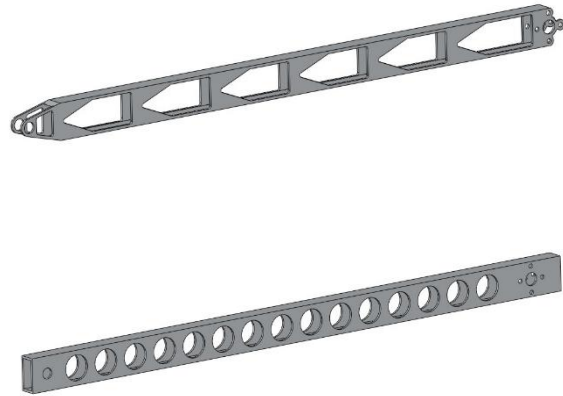


Рисунок 72.

Давайте подивимося, як це робиться, на прикладі плеча важеля робота, який був представлений в 2015 році на студентському конкурсі FIRST Robotics Competition (FRC). Маса поворотного плеча слід оптимізувати так, щоб робот міг піднімати необхідний вантаж.

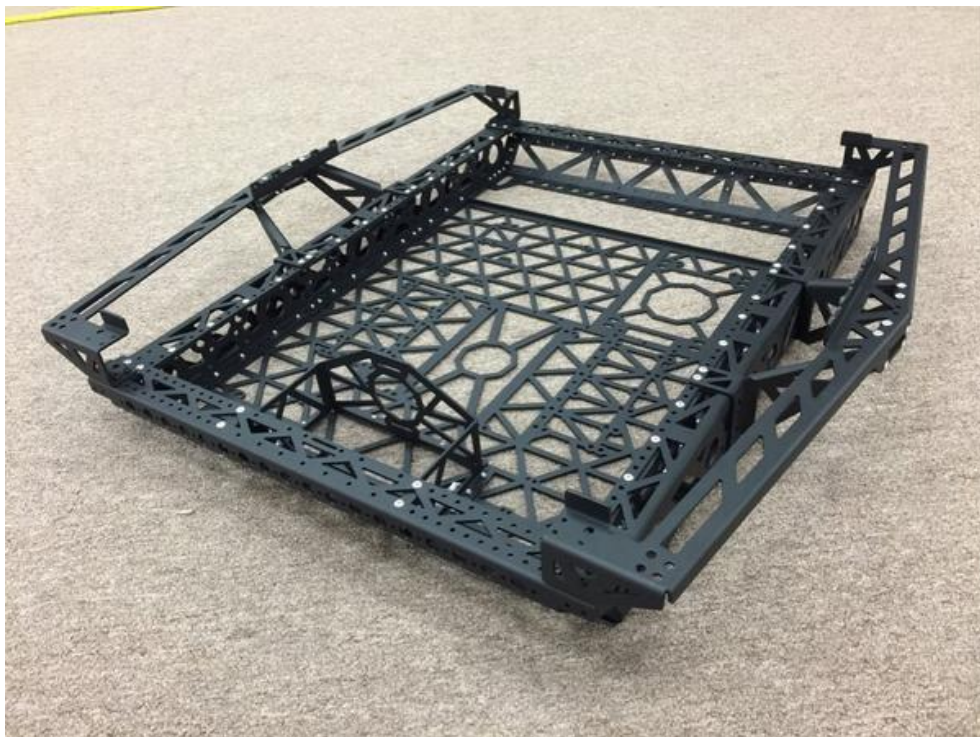


Рисунок 73. Приклад полегшеного шасі робота

За умовами конкурсу, робот без вантажу повинен був важити не більше 55 кг, тому до його конструкції учасникам довелося поставитися максимально серйозно. Конструкторські групи застосовували полегшені деталі, вирізаючи зайвий матеріал всюди, де це було можливо.

Але відразу виникає питання: в яких місцях можна видалити матеріал так, щоб не завдати шкоди функціональності деталі?

Для спрощення припустимо, що плече виготовлено з профілю прямокутного коробчатого перерізу 50 x 25 мм (див. Ілюстрацію нижче). Для початку в SolidWorks був виконаний статичний міцнісний розрахунок.



Рисунок 74. Роликовий захват, що спирається на два плеча, перед остаточною збіркою

Роликовий захват і вантаж разом важать близько 7 кг, але через низку додаткових навантажувальних умов ми вважали з запасом, що кожне плече

(їх по одному з кожного боку) повинно витримувати 9 кг. Інший кінець кожного плеча з'єднаний з корпусом через ланцюгову передачу.

