

В.Я. Ворощук, Т.М. Вітенько

ІНЖИНІРИНГ ТА 3D
МОДЕЛЮВАННЯ В
СЕРЕДОВИЩІ SOLIDWORKS
НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

Тернопіль, 2023

УДК 681.3

Ворошук В.Я., Вітенько. Т.М. Інжиніринг та 3D моделювання в середовищі Solidworks: навч. посібник. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2023. 164с.

ISBN 978-617-7875-69-6

Укладачі:

Віктор ВОРОЩУК, кандидат економічних наук
Тетяна ВІТЕНЬКО, доктор технічних наук, професор

Рецензенти:

Олександр ЛЯПОЩЕНКО, доктор технічних наук, професор
(Сумський державний університет)
Роман ЗОЛОТИЙ, кандидат технічних наук, доцент
(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя)

Рекомендовано до друку

Вченою радою Тернопільського національного технічного університету імені
Івана Пулюя
Протокол № 4 від 24 квітня 2023

Посібник знайомить із поняттям інжинірингу, формуванням його як напрямку діяльності технічних фахівців. Розглядаються основні базові операції роботи із побудови конструктивних елементів у середовищі SolidWorks, а також особливості застосування додатка SolidWorks Simulation для оптимізації конструкції готових технічних рішень.

Для студентів вищих навчальних закладів.

ISBN 978-617-7875-69-6

© Віктор ВОРОЩУК, Тетяна ВІТЕНЬКО, 2023

© ФОП Паляниця В.А., 2023

Зміст

Зміст.....	3
Лекція 1. Інжиніринг і його місце у науково-технічному прогресі	6
Поняття інжинірингу	6
Предметна область інжинірингу.....	7
Структура інжинірингу.....	16
Історія інжинірингу та його розвиток.....	19
Види інженерно-технічних послуг	20
Лекція 2. Особливості сучасного інжинірингу в світовій практиці.....	21
Інжинірингова діяльність сьогодні, сучасний інжиніринг	21
Взаємозв'язок інжинірингу, проектування, управління проектами при вирішенні практичних завдань	24
Міжнародний інжиніринг.....	25
Інжинірингові фірми	26
Особливості функціонування інжинірингових фірм. Системність і комплексність виробничих процесів інжинірингових фірм.	27
Лекція 3. Інжинірингові проекти та забезпечення якості продукції.....	29
Інжиніринг та якість продукції.....	29
Система забезпечення якості	30
Узагальнені показники якості	32
Стандартизація та якість.....	37
Лекція 4. Автоматизація та комп'ютерний інжиніринг	39
Автоматизація виробництва та інжиніринг.....	39
Головні тенденції та підходи сучасного комп'ютерного інжинірингу.....	41
Концепція моделювання інженерних об'єктів	46
Програмне забезпечення для математичних розрахунків.....	48
Програмне забезпечення для графо-математичних задач	50
Лекція 5. Основні поняття, структура документа в програмі SolidWorks	59
Загальні відомості про програму SolidWorks.....	59

Вікна документів	61
Умовні позначення.....	61
Панелі інструментів	63
Прийняття створюваних елементів	66
Лекція 6. Основні принципи роботи в програмі SolidWorks. Дерево конструювання, відкриття існуючих документів і створення нових.....	67
Дерево конструювання FeatureManager	67
Створення нових документів і використання шаблонів	73
Відкриття існуючих документів	74
Лекція 7. Інструменти SolidWorks.....	75
Налаштування команд	75
Початок роботи з ескізом	77
Рівень складності ескізів	79
Інструменти для роботи з ескізами	80
Лекція 8. Робота з ескізами в SolidWorks	85
Основні відомості про роботу з ескізами у SolidWorks. Рядок стану.....	85
Умовні позначення для стану ескізу	86
Взаємозв'язки	90
Побудова нового двомірного ескізу.....	96
Контекстні меню	96
Вирізання, копіювання і вставка в ескізах.....	98
Копіювання і вставка цілих ескізів.....	98
Редагування ескізу	99
Лекція 9. Інструменти SolidWorks.....	101
Інструменти SolidWorks для роботи з 3D елементами.....	101
Інструмент «Вытянутая бобышка/основание».....	101
Інструмент «Вытянутый вырез»	106
Граничні умови.....	108
Інструмент «Линейный массив».....	109
Інструмент «Круговой массив»	116
Інструмент «Зеркальное отражение элемента».....	117

Лекція 10. Зборка в SolidWorks	119
Загальні відомості про зборку.....	119
Панель інструментів «Зборка».....	123
Редагування деталей у зборках	125
Спряження у зборках	127
Переміщення і обертання компонента.....	128
Лекція 11. Проектування. Параметрична оптимізація конструкції	129
Особливості реалізації проектних робіт	129
Оптимізація конструкцій. Загальні поняття. Основні визначення	132
Оптимізація форми конструкції.....	133
Послідовність дослідження проектування з оптимізацією.....	134
Властивості дослідження проектування з оптимізацією	136
Запуск команди «Исследования оптимизации».....	138
Перевірка остаточних результатів.....	139
Запуск команди «Оптимизационное исследование».....	139
Лекція 12. Топологічна оптимізація.....	141
Особливості виконання топологічної оптимізації.....	141
Послідовність виконання топологічної оптимізації при проектуванні полегшених деталей	142
Глосарій.....	152
Література	162

Лекція 1. Інжиніринг і його місце у науково-технічному прогресі

Поняття інжинірингу

Інжиніринг - це сукупність проектних і практичних робіт інженерно-технічного спрямування. Як самостійний вид інноваційної діяльності на договірній основі інжиніринг передбачає надання консультантом замовнику цілісного комплексу або одної чи кількох окремих послуг інженерно-технічного характеру, пов'язаних з виконанням проектних робіт, виготовленням виробу і введенням його в експлуатацію, із розробленням та впровадженням нових технологічних процесів в умовах діючого чи новоствореного виробництва, удосконаленням діючих виробничих та управлінських процесів, в тому числі впровадження виробу у виробництво і формування його збуту.

Серед основних ознак інжинірингу виділяють:

1. Послуги науково-технічного характеру із наданням інформації з відносною практичною новизною, що базуються на новітніх наукових та технічних досягненнях з метою розв'язання практичних проблем або представлення новаторських підходів. Це може включати оновлення технологій, методів виробництва, аналізу даних чи будь-яких інших інноваційних рішень, які мають потенціал для впровадження в реальному виробництві або діловій практиці.

2. Спрямованість на підтримку та доповнення основних інноваційних рішень. Це включає в себе розширення або підтримку новаторських ідей, враховуючи вже існуючі рішення та спроби покращення їх ефективності, якості або ширшого використання.

3. Високий рівень корисності та промислової придатності, який вказує на те, що надані послуги або продукти мають велике значення для практичного використання в індустріальному або бізнес-середовищі. Пропоновані рішення не лише новітні та інноваційні, але й можуть бути застосовані для розв'язання

реальних завдань, мають великий потенціал для впровадження та відповідають вимогам промислових стандартів та виробничих процесів.

Предметна область інжинірингу

Інжиніринг ґрунтується на розробці, вдосконаленні та контролі за реалізацією технічних систем (або об'єктів) через впровадження технологічних, організаційних та фінансово-економічних моделей з метою досягнення поставлених цілей. З іншого боку, інженери інжинірингових компаній працюють з різними видами моделей, які представляють як віртуальні, так і реальні об'єкти. По суті, вони спочатку створюють віртуальну модель, а потім супроводжують технічний процес перетворення цієї моделі на реальний об'єкт. У процесі експлуатації вони також вносять корективи в віртуальну модель, враховуючи параметри реальних об'єктів, таких як обладнання, будівлі і споруди, які взаємодіють у технологічному ланцюжку виробництва.

Мета інжинірингу в будівництві полягає в створенні об'єкта, який максимально відповідає розробленій моделі. Під час експлуатації надзвичайно важливо правильно моделювати технологічні процеси, з урахуванням реальних подій протягом життєвого циклу об'єкта. Таким чином, на всіх етапах інжинірингу вимагається постійне моделювання: під час виготовлення (будівництва) - моделювання структури об'єкта, а під час експлуатації - моделювання процесів.

Мета інжинірингу в машинобудуванні полягає у вдосконаленні та оптимізації процесів проектування, розробки та виробництва машин і механізмів. Основні цілі в цій галузі включають наступне.

Створення ефективних конструкцій. Розробка та створення машин з урахуванням вимог ефективності, продуктивності та безпеки. При цьому багато основну увагу приділяють оптимізації конструкцій для досягнення найвищої продуктивності при мінімальних витратах матеріалів та ресурсів.

Зменшення термінів розробки. Застосування передових методів та технологій для прискорення процесу розробки, від проектування до виробництва, що дозволяє швидше виводити продукцію на ринок.

Підвищення якості та надійності. Створення машин, які відповідають високим стандартам якості та надійності, зменшуючи ризик виробничих дефектів та полегшуючи технічне обслуговування.

Удосконалення та інтеграція технологій. Впровадження передових технологій, включаючи цифрові інструменти, машинне навчання, інтернет речей (IoT) та інші інновації, для покращення якості виробництва та ефективності процесів.

Спрощення виробництва та оптимізація витрат. Розробка методів виробництва, які дозволяють знизити витрати на виробництво, у той же час підвищуючи продуктивність і забезпечуючи високу якість готової продукції.

Інжиніринг у машинобудуванні ставить за мету не лише створення нових машин і механізмів, а й оптимізацію процесів, що дозволяє виробляти високоякісну продукцію за більш короткі терміни та з меншими витратами.

Сучасні компанії в галузі інжинірингу виступають яскравим прикладом цього твердження. Більшість з них займаються підготовкою та супроводженням проектів, виконуючи наступні функції.

- діють як технічні агенти або інженери-замовники, організовуючи технічні аспекти проектів.
- надають технічні консультації під час закупівель та на всіх етапах передінвестиційної стадії проектів.
- забезпечують наявність технічних експертів в командах управління проектами.
- виконують попередню розробку документації, таку як технічні пропозиції, концепції та обґрунтування інвестицій (основна інженерія).
- можуть бути інтеграторами та/або замовниками проектної та робочої документації, координуючи процес створення необхідних документів для успішної реалізації проектів.

Сфера інжинірингового бізнесу настільки розмита, оскільки вимагає більшої уваги до нестачі технічних фахівців із високими організаторськими здібностями, або навпаки - менеджерів із технічним багажем знань. Ця ситуація вимагає негайного перегляду як об'єктної сторони інжинірингу, так і його організаційних аспектів.

Таким чином, сфера інжинірингу в бізнесі можна чітко розділити на два основних сегменти:

а) будівельний і виробничий інжиніринг, який на сьогоднішній день є найбільш поширеним і вже згадувався раніше.

б) експлуатаційний інжиніринг - це менш відома галузь діяльності, але постійно потрібна під час експлуатації енергетичних об'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.

Отже, будівельний та промисловий інжиніринг означає розробку моделі промислового об'єкта та керування всім процесом від її створення - від початкових інвестиційних концепцій до введення в експлуатацію, а також перевірку відповідності фактичних параметрів реалізованих технологій очікуваним розрахунковим характеристикам.

Експлуатаційний інжиніринг - це систематичне вдосконалення моделі під час періоду експлуатації системи або об'єкта відповідно до визначених цілей. Крім того, він передбачає повсякденну діяльність експлуатаційного персоналу, яка охоплює не лише безпосереднє взаємодію з конкретним обладнанням, будівлями та структурами, а й управління їх функціональними моделями. Ці моделі використовуються для оцінки ефективності технологічних процесів і загального стану об'єктів.

Основні задачі експлуатаційного інжинірингу включають наступне.

Оптимізація ефективності використання обладнання. Розробка стратегій та методів для підвищення ефективності функціонування обладнання та механізмів, що включає у себе мінімізацію зупинок, підвищення робочого часу, технічне обслуговування та ремонт.

Управління технічним обслуговуванням. Визначення оптимальних графіків технічного обслуговування та ремонту обладнання для забезпечення найкращого його функціонування, підтримки продуктивності та безперебійності роботи.

Моніторинг та діагностика обладнання. Впровадження систем моніторингу стану обладнання, які дозволяють вчасно виявляти потенційні проблеми, прогнозувати витрати на технічне обслуговування та уникнути аварій.

Підвищення надійності та безпеки. Розробка та впровадження заходів, спрямованих на забезпечення безпеки обладнання та робочого середовища, а також підвищення надійності роботи систем.

Оптимізація використання ресурсів. Максимізація використання ресурсів, яка охоплює як матеріальні, так і енергетичні ресурси, щоб зменшити витрати та мінімізувати вплив на навколишнє середовище.

Удосконалення технічних процесів. Оптимізація технічних процесів експлуатації техніки та обладнання, включаючи забезпечення їхньої сумісності, уніфікацію та стандартизацію процесів.

Інжиніринг (Engineering) відіграє важливу роль в системі управління життєвим циклом продукту (**Product Lifecycle Management - PLM**). Його місце та роль в PLM можна розглядати з кількох поглядів:

- **Етапи життєвого циклу продукту.** Інжиніринг охоплює ключові етапи життєвого циклу продукту, включаючи концепцію, розробку, виробництво, впровадження та експлуатацію. PLM впроваджується для управління даними та процесами на всіх цих етапах, забезпечуючи доступність та обмін інформацією між різними командами і фахівцями.
- **Управління конструкцією та розробкою.** PLM забезпечує інтегровану платформу для управління конструкторськими даними, проектуванням та розробкою, включаючи керування версіями, керування змінами, моделювання та аналіз. Інжиніринг тісно пов'язаний із цими процесами і використовує PLM для кращого управління даними та проектуванням.
- **Синергія з іншими функціями PLM.** Інжиніринг в PLM взаємодіє з іншими ключовими функціями, такими як управління конфігурацією, управління якістю, управління виробництвом та управління постачанням. Це допомагає забезпечити взаємодію між різними аспектами управління та оптимізувати процеси на різних етапах життєвого циклу продукту.
- **Підтримка колаборації та комунікації.** PLM допомагає спростувати комунікацію та спільну роботу між різними командами, включаючи інженерів, конструкторів, виробників та інші сторони. Це дозволяє покращити співпрацю, обмін знаннями та швидкість прийняття рішень на різних етапах проектування та реалізації продукту.

Отже, інжиніринг в PLM відіграє ключову роль у забезпеченні ефективного керування даними, процесами та комунікацією на різних етапах життєвого циклу продукту, сприяючи забезпеченню високої якості, продуктивності та інноваційності у процесі розробки та експлуатації продуктів.

Протягом останніх років міжнародне співтовариство та уряди зосереджують увагу на екологічних аспектах у промисловому та цивільному будівництві та виробництві. Деякі фахівці визначають нове напрямком інженерної діяльності - екологічний інжиніринг. Основна його суть полягає у розробці заходів з охорони навколишнього середовища, встановленні екологічних вимог до проектної документації та контролі за їх впровадженням під час будівництва об'єктів.

З огляду на тісний зв'язок між будівництвом та збереженням навколишнього середовища, важливо підкреслити, що екологічні проблеми (а саме, їх розв'язання) стали необхідною складовою інжинірингу. За останні роки ми спостерігаємо зростаючу складність у процесі отримання екологічних дозволів через бюрократичні обмеження. Це відбувається поряд з нарощуванням вимог до використання обладнання, матеріалів і конструкцій з урахуванням їх впливу на довкілля.

Світовий досвід підтверджує, що розвиток галузі інжинірингу повинен прогресувати в напрямку вирішення окремих завдань до системного підходу до інжинірингу, який відповідає зазначеному вище визначенню. У той же час, розвиток бізнесу повинен еволюціонувати від надання окремих послуг до обміну моделями та технологіями для їх реалізації в реальних проектах.