Міцнісний розрахунок суцільної трубки, яка важить трохи більше 1 кг (а плеча два, отже - 2 з невеликим кг), показав, що при заданому навантаженні механічне напруження становить близько 63 МПа. Матеріал плечей - алюмінієвий сплав (з межею текучості 275 МПа). Запас міцності склав 4,34 - видно, що деталь занадто масивна.

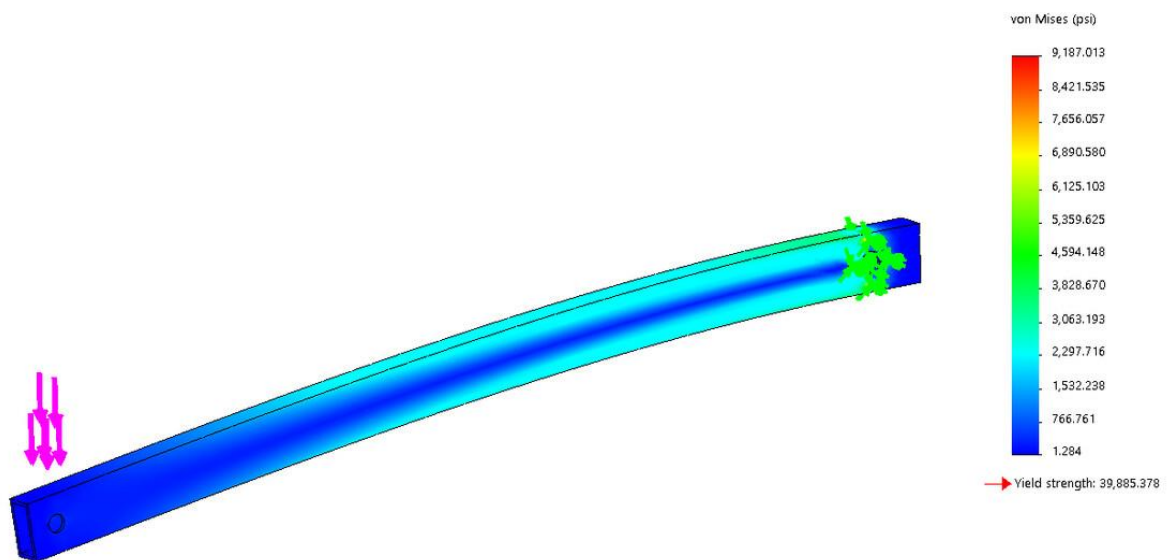


Рисунок 75. Міцнісний розрахунок плеча, виготовленого із суцільної трубки

Роботу необхідно було «схуднути», і для цього його традиційно відправили на свердлильний верстат. Тим більше, з'ясувалося, що до роботи буде приєднана додаткова система, і вже наявне оснащення обов'язково потрібно було зробити на 7 кг легшим. Плечі захватувального механізму повинні були внести до цього свій вклад, але перш ніж починати фізичне видалення матеріалу, було змодельовано його в цифровому форматі в SolidWorks.

Якщо видалити занадто багато матеріалу, чи не стане деталь менш міцною? Цього зазвичай побоюються найбільше. Щоб бути впевненими в правильності рішення, провели ще один розрахунок. З'ясувалося, що якщо розташувати вирізи занадто близько до місць зчленування, плечі не витримують навантаження.

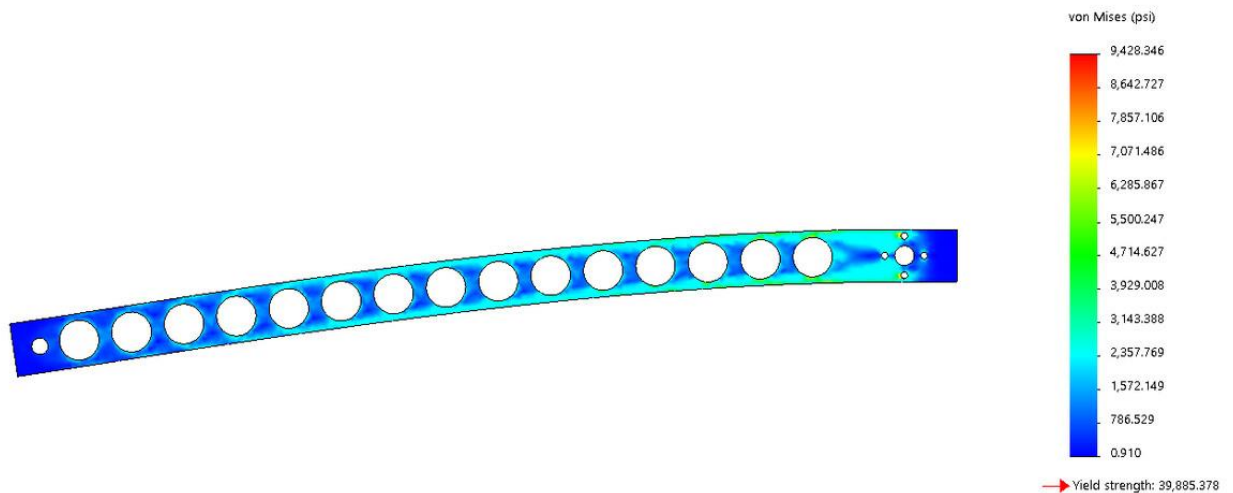


Рисунок 76. Міцнісний розрахунок полегшеного плеча з отворами

В SolidWorks було проведено кілька розрахунків для різних конфігурацій отворів в деталі - і, нарешті, вдалося домогтися компромісу між масою і міцністю. Обидва плеча механізму в сумі тепер важили 1,4 кг. Виграш в масі склав майже 40%, але коли розробники повторно перевірили запас міцності, виявилось, що тут змін практично не відбулося. Запас міцності склав 4,2 - тобто за цим параметром конструкція залишилася такою ж надмірною. Проте, після фрезерування вирізів в компонентах, переходу на більш легкі матеріали і застосування трубок зі зменшеною товщиною стінок масу робота вдалося зробити на 0,09 кг менше гранично допустимої. Робот відправився підкорювати конкурсні вершини, а конструктори зітхнули з полегшенням.

Тоді, в 2015 версії, оптимізація проводилася вручну. В SolidWorks 2018 з'явилися засоби автоматизованої топологічної оптимізації, тому корисно буде повернутися і оцінити перспективи полегшення деталі, яка і в наші дні застосовується в конструкціях промислових роботів.

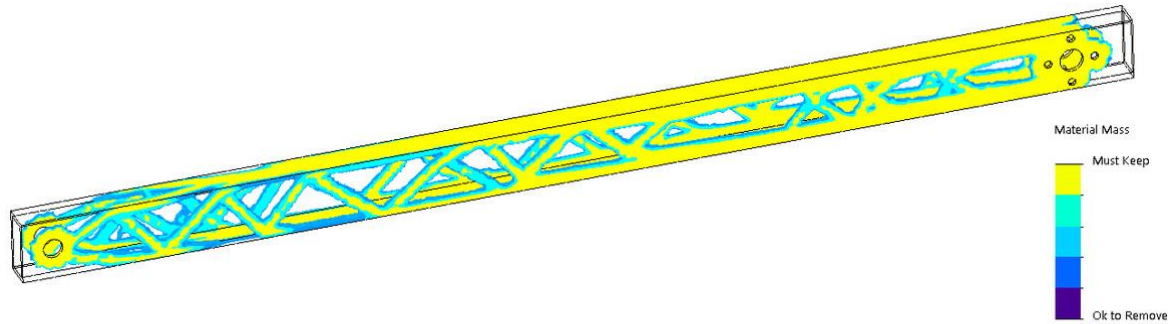


Рисунок 77. Зменшення маси на 50% після першого етапу оптимізації

Отже, поставимо для початку мета знизити масу деталі на 50%. У вихідних умовах для SolidWorks зазначено, що потрібно залишити достатню кількість матеріалу в місці кріплення зірочки ланцюгової передачі і на зап'ясті, до якого приєднується захват. Масу вдалося зменшити на 50%, але запас міцності так і не опустився нижче 3,2 - може бути, продовжувати далі і не варто?

Ну чому ж? Давайте спробуємо зменшити масу на 75%!