У 1981 році Американська Асоціація інженерів цивільного будівництва (ASCE) випустила документ під назвою "Посібник з використання послуг інженерів". Цей документ провів аналіз практики інженерного консультування, узагальнив класифікацію інженерних послуг, описав процедуру вибору інженера та розглянув інші супутні питання. Згідно з ASCE, яка є визначальною у сфері сучасного інжинірингу, послуги, що надаються сучасними інженерно-консультаційними фірмами, поділяються на вісім основних груп:

1. Індивідуальне консультування: це послуги, які забезпечують окремі консультанти з спеціалізованими знаннями, включаючи юридичну підтримку, участь у судових процедурах та вирішення інженерно-технічних питань.

2. Аналіз техніко-економічних показників та фінансові порівняння: ці послуги передують затвердженню проекту та охоплюють аналіз умов та порівняння різних варіантів, включаючи вплив об'єкта на навколишнє середовище, експлуатаційні витрати та фінансові аспекти.

3. Розвідка планування: це попередні дослідження при створенні генпланів або довгострокових програм розвитку регіонів з урахуванням зовнішніх умов.

4. Оцінка та розрахунок витрат: ці послуги включають аналіз капітальних, експлуатаційних та накладних витрат, а також ставок кредитування.

5. Фінансова допомога: це надання порад та рекомендацій щодо джерел фінансування.

6. Управління виробництвом (будівництвом): ці послуги передбачають застосування методів управління та прийняття рішень на різних етапах будівництва.

7. Інспекція та випробування обладнання та матеріалів: це прийняття обладнання на заводах виробників і випробування матеріалів, що використовуються на будівництві об'єкта.

8. Експлуатаційне обслуговування: це прийняття на себе відповідальності за початкову експлуатацію об'єкта після завершення будівництва.

Перелік послуг комплексного інжинірингу може бути розширений за бажанням замовника, щоб надати інженерно-консультаційну підтримку на різних етапах експлуатації об'єкта або навіть сприяти у реалізації продукції, виготовленої на цьому об'єкті. В міжнародній практиці комплексний інжиніринг включає наступні категорії:

1. Консультативний (Consulting Engineering): здійснює проектування об'єкта, розробляє плани будівництва та контролює виконання робіт. Ця категорія не включає поставку обладнання, будівельних заходів або передачу ліцензій чи технологій.

2. Технологічний (Process Engineering): забезпечує замовника технологічною інформацією, необхідною для будівництва та експлуатації промислового об'єкту. Тут передається виробничий досвід, знання, технології та патенти.

3. Будівельний і виробничий (General Contracting): охоплює проектування, постачання устаткування та техніки або монтаж установок, і при необхідності, інженерні роботи.

У різних країнах можна виділити наступні *категорії інжинірингових компаній* залежно від області послуг:

- **Інженерно-консультаційні:** надають відповідні послуги без поставки обладнання.

- **Інженерно-будівельні та промислові:** надають весь спектр послуг, пов'язаних зі створенням промислових та інших об'єктів на умовах «під ключ».

- **Консультанти з організації та управління (Management Consultant):** здійснюють управління підприємствами, організацію виробництва, збут тощо.

- **Інженерно-дослідні:** спеціалізуються переважно на розробці технології виробництва нових матеріалів.

Доцільність об'єднання послуг комплексного інжинірингу в межах однієї компанії обумовлена наступними міркуваннями:

1. Промисловий об'єкт є складною системою, яка вимагає єдності у концепції та втіленні, а також спільної відповідальності за прийняті технічні рішення.
2. Оптимальний спосіб роботи з моделлю - це працювати з нею від початкової концепції до деталізації в робочих кресленнях, глибоко "занурюючись" в процес.

3. Накопичення компетенцій є найбільш ефективним та корисним, коли творець моделі бере участь у її втіленні, аналізує досвід експлуатації об'єкта та набирає практичних знань для подальшого вдосконалення моделі.
4. Тільки розпорядник (власник) моделі може типізувати її, застосовувати («прив'язувати») та оптимізувати її за критерієм вартості/якості.

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

1. Бере участь у передінвестиційних етапах проекту, як-от опрацювання інвестиційного задуму та створення відповідної документації (концепції, техніко-комерційної пропозиції, обґрунтування інвестицій).
2. Готує технічну частину тендерної документації на замовлення основного обладнання, обираючи ЕРС/ЕРСМ-контрактора.
3. Розробляє розділ організації будівництва та формує графік робіт, що стає складовою проектної документації.
4. Бере участь у керуванні будівельним проектом (через участь своїх представників у групі управління) або організовує цей процес (створює групу управління проектом).

Як впливає з попередньої інформації, майбутнє комплексного інжинірингу передбачає надання повного комплексу послуг як під час будівництва, так і під час експлуатації. Компанії, які працюють у сферах будівельного та експлуатаційного інжинірингу, мають спрямувати свою діяльність на обидва напрями. Однією з ключових послуг повного комплексу є розробка проектної і робочої документації для будівництва.

Це призведе до наступного:

- а) Замовник звільниться від інжинірингових функцій, які для нього є чужими.
- б) Компанії виявлять укрупнення та розвиток компетенцій у сфері інжинірингу.

в) Покращиться якість розробки проектів.

На ринку зростає частка та різноманіття пропозицій комплексних продуктів, що можуть і повинні оптимізуватися завдяки технічному прогресу та зміні зовнішніх умов. Це також призведе до того, що численні недобросовісні структури, що виникли для «відмивання» грошей, будуть витіснені з конкурентного середовища. Також очікується зниження вартості робіт та загальної вартості проектів.

Структура інжинірингу

Доцільним буде розмістити у основу концепції комплексного інжинірингу досить ефективну та широко використовувану міжнародною спільнотою структуру організації проекту, яка зображена на рис. 1.

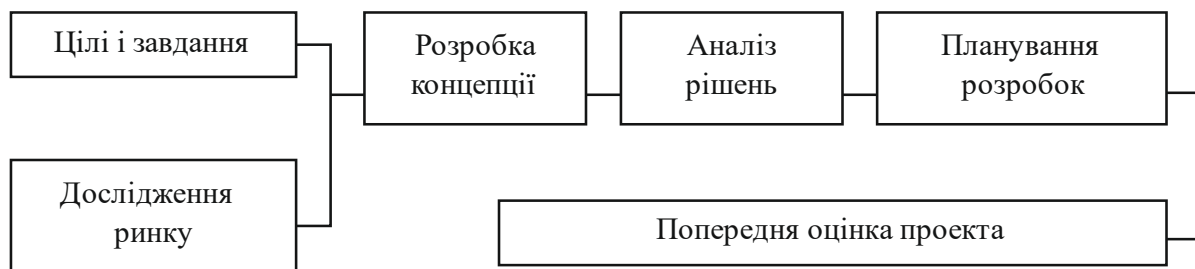


Рис. 1. Етап попереднього аналізу проекту

Аналіз техніко-економічних аспектів проекту є ключовим етапом розробки, оскільки успіх проекту на ринку машинобудівної продукції значно залежить від обґрунтованих та переконливих стратегічних рішень. На початку цього процесу встановлюються мета проекту та визначаються завдання, які, на думку фахівців, мають привести до досягнення поставлених цілей. Ця фаза розробки ґрунтується на аналізі ринку попиту та пропозиції, технічних інновацій, можливих стратегій співпраці та інших факторів. На основі цієї інформації розробляється модель майбутнього проекту та різноманітні його

варіанти. Також розробляється загальний план реалізації проекту. У цьому етапі, окрім керівництва та провідних фахівців інженерної організації, беруть участь представники замовника та досвідчені консультанти з питань, специфічних для даного проекту.

Наступний етап розробки, також з участю тих самих фахівців, включає утворення концепції, яка базується на глибокому аналізі теперішнього та прогнозованого стану підприємства, розумінні динаміки попиту на продукцію на ринку, а також на плануванні використання новітніх технологій та технічних рішень. Цей етап ґрунтується на ретельних дослідженнях у всіх аспектах технічної проблеми з метою прийняття конкретних рішень та попередньої оцінки витрат для загальної реалізації проекту. В результаті цієї попередньої оцінки уточнюються проблематичні питання проекту та розробляються стратегії для їх вирішення (рис. 2).