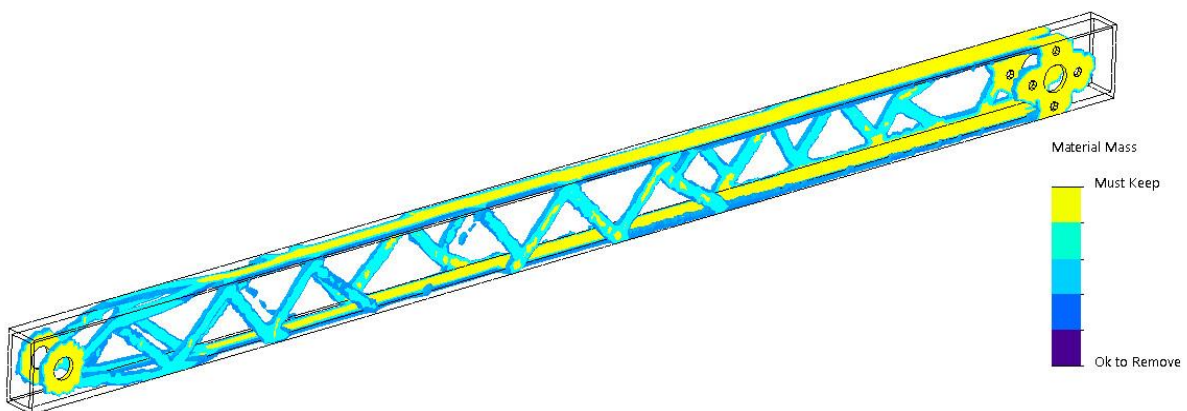


Рисунок 78.

При зменшенні маси плеча робота на 75% запас міцності склав 2,1. Але такі ажурні деталі на перший погляд сприймаються скептично - не віриться, що вони будуть надійно працювати. Проте, розрахунок підтверджується практикою, і отримана конструкція дійсно здатна витримати прикладене навантаження.

Більшість конструкторів розробляють полегшені деталі, забезпечуючи їх трикутними вирізами і підбираючи для них оптимальне розташування.

Однак змодельована деталь і деталь у виробництві (що виготовляється, наприклад, методом 3D-друку) - це не зовсім одне й те саме, тому з конструкторськими даними потрібно ще трохи попрацювати.

Експортуємо деталь в тіло сітки.



Рисунок 79.

Отримавши в SolidWorks тіло сітки, ми можемо зробити з ним ряд корисних маніпуляцій.

Сама по собі сітка не має інтелектуальності, але ми можемо доопрацьовувати модель на її основі і використовувати її як шаблон для розміщення вирізів. На цьому етапі зазвичай додають заокруглення і додаткові геометричні елементи, перевіряючи їх вплив на запас міцності.

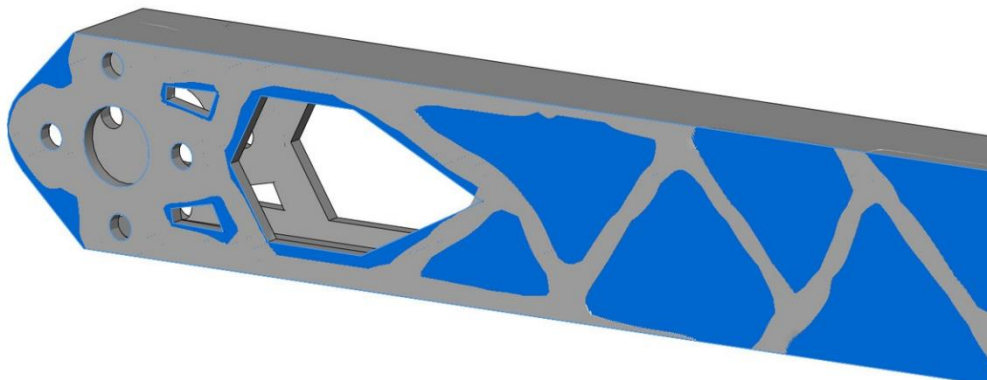


Рисунок 80.

Сітка використовується в якості основи в процедурі підгонки вирізів.

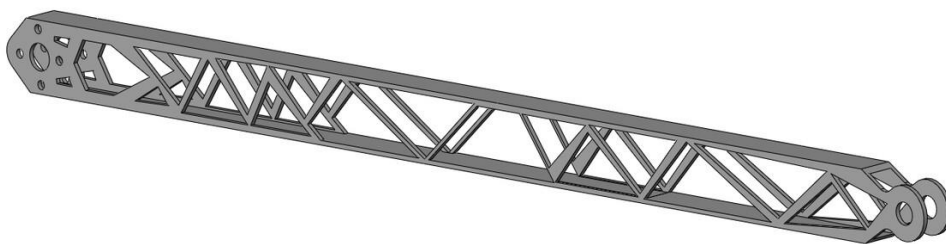


Рисунок 81.

Після підгонки модель важить 0,3 кг і має запас міцності 2,7!

Але отриманий результат - не зовсім те, що потрібно. Вирізи в деталі неоднорідні і непривабливі естетично, а сама деталь занадто ажурна. Тепер, коли ми вміємо оптимізувати топологію, можна більш чітко сформулювати

умови, щоб деталь стала більш технологічною у виготовленні і практичною у використанні.

Дослідивши деталь під впливом додаткових навантажень, в тому числі крутного моменту, ми врешті-решт отримали оптимальний для заданих умов результат. Плече робота масою 0,4 кг здатне витримати всі три типи прикладається до нього навантаження, має рівномірну структуру вирізів і технологічно у виготовленні - і все це завдяки можливостям топологічного аналізу SolidWorks!

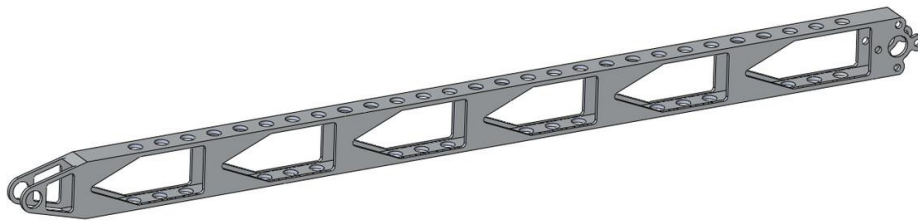


Рисунок 82.

Остаточна деталь: маса 0,4 кг, зниження маси на 63%, витримує всі 3 прикладаються навантаження

SolidWorks Simulation, до речі, наочно підтверджує правоту інженерів, які завжди інтуїтивно робили вирізи в деталях трикутними - адже саме така картина поширення механічної напруги з точки А в точку В.

Глоссарій

Інжиніринг (engineering): Інженерно-консультаційна діяльність, змістом якої є вирішення інженерних завдань, пов'язаних із створенням або вдосконаленням продукції, систем та (або) процесів.

Інженер (engineer): Фахівець, що професійно займається інженерною справою.

Інженерна справа (engineering): Професійна діяльність, пов'язана із застосуванням систематичного, суворого, кількісного підходу для створення та застосування інформації про фізичні об'єкти, системи, процеси та їх взаємодію з метою створення нових сутностей.

Сутність (entity): Матеріальне чи ідеальне утворення, що існує саме собою, фактично чи потенційно, конкретно чи абстрактно, фізично чи ні.

Вплив (effect): Активний вплив суб'єкта на об'єкт, що призводить до зміни стану об'єкта, який реєструється.

Дія (action): Одиничний акт діяльності, що призводить до зміни системи, за якою спостерігають, або її елементів і завершується встановленим (вимірним) результатом діяльності.

Діяльність (activity): Сукупність дій, при яких витрачаються час і ресурси та виконання яких необхідне досягнення чи сприяння досягненню одного чи кількох результатів.

Завдання (в області інжинірингу) (task): Необхідна, рекомендована або допустима дія, призначена зробити внесок у досягнення одного або декількох результатів процесу або діяльності.

Інформація (в галузі інжинірингу) (information): Документовані та логічно організовані знання, дані та відомості, які відображають явища та

закони природи, суспільства і мислення, одержувані та застосовувані в галузі інжинірингу.

Якість (quality): Ступінь відповідності сукупності характеристик об'єкта вимогам.

Призначення (продукту, системи або процесу) (purpose): Очікуваний результат функціонування об'єкта (системи, елемента системи) або вихід процесу, що визначається через вимірювані параметри їх функціонування.

Невизначеність (uncertainty): Стан, що полягає у недостатності, навіть часткової, інформації, розуміння чи знання щодо події, його наслідків чи його можливості.

Продукт (product): Одиничний екземпляр або відокремлена частина продукції, здатна задовольнити одиничну потребу або вимогу.

Продукція (product): Кінцевий результат діяльності, спрямованої на створення матеріальних об'єктів (продуктів), призначених до застосування як засобу задоволення потреб чи вимог .

Проект (project): Унікальний процес, що складається з сукупності скоординованих і керованих видів діяльності з початковою та кінцевою датами, застосований для досягнення мети, який відповідає конкретним вимогам, а також включає обмеження за термінами, вартістю і ресурсами.