Рис. 2. Етап оптимального варіанту проекту

Попередній аналіз та проведені експериментальні дослідження створюють необхідні передумови для більш детального вивчення розроблюваної системи з метою можливої оптимізації. З цією метою розробляється математична модель технічної системи, формується опис комплексної системи і уточнюється її структура у завершальному вигляді.

Потому проводиться більш точний розрахунок капітальних вкладень, вирішуються питання техніки безпеки та екології, враховуються законодавчі норми та санкції, які можуть вплинути на прийняття рішень у різних аспектах (рис. 3).



Рис. 3. Остаточний етап проектування

Етап робочого проектування фокусується на ретельній розробці конструкцій, виборі ключових технічних параметрів системи, оцінці собівартості виготовлення та формуванні технічних завдань для комплектуючих елементів та проектування спеціальних пристроїв.

Заключна частина проекту приділяється остаточному (детальному) проектуванню всіх складових системи, складанню специфікацій на розміщення замовлень та придбання матеріалів, а також іншим роботам.

Керівництво підприємства, де планується використання розробленої технологічної системи, повинне усвідомлювати, що не всі аспекти слід делегувати проектній команді. Наприклад, відбір персоналу для експлуатації та технічного обслуговування системи варто проводити з урахуванням передбачуваної соціальної та психологічної ситуації в колективі.

Постійне підвищення якості продукції стає життєво важливим для підприємств, оскільки воно відповідає зростаючим вимогам покупців та підсилює конкурентну боротьбу на глобальному ринку. Основні вимоги, які гарантують високу якість продукції, можна коротко узагальнити так:

- системність - охоплення всіх етапів виробництва та експлуатації;
- комплексність - забезпечення якості на всіх етапах від маркетингу до експлуатації;
- організованість - взаємодія всіх підрозділів та працівників;
- пріоритет споживача - визначення споживчих властивостей продукції;

- новаторство - постійне впровадження нових технологій у всіх сферах діяльності;
- спільність - єдність цілей і зусиль усіх працівників;
- керованість - застосування системи управління якістю, керованої керівництвом.

У підсумку розгляду питання про особливості організаційно-структурного характеру інжинірингових фірм слід зауважити, що їх поява в галузі діяльності підприємств і фірм є логічним етапом стратегічної мети, яка передбачає випуск на ринок виробів високої якості.

Історія інжинірингу та його розвиток

Спочатку інжиніринг виник в Англії в цивільному будівництві та обмежувався наданням консультаційних послуг у сфері будівництва доріг, мостів, портів, аеродромів, систем водопостачання, енергетики, робіт з меліорації та іншого. Згодом інженерно-консультаційні послуги поширились також на промисловість. В США інжиніринг розвивався через надання консультаційних послуг, обслуговуючи переважно внутрішній ринок. Поширенню американського інжинірингу за межами США сприяла друга світова війна, під час якої в широкому масштабі виконувалися будівельні роботи в інших країнах. Ці роботи виконувалися як приватними американськими інженерними фірмами на урядові замовлення, так і спеціальними відділами американської армії, що мали фахівців з інжинірингу.

Після війни інжиніринг отримав подальший розвиток в промислово розвинених країнах завдяки діяльності різних міжнародних організацій, таких як Міжнародний банк реконструкції та розвитку (МБРР), які спрямовували технічну допомогу країнам, що розвиваються.

З другої половини 1950-х років почався новий етап розвитку інжинірингу та його виділення в самостійну галузь міжнародної комерційної діяльності. Якщо на попередніх етапах інжиніринг обмежувався наданням технічних

консультацій, а роботи виконували партнери фірм, то на наступному етапі він передбачав випереджувальний розвиток об'єктів, переважно з поставкою «під ключ».

У 1990-х роках виник термін "реінжиніринг бізнес-процесів" (БПР), що позначає діяльність, спрямовану на кардинальні зміни в бізнесі, пов'язані з перепроєктуванням бізнес-процесів. В даний час БПР широко застосовується провідними компаніями світу. Наприклад, за даними аудиторських фірм, великі корпорації витрачають регулярно мільярди доларів на реінжиніринг своїх підрозділів. За останні роки уряд США започаткував понад сотні проектів з реінжинірингу.

Види інженерно-технічних послуг

Інжинірингові послуги включають інженерно-консультаційні послуги щодо організації процесу виробництва та реалізації продукції (робіт, послуг), підготовку будівництва та експлуатації різноманітних об'єктів, а також передпроектні та проектні послуги.

Комплексний інжиніринг, який надається на основі договору, включає повний спектр послуг та поставок, необхідних для будівництва нового об'єкта. Він охоплює три види інженерних послуг, кожний з яких може бути окремим предметом договору.

Консультативний інжиніринг головним чином стосується інтелектуальних послуг, пов'язаних з проектуванням об'єктів, розробкою технічної документації та контролем за проведенням робіт.

Технологічний інжиніринг передбачає надання замовнику необхідних технологій для виготовлення виробу та його подальшої експлуатації, включаючи передачу виробничого досвіду та знань, розробку проектів з будівництва, енергопостачання, водопостачання, транспорту тощо.

Будівельний або загальний інжиніринг, в основному, охоплює поставки обладнання, техніки та/або монтаж установок, включаючи, за необхідності, інженерні роботи.

Фінансовий інжиніринг, як молода і відносно мало вивчена область, переважно спрямований на якість виробництва та пропозиції фінансових послуг. Суть фінансового інжинірингу полягає в створенні нових фінансових продуктів та послуг, які використовуються фінансовими інститутами для розподілу ресурсів, управління ризиками, забезпечення ліквідності, генерації доходів та управління інформацією, враховуючи фінансові потреби клієнтів та зміни в макро- та мікроекономічній ситуації.

Інженерно-технічні послуги впливають на технічний прогрес, сприяючи інноваціям, розробці нових технологій та продуктів, вдосконаленню виробничих процесів, підвищенню продуктивності, зниженню витрат, покращенню якості продукції, розвитку нових галузей економіки, забезпеченню безпеки та стабільності, сприяючи глобальному розвитку та конкурентоспроможності країн та підприємств.

Лекція 2. Особливості сучасного інжинірингу в світовій практиці

Інжинірингова діяльність сьогодні, сучасний інжиніринг

Повний цикл інжинірингу з будівельними роботами включає наступні етапи:

- оцінка ринкової доцільності проекту;
- аналіз технічної відповідності для його втілення;
- техніко-економічна оптимізація та створення приблизного проекту з орієнтовною прив'язкою до місцевості та вимог до земельної ділянки;
- розробка робочого проекту та підготовка торгів на обладнання;
- оцінка отриманих пропозицій під час торгів;

- розробка інженерно-будівельних та інженерних проектів для вибраного на торгах обладнання;
- підготовка торгів на інженерно-будівельні та інженерні роботи;
- оцінка отриманих пропозицій;
- нагляд за виробництвом обладнання та його випробування;
- координація інженерно-будівельних робіт, поставок та монтажу;
- надання підтримки у підготовці обслуговуючого персоналу замовника;
- запуск підприємства або об'єкта в експлуатацію за технічними умовами "під ключ" (готовий продукт в руки);
- проведення спостережень та надання консультацій під час експлуатації об'єкта після передачі.

Інжинірингові послуги охоплюють всі етапи життєвого циклу систем будь-якого типу (технічних, соціальних, економічних): від досліджень і проектування до впровадження, експлуатації та контролю за об'єктом. Однак через високу складність інжинірингового процесу, зазвичай цикл реалізації проекту виконується групою фірм у формі консорціуму, що постачає обладнання або виконує окремі підрядні роботи. В практиці інжинірингових фірм залучаються інші організації, тому часто об'єктами інжинірингу стають складні та об'ємні споруди: енергетичні та атомні станції, нафтопроводи, аеродроми, шахти та інші промислові об'єкти.

Наприклад, оцінка доцільності і можливості проекту (техніко-економічні дослідження) проводиться на початкових стадіях його реалізації. Під час цього аналізу враховуються всі технічні, соціально-економічні, фінансові та екологічні фактори:

- Стан внутрішнього та зовнішнього ринку товарів;
- Тенденції виробництва та споживання;
- Конкурентні фірми та їх товари;
- Методи збуту;
- Державна економічна та зовнішньоторговельна політика, якщо вона впливає на умови реалізації проекту;

- Доступність робочої сили;
- Постачання сировини, електроенергії та інше.

Розробка робочого проекту та умов проведення торгів на обладнання включає в себе створення вимог та умов, що регулюють процедури проведення торгів. Ці вимоги охоплюють адміністративні, правові та фінансові аспекти співпраці між постачальниками та клієнтами, технічні характеристики, креслення та графіки робіт. Поряд із цим іноді готуються умови для торгів на будівельні роботи.

Оцінка пропозицій на поставку обладнання здійснюється шляхом аналізу, який враховує відповідність заявлених пропозицій вимогам щодо надійності, продуктивності, термінів поставки та цінових умов. Консультант рекомендує клієнту вибір певної фірми для закупівлі обладнання.

Підготовка умов для торгів на інженерно-будівельні роботи включає розробку планів будівництва, складських приміщень, доріг та інших споруд після остаточного вибору комплекту обладнання. Такі умови містять загальні вимоги, технічні специфікації та креслення.

Оцінка пропозицій на інженерно-будівельні роботи полягає в аналізі та рекомендаціях консультанта, які представляються клієнту у вигляді короткої доповіді. Для проектів з безперервним процесом виробництва характерний зв'язок підрядника із постачальником обладнання як єдиної фірми.

Спостереження за виготовленням обладнання - це послуги, що забезпечуються для великих, унікальних та спеціалізованих поставок обладнання з метою відповідності технічним умовам. В цих випадках консультант зазвичай контролює експлуатаційні випробування окремих машин або блоків обладнання на виробництві.

Крім цього, консультант бере участь у координації інженерно-будівельних робіт, спостереженні за їх виконанням, монтажем устаткування, пуску в експлуатацію, підготовці персоналу та наданні послуг після пуску об'єкта.

Оскільки інжинірингові контракти передбачають передачу знань та досвіду замовнику, вони часто виступають об'єктом ліцензійних угод, надаючи сторонам подібні вигоди, як при укладенні ліцензійних угод.

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

Управління проектами на сьогодні є основною стратегією в глобальній виробничій практиці, будівництві, у розробці унікальних продуктів та соціальних експериментах. Цей підхід домінує і в інжинірингу, який включає в себе сукупність пов'язаних завдань. Створення проектної документації потребує вдосконаленої організації і ретельного вибудовування специфічних бізнес-процесів, але базові принципи залишаються однаковими як у будівництві, так і в створенні складних інтелектуальних продуктів.

Термін "проект" має два основних тлумачення. Перше, найстаріше, пов'язане з інжинірингом, відноситься до фіксованого образу, моделі або прототипу фізичного об'єкта, який будується. У терміні "design" в англійській мові відображено це тлумачення. Друге тлумачення відповідає англійському слову "project", де інвестиційний проект описує конкретну дію, у яку вкладають кошти з метою прибутку або розвитку капіталу.

Розглядаючи функціональні і предметні області інжинірингу, важливо розуміти особливості інженерної діяльності. Рішення системних проблем, що мають монетарний аспект, можна розділити на політичні, економічні та технічні завдання. Ці категорії взаємопов'язані і включають аспекти інших категорій. Наприклад, політичні завдання враховують економічні та технічні аспекти, а економіка і техніка діють в політичному контексті.

Іншими словами, успішне вирішення кожної категорії завдань можливе з використанням методів, що відповідають їхнім особливостям. Політичні завдання вирішуються за допомогою політичних методів, економічні -

економічними, технічні - технічними, але залучають елементи інших категорій для оптимального вирішення проблем.

Міжнародний інжиніринг

Міжнародний інжиніринг означає виконання широкого спектру послуг виробничого характеру, що надаються спеціалізованими інженерно-консультаційними, будівельними та іншими компаніями.

Торгівля послугами інжинірингу зазнала розвитку через вплив науково-технічної революції. Країни з ринковою економікою, такі як США, Великобританія, Франція, Німеччина та Японія, є провідними експортерами інжинірингових послуг.

Міжнародний інжиніринг має кілька особливостей:

1. Функціонує як послуга виробничого призначення, що реалізується через корисний ефект, а не у вигляді конкретного продукту, наприклад, проектування, консультування або навчання.
2. Пов'язаний з підготовкою і забезпеченням процесу виробництва для кінцевого споживання реальних благ і послуг.
3. Має комерційні властивості, що виявляються під час угоди купівлі-продажу.
4. Відрізняється від ліцензій і "ноу-хау". На ринку інжинірингу об'єктом угоди купівлі-продажу є послуги з підготовки, систематизації та передачі науково-технічних знань і досвіду, доступних для кваліфікованих фахівців. Ці послуги є репродукованими, тобто, можуть надаватися декількома компаніями. У той же час, продаж ліцензій, "ноу-хау" та новітніх технологій відбувається власником і автором цих продуктів.

Інжинірингові фірми

Консультативні компанії надають допомогу промисловим корпораціям та підприємствам у мінімізації ризику, пов'язаного з впровадженням значних нововведень. Ці компанії здійснюють глибокі техніко-економічні дослідження, оцінюють стан ринку, перспективи розвитку певних технічних напрямків та конкурентоспроможність нової продукції. Вони надають технологічні прогнози на кілька років, інформаційні огляди та інші матеріали, допомагаючи знизити ризик при впровадженні новацій.

У технічних вищих навчальних закладах США формуються центри нововведень як один із видів консультаційних фірм. Кожен такий центр розглядає щорічно сотні ідей та пропозицій нововведень для рекомендацій промисловим компаніям. Як правило, рекомендовано до використання лише 5-15% від загальної кількості пропозицій. Промислові фірми проявляють певний інтерес до співпраці з такими центрами.

Впроваджувальні компанії мають головну мету - реалізацію винаходів у промисловості. Ці фірми відбирають перспективні наукові ідеї, беруть на себе витрати та турботи з впровадження нововведень, укладають угоди про фінансування та розподіл майбутніх доходів з компаніями, які займаються реалізацією новацій. Їхні успіхи часом супроводжуються помилками, проте досвід їхньої роботи вельми цікавий.

Фірми «ризикового капіталу» - це невеликі підприємства, що займаються розробкою радикальних нововведень. Зазвичай, власник інновацій є головою таких фірм. Розміри цього явища відносно невеликі. У США серед 1,5 млн. малих підприємств є декілька десятків тисяч фірм «ризикового капіталу». Ці фірми витрачають лише 5% від загального обсягу витрат на дослідження та розробку нових продуктів, проте зареєстровані в них винаходи становлять 50%.

Різноманітність інжинірингових компаній і підприємств проявилася особливо яскраво в 80-х роках минулого століття, коли в усьому світі, особливо

в Японії, активно розроблялися проекти в електроніці, робототехніці та автоматизації виробництва.

Організаційний та технічний потенціал підприємства, що поєднує в собі технічні, технологічні та інформаційні системи, а також фінансову і комерційну стійкість, утворюють основу будь-якого проекту. При цьому послідовність виконання робіт по інжинірингу з контролем на кожному етапі має велике значення. Важливою є організаційна підготовка до розробки проекту, яка базується на знаннях технічного та інформаційно-технологічного характеру взаємозв'язку з політико-економічними та екологічними аспектами розвитку суспільства.

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

Зазвичай, інженерні компанії беруть участь у створенні складних технічних систем у галузі машинобудування, які потребують значних капітальних вкладень і залучають багато висококваліфікованих фахівців. Це призводить до підвищених вимог до прийнятих рішень на етапі концепції проектів та підвищує особисту відповідальність керівників, які приймають ці рішення. Помилки на ранніх стадіях проектування призводять до додаткових витрат, збільшують час виготовлення, налаштування та впровадження системи в експлуатацію. Такі помилки можуть навіть завдати шкоди самій системі, лишаючи її нереалізованою. Тому для підвищення шансів успішної реалізації нововведення і підвищення ефективності інженерних розробок використовуються концепції системного і комплексного підходу при вирішенні складних технічних завдань.

Ключовою частиною системного аналізу є проектування оптимальних систем, тобто систем, що забезпечують максимальний прибуток або мінімальні витрати при створенні високоякісної продукції в машинобудуванні. Основу методології оптимального проектування складають процедури формалізації

завдань технічного проектування, спрямовані на використання обчислювальної техніки. Системне проектування спрямоване на підвищення якості прийнятих проектних рішень, скорочення термінів проектування та витрат на нього, а також положення основ для переходу до автоматизованого проектування.

Створення та розвиток складних технічних систем в сучасний час неможливі без використання принципів і методів системного підходу і математичного апарату системотехніки. Для системотехніки характерне еволюційне проектування, коли проектування системи продовжується після її створення. Це означає необхідність передбачення можливих модифікацій проектованої системи для коригування проектних рішень під час налагодження в конкретних виробничих умовах. Використання такого підходу спрощує організацію процесу проектування в часі, знижує вартість і тривалість проектувального циклу.

Методи системного проектування характеризуються двома основними тенденціями: розробка нових методів проектування та інтенсивне застосування системного підходу до відомих методів. Системне проектування дозволяє створювати інформаційні моделі систем для великих технічних засобів і створює необхідну основу для міждисциплінарної співпраці під час їх розробки. Як методологія, системне проектування складних технічних засобів базується на раціональному поєднанні евристичних прийомів, узагальнення досвіду та здорового глузду з формальними процедурами аналізу і синтезу, орієнтованими на використання комп'ютерної техніки.

Рішення складних технічних систем вимагає комплексного підходу, що передбачає урахування численних факторів, які взаємодіють між собою, а також визначення основних обмежень та вимог, що ставляться до них зі сторони проектованого об'єкта. Ці фактори можна узагальнити у наступні категорії:

- Фактори функціонально-технологічного призначення, що описують проектовану систему з її вхідними та вихідними параметрами в просторово-часовому розподілі.

- Фактори технічного призначення, які враховують необхідний рівень автоматизації, перелік необхідних технічних засобів, що входять до складу проектованої системи.
- Фактори економічного спрямування, що включають поняття продуктивності, вартості, прибутковості, терміну експлуатації та інші.
- Фактори функціонального призначення, що відображають такі показники, як точність, якість, надійність, тривалість служби, регулярність та інші.
- Фактори інформаційного спрямування, які забезпечують опис реальної ситуації, що складається у виробництві, а також надають можливість коригувати та редагувати програми при внесенні змін у конструкційно-технологічний процес.
- Фактори експлуатаційного спрямування, які створюють необхідні умови для експлуатації системи, режиму її роботи та інші.

Лекція 3. Інжинірингові проекти та забезпечення якості продукції.

Інжиніринг та якість продукції

Розвиток світової економіки в наш час тісно пов'язаний з високою якістю виробництва товарів і продукції, яка має широке застосування. Значення якості виходить за межі простої конкуренції на міжнародному ринку. Якість продукції є важливим фактором, який суттєво визначає "якість життя" суспільства.

У першу чергу, необхідно уточнити, що маємо на увазі під поняттям "якість товару".

Якість не може бути виміряна як один окремий фізичний параметр з ряду причин. По-перше, мова йде не лише про одну конкретну характеристику, але про сукупність багатьох властивостей та ознак. По-друге, у товару присутні характеристики, які можна виміряти та порівняти кількісно (точність, швидкість, потужність, вага та інше) та характеристики якісного характеру (високий, швидкий, потужний тощо), які однаково важливі при оцінці якості.

Поняття якості може бути застосоване не тільки до товарів, але також до роботи підприємства, конструкторського бюро, технологічного відділу та інших служб, які відповідають за якість продукції, хоча немає конкретних стандартів для їх діяльності. Їхня робота може мати як позитивний, так і негативний вплив на якість виробу, тому оцінка такої діяльності може бути шкалою від "дуже добре" до "дуже погано". Таким чином, можна говорити про наявність "високої" або "низької" якості продукції (або роботи підприємства) залежно від комплексної класифікації різних критеріїв. В галузі технічної творчості неможливо виділити одну основну характеристику, яка б вирішувала все. Вона складається з безлічі ознак, так званих "вторинних", які в багатьох відношеннях визначають якість товару.

Отже, ми приходимо до висновку про необхідність розглядати питання досягнення якості товару через системний підхід, що складається з комплексу робіт з проектування, управління та контролю якості.

Система забезпечення якості

Система забезпечення якості виробництва є індивідуальною для кожного підприємства і не може бути універсальною, оскільки її організація залежить від розмірів підприємства та його матеріально-технічних ресурсів. Однак спільними складовими такої системи є три основні блоки: проектування якості, управління якістю і контроль якості. Ці блоки є постійно діючими та взаємодіючими між собою впродовж часу.

Система забезпечення якості відображає всі аспекти діяльності підприємства і включає в себе такі компоненти: якість проектування виробу, якість постановки виробничих завдань, якість вибору матеріалів та заготовок, якість виготовлення деталей і контроль за ними, якість зберігання, якість зборки і випробувань, якість доставки споживачеві та якість технічного обслуговування.

Це перерахування складових не обов'язково означає, що кожному аспекту потрібно мати окремий відділ у виробництві. Сутність роботи підприємства

полягає у виконанні заходів, що забезпечують стійкий попит на ринку. Для деяких великих підприємств може бути доцільним мати окремий підрозділ з питань якості.

Проектування якості включає розробку переліку якісних показників виробу та встановлення їх числових значень. Цей етап є основою якості всієї системи, і успіх підприємства в цілому залежить від професійного рівня фахівців, які відповідають за ці показники.

Контроль якості включає в себе реалізацію вимог, визначених на попередній стадії. Спочатку встановлюють або розробляють засоби контролю та визначають обсяги тестувань, враховуючи обрані критерії. Контрольні операції зазвичай потребують більш часу для отримання точних результатів вимірювань. Отже, використання більш продуктивних засобів вимірювання відіграє значну роль. Далі проводиться калібрування обраних засобів вимірювання та їх атестація відповідно до стандартів. Кожен вимірювальний засіб періодично перевіряється, і результати фіксуються в його паспорті. Наостанок, проводяться вимірювання елементів та продукту в цілому, отримані результати узагальнюються, а у випадку виявлення негативних даних рекомендуються заходи для їх виправлення.

Управління якістю охоплює ряд завдань, включаючи виявлення і усунення виявлених недоліків на етапі контролю якості, внесення виробництвом зазначених заходів та контроль їх реалізації. Результати цієї роботи передаються на етап проектування якості, де їх використовують як завдання для реалізації. Це створює цикл дій у підприємстві, спрямований на покращення якості продукції, який не припиняється, оскільки тенденція до підвищення якості виробів є постійною у світі.

Важливою частиною управління якістю є організація потоку інформації між проектуванням, контролем, виробництвом і обробкою даних про якість всередині підприємства. Ця інформація включає аналіз даних про якість та вартість, пов'язану з підтримкою якості продукції. Проектування, управління і

контроль якості разом із потоком інформації формують систему "техніки забезпечення якості продукції".

Операції вимірювання, що відбуваються у лабораторних умовах, відрізняються від тих, що проводяться на виробництві. Лабораторні вимірювання часто включають науково-дослідні та спеціалізовані роботи, такі як дослідження надійності виробу чи випробування нових матеріалів. У виробничих умовах акцент зміщується на вхідний контроль комплектуючих частин, контроль виготовлення та остаточний контроль. Хоча принципи вимірювання в обох умовах відрізняються, достовірність результатів є важливою.

У системі забезпечення якості важливо створювати спеціальні програми навчання та підвищення кваліфікації персоналу підприємства. Ці програми мають уявляти завдання підвищення якості і обговорювати можливі шляхи її досягнення, розумінням яких повинні керуватися працівники.

Отже, дані з контролю, інформація та ініціативи, отримані з виробничого процесу, аналізуються, узагальнюються і перетворюються в заходи щодо підвищення якості з урахуванням економічної доцільності для підприємства. Система забезпечення якості не є універсальним засобом для всіх проблем якості, проте результати її впровадження проявляться протягом декількох років, спричиняючи позитивні зміни.

Узагальнені показники якості

Вже зазначалося про важливість "вторинних" ознак у загальній оцінці якості продукції. Давайте розглянемо узагальнений показник якості металорізальних верстатів (МРВ) з числовим програмним керуванням (ЧПК) більш детально.

Вибір МРВ з ЧПК для проведення технологічних процесів обробки деталей вважається одним з найбільш складних завдань в підготовці виробництва. Різноманіття варіантів обробки, типи обладнання, велика кількість факторів і

необхідність об'єднання їх в єдину систему оцінок якості, а також урахування чинника часу при розрахунку ефективності, в умовах обмеженої доступності даних про соціальні, екологічні та інші питання, ускладнюють вибір технологічного процесу та обладнання.

Вибір МРВ може бути здійснений з погляду лише економічних факторів, проте обов'язково враховують відповідність технічних можливостей МРВ вимогам замовника та виробництва.

Вимоги замовника формуються через заявку, в якій описується коротка характеристика очікуваного МРВ, його застосування, матеріал і параметри оброблюваної (або оброблюваних) деталей, послідовність технологічних операцій, точність, річна програма (або продуктивність), надаються певні початкові техніко-економічні показники та інші відомості.

Виробник МРВ розробляє свою стратегію на основі досягнень вітчизняної та зарубіжної науки і техніки, потреб споживачів на ринку МРВ, а також реальних можливостей виробництва обладнання на підприємстві.

У випадку збігу інтересів між замовником і виробником, подальший діалог відбувається на етапах розробки технічного завдання для проектування МРВ, технічної пропозиції, технічного проекту, робочої документації та виробництва МРВ. У разі розбіжностей інтересів устанавлюються нові контакти замовника з іншими виробниками.

В основному, процедура формування переліку показників якості добре пророблена та застосовується за допомогою багатокрокового ітераційного методу, який включає кілька етапів: уявлення попереднього переліку впливаючих показників на якість; створення загального показника якості на основі конкретних показників та опитування експертів для уточнення важливості кожного показника; математична обробка отриманих результатів.

Показники якості металорізальних верстатів (МРВ) повинні бути вибрані таким чином, щоб при наближенні системи до оптимальної оцінки вони або підвищувалися, або знижувалися. У такому випадку загальний показник якості МРВ буде мати відповідно максимальне (наприклад, прибуток) або мінімальне

(наприклад, трудомісткість виробництва) значення. Далі розглянемо основні часткові показники якості МРВ.

Точність (А1): Сучасний прогрес у техніці вимагає постійного підвищення вимог до якості виробів, у тому числі й до точності. Для МРВ з ЧПК досягнення високої точності обробки пов'язане зі значними труднощами, оскільки, на відміну від інших видів обладнання, МРВ з ЧПК повинен забезпечувати складну обробку заготовки з мінімальною кількістю переустановок та високою продуктивністю. Іншими словами, він повинен забезпечити підвищення точності обробки, використовуючи різальний інструмент для великих об'ємів металу. Досягнення встановленої точності обробки при мінімізації витрат на виробництво верстатів може слугувати приватним показником точності обробки заготовок.

Продуктивність (А2): Виникнення МРВ з ЧПК в значній мірі пов'язане з потребою підвищення продуктивності обробки заготовок. В перших результатах експлуатації такого обладнання виробничих умовах та подальшому їх аналізі розробники визначили кілька загальних положень, що характеризують переваги цих верстатів і визначають їх місце в промисловості:

- Підвищення продуктивності за рахунок оптимізації технологічних параметрів обробки та інтеграції операцій.
- Зменшення допоміжного часу завдяки комплексній автоматизації.
- Зменшення витрат на транспортування між операціями завдяки зведенню функцій декількох традиційних верстатів в один.
- Створення сприятливих умов для швидкої розробки нової продукції завдяки оперативному виготовленню пробних зразків і малих серій.

Таким чином, якщо продуктивність МРВ з ЧПК оцінюється як кількість оброблених заготовок за одиницю часу, показник А2 має відображати найменший можливий час обробки однієї заготовки на штучній основі.

Надійність (А3): Ефективність використання МРВ з ЧПК залежить від забезпечення високого рівня надійності їх роботи та організації їхнього використання на підприємстві-замовнику. Надійність можна оцінити за

інтенсивністю відмов протягом певного періоду експлуатації. Найбільш ефективним вважається верстат з мінімальною кількістю відмов або найбільшою ймовірністю безвідмовної роботи. Оцінка надійності може проводитися за коефіцієнтом технічного використання верстата, який має тенденцію до підходу до одиниці.

Ступінь уніфікації (A4): Ступінь уніфікації конструкції МРВ впливає на собівартість виробництва. Тому зниження собівартості пов'язане зі збільшенням коефіцієнта уніфікації, який визначається як відношення кількості уніфікованих деталей до загальної кількості.

Маса верстата (A5): Цей технічний показник характеризує металоємність та економічність конструкції МРВ. Оцінка маси на етапі проектування необхідна для аналізу техніко-економічного рівня верстата. Його конкретне значення встановлюється в залежності від призначення МРВ.

Вартість верстата (A6): Вартість МРВ з ЧПК формується проектною та уточненою ціною. Уточнення ціни відбувається за рахунок включення додаткових витрат на нове обладнання та заходи, спрямовані на полегшення умов праці, поліпшення безпеки, зменшення рівня шуму та інше. Одержання МРВ з ЧПК зв'язане для замовника з капітальними вкладеннями на доставку, приміщення, пристосування, різальний та допоміжний інструмент, програмне забезпечення тощо. Ефективне використання МРВ можливе лише у разі позитивної різниці у витратах і мінімального терміну окупності додаткових вкладень.

Рівень автоматизації (A7): У даному контексті різноманіття виробничих умов замовників ускладнює створення твердих нормативних показників необхідного рівня автоматизації МРВ з ЧПК. Відповідно до умов виробництва замовника та його технічного оснащення рівень автоматизації та можливість вбудовування верстатів в автоматизовані потоки можуть варіюватися. Такі вимоги можуть вплинути на компоновку верстата і, відповідно, його якість. Високий рівень автоматизації МРВ з ЧПК дозволяє зменшити витрати на

виробництво через оптимізацію систем організації, диспетчеризації, складування та інших виробничих служб замовника.

Час технічного обслуговування (A8): Цей показник якості безпосередньо пов'язаний з експлуатаційною надійністю МРВ з ЧПК. Мета технічного обслуговування полягає в підтримці верстата в робочому стані, що знижує ймовірність відмови до мінімуму. Оцінка зручності та часу технічного обслуговування може базуватися на середньому часі, потрібному для приведення системи у робочий стан протягом певного періоду експлуатації МРВ.

Ергономічність (A9): Система "людина - МРВ" належить до категорії "машина - людина - середовище", де ключову роль відіграє оператор. У цих системах важливо забезпечити сумісність між людиною та МРВ, щоб технічні характеристики верстата відповідали психофізіологічним характеристикам оператора.

Забезпечення сумісності між людиною та МРВ розглядається під час створення систем управління та контролю шляхом розміщення їх раціонально. Це дозволяє зменшити стомленість робітника та підвищити продуктивність, а також автоматизувати допоміжні операції через впровадження швидкодіючих затискачів заготовок, автоматизацію збирання стружки та підналаштування різального інструменту, активний контроль та інші процеси, які виключають участь людини.

Список приватних показників може бути розширений. Вказані показники якості МРВ з ЧПК можуть взаємодіяти один з одним безпосередньо або через інші показники. Наприклад, вартість верстата залежить від компонування, а, отже, від металоємності, розміру основних вузлів, трудомісткості виготовлення тощо. В свою чергу, металоємність визначається кількістю вхідних в компонування вузлів, відносною металоємністю з урахуванням розмірів або потужності верстата. Ця взаємодія може відслідковуватись і на інших показниках.

Стандартизація та якість

Значна увага до стандартизації відіграє ключову роль у вирішенні проблеми якості продукції. Стандарти є фундаментальною основою для створення високоякісних виробів, приділяючи більше половини всіх стандартів Міжнародної організації зі стандартизації (ISO) проблемам випробувань та методам оцінки якості продукції. Розроблені стандарти ISO серії 9000 узагальнюють досвід найбільш розвинених країн у вирішенні цієї проблеми та розширюють його вплив на більш широке коло країн, що входять у світовий ринок.

У стандартах ISO серії 9000 відзначено, що управління якістю визначає політику якості та забезпечує її реалізацію. Тому, крім якості кінцевої продукції, у розрахунки включаються якість збуту, фінансування та маркетингу. Згідно зі стандартами ISO серії 9000, вимоги до якості, встановлені замовником, мають бути завжди виконані. Принцип бездефектного виробництва передбачає неприпустимість відхилень від цих вимог. Для досягнення цього необхідно вкладати значні кошти у планування виробничих процесів, контролювати та керувати ними.

Витрати на якість складаються з ціни відхилень, що включає витрати на доопрацювання, непередбачене обслуговування споживачів, ремонт, зберігання, гарантійний ремонт, а також витрати на узгодження, включаючи контроль, нагляд, ревізію, навчання персоналу та контроль технологічних процесів. Досвід промисловості ФРН показує, що до 40% витрат підприємства припадає на допущені дефекти, з них 34% - з вини управління і 6% - з вини працівників. Щоб змінити такий стан речей, стандарти ISO серії 9000 надають кілька рекомендацій:

- керівництво підприємств має пропагувати серед співробітників нову концепцію управління якістю.
- необхідно створювати організаційні структури, що сприяють поступовому вдосконаленню підприємства.

- слід організувати єдині виробничі системи для обліку та визначення пріоритетів у вирішенні проблем якості, доступні кожному на підприємстві.

У стандартах ISO серії 9000 відводиться особлива роль метрології у вирішенні питань підвищення якості. Рішення про якість, технічний рівень і надійність продукції можуть бути прийняті лише після якісної оцінки параметрів виробів, що потребує вимірювань. Вимірювання повинні здійснюватися на всіх етапах виробництва — від вхідного контролю сировини і комплектуючих до випробування готової продукції. Важливо виявляти і усувати недоліки негайно після їх виникнення, а не під час випробувань або після експлуатації виробу. Тому значення сучасних засобів вимірювання та контролю, випробувального обладнання і засобів діагностики постійно зростає.

Під час загального контролю якості, стандарти рекомендують передбачати зміну вимог споживача на тривалий термін, що залежить від галузі виробництва. Окрім цього, в процесі загального контролю якості важливо враховувати такі основні економічні фактори:

- Постійне удосконалення засобів і методів контролю.
- Підвищення продуктивності контрольних операцій.
- Планування економічно вигідного постачання товарів на світовий ринок, виготовлених безпосередньо в країнах виробництва (міжнародна спеціалізація).
- Співпраця з країнами, що розвиваються.
- Зміна структури виробництва.

Ці фактори є ключовими у підтримці та покращенні якості продукції, сприяючи плануванню та впровадженню ефективних стратегій контролю якості.

Стандарт ДСТУ ISO 3230-95 "Управління якістю та забезпечення якості. Терміни та визначення" є ключовим документом в Україні, який охоплює різні аспекти і терміни, пов'язані з управлінням якістю продукції. Цей стандарт включає розділи, які описують загальні терміни, терміни, пов'язані з якістю продукції, системами якості, а також засобами і методами вимірювання якості.

Також він містить абеткові вказівники українських, англійських та російських термінів.

У стандарті зазначено визначення якості продукції як "сукупність властивостей продукції, які обумовлюють її придатність задовольнити певні потреби відповідно до її назвою". Це підкреслює перехід від підходу, спрямованого лише на виготовлення продукції, до орієнтації на споживача і його потреби. Сучасні ринкові умови вимагають уваги до зростаючих запитів споживачів, або в інших випадках до їх змінюваних потреб.

Висока якість продукції стає ключовим фактором у задоволенні постійно зростаючих вимог споживачів. Тому важливо мати прямий зв'язок зі споживачем, розвивати програми для покращення продукції і зниження кількості відмов, а також проводити глибокий аналіз ситуації на ринку для ефективного функціонування підприємства. Всі ці підходи є лише частиною відповіді на сучасні вимоги ринку та споживачів.

Лекція 4. Автоматизація та комп'ютерний інжиніринг

Автоматизація виробництва та інжиніринг

Термін "автоматизація виробництва" часто сприймається як концепція, що обмежується лише технічними аспектами управління виробничим процесом і орієнтована на використання комп'ютерної техніки. Проте такий підхід може викликати небезпеку обмеженого розгляду проблем автоматизації лише з технократичної точки зору. У більшості випадків успішність автоматизації виробничих процесів залежить від комплексного вирішення різних завдань, включаючи не лише технологічні аспекти.

В першу чергу, змінилися вимоги до технічного рівня обладнання як з точки зору підвищення продуктивності, так і в зміні підходів до визначення його якості та гнучкості функціонування. Це призвело до скорочення часу, протягом якого обладнання перебуває у непродуктивному стані, і зменшення участі людини у виробничому процесі.

Вдруге, сучасні технології, базовані на комп'ютеризації, надають значно більше можливостей для організації та реалізації принципів адаптивного управління, наближаючи технологічний процес до оптимальних умов. Виробничі системи, побудовані на цих принципах, можуть бути представлені в різних комбінаціях і умовах експлуатації. У зв'язку з цим виникає необхідність аналізу та прогнозування тенденцій розвитку виробничих операцій на основі комп'ютеризованої інтеграції з програмованими критеріями прийняття рішень. Ці характеристики впливають на сутність праці людини, зайнятої в такому типі виробництва.

Третім аспектом є соціально-економічний ефект нової техніки та технологій, який оцінюється співвідношенням загального економічного ефекту, отриманого від їх застосування, до загальних витрат на досягнення цієї мети. Це вимагає забезпечення позитивних техніко-економічних і соціальних результатів, що мають значний вплив. Підвищення сукупного соціального і економічного ефекту пов'язане з інтенсифікацією наукової праці, поліпшенням використання виробничих ресурсів та іншими аспектами організації виробництва.

Ключовим етапом автоматизації виробництва є взаємодія між системою людина-машина, а також розв'язання деяких соціально-технологічних проблем. Підвищення зацікавленості співробітників у успішній діяльності підприємства є одним із ключових завдань з реалізації їхніх інтелектуальних і творчих можливостей. Але наразі ці можливості в більшості випадків не використовуються. Для вирішення цих питань важливо враховувати складність і трудомісткість виконання роботи, зручність експлуатації виробничого обладнання, доступність технологічної інформації в процесі роботи для прийняття рішень та інші аспекти.

Успішне впровадження та ефективне використання автоматизованих систем безпосередньо залежать від рівня технічних знань обслуговуючого персоналу.

Головні тенденції та підходи сучасного комп'ютерного інжинірингу

Інноваційна M^2 -концепція - "MultiDisciplinary & MultiScale / MultiStage & MultiTechnology (MultiCAD & MultiCAE)"- концепція (рис. 4). Терміни "MultiDisciplinary & MultiScale / MultiStage" відображають концепцію, що включає багатодисциплінарні, багатомасштабні (з різних масштабів) та багаторівневі дослідження та інжиніринг, побудовані на основі взаємодії між- / багато- / трансдисциплінарних підходів або мультифізичних (MultiPhysics) знань та комп'ютерних технологій. Основний акцент здійснюється на науково-технічних методах комп'ютерного інжинірингу (Computer-Aided