Проектування (в галузі інжинірингу) (project creation): Процес розробки (створення) проекту

Процес (process): Сукупність взаємопов'язаних та (або) взаємодіючих видів діяльності, що використовують входи для отримання наміченого результату.

Ресурс (resource): Активи (організації), які використовуються або витрачаються при виконанні процесу.

Об'єкт (object): Сутність, щодо якої здійснюється дія з боку та/або на користь суб'єкта.

Властивість (property): Одиначний елемент множини стійких значень змінних параметрів об'єкта, що характеризують його якість.

Система (system): Сукупність взаємопов'язаних та/або взаємодіючих елементів.

Подія (event): Поява чи зміна певного набору причин.

Стан (state): Множина стійких значень змінних параметрів, що характеризують окремі властивості об'єкта в певний момент часу.

Суб'єкт (subject): Сутність, яка здійснює вплив на об'єкт, або в інтересах якої здійснюється вплив на об'єкт з метою забезпечення його функціонування чи реалізації призначення.

Вимога (requirement): Встановлена потреба чи очікування, яке зазвичай вважається або є обов'язковим.

Функціонування (functioning): Робота продукту, процесу чи системи відповідно до їх призначення.

Мета (aim): Очікуваний суб'єктивний результат функціонування сутності, який задовольняє потреби суб'єкта у її створенні та функціонуванні та визначається через показники задоволеності суб'єкта.

Використана література

1. Осика Л.К. Инжиниринг объектов интеллектуальной энергетической системы. Проектирование. Строительство. Бизнес и управление: практическое пособие. Москва : МЭИ, 2014. 780 с.
2. Інжиніринг. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Інжиніринг> (дата звернення: 12.10.2021)
3. Аверьянов О.И., Аверьянова И.О. Основы инжиниринга в машиностроении: учебное пособие. 2-е изд., стереотип. - Москва : МГИУ, 2007. 64 с.
4. Оптимизация формы посредством исследования проектирования. URL: <http://new.cadregion.ru/category/all/solidworks-simulation> (дата звернення: 12.10.2021)
5. Компьютерный инжиниринг : учеб. пособие / А. И. Боровков и др. Санкт-Петербург : Изд-во Политехн. ун-та, 2012. 93 с.
6. Інжиніринг пакувального обладнання: текст лекцій для студентів спеціальності «Прикладна механіка», спеціалізації «Машини і технології пакування» / уклад.: А. Я. Карвацький. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. 141 с.
7. Огородникова, О. М. Вычислительные методы в компьютерном инжиниринге: учебное пособие. Екатеринбург : УрФУ, 2013. 130 с.
8. Осика Л. Что такое инжиниринг? URL : <http://www.up-pro.ru/library/modernization/engineering/sovremennij-inzhiniring.html> (дата звернення: 12.10.2021)
9. Учимся правильно дуть в Solidworks flow simulation. URL : <https://3dtoday.ru/blogs/maniak26/learning-how-to-blow-in-solidworks-flow-simulation> (дата звернення: 12.10.2021)
10. Лукманов О. Обратный инжиниринг. Cadmaster. 2018. №1. с. 55-56.

11. Исследования проектирования в Solidworks. URL : http://help.solidworks.com/2018/russian/SolidWorks/sldworks/c_Design_Studies_in_SOLIDWORKS.htm?id=bf76c39fe53044be91d090c8379d19da#Pg0 (дата звернення: 12.10.2021)
12. Топологическая оптимизация при проектировании облегченных деталей. URL : <https://render.ru/ru/3DS/post/15676> (дата звернення: 12.10.2021)
13. Чехович А. Топологическая оптимизация геометрии изделия как путь повышения прибыльности предприятия. URL : <https://blog.iqb.ru/geometry-topology-optimization/> (дата звернення: 12.10.2021)
14. Белов М.П., Зементов О.И., Козярук А.Е. и др. Инжиниринг электроприводов и систем автоматизации / под ред. В.А. Новикова, Л.М.Чернигова. Москва : Академия, 2006. 368 с.
15. Дейк Л.П. Практический инжиниринг резервуаров. Москва-Ижевск : Институт компьютерных исследований, НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика", 2008. 668 с.
16. Таранов А.С., Политикова Н.А. Организационно-экономические и технологические основы инжиниринга : Учебное пособие. Курган : Издательство Курганского государственного университета, 2014. — 156 с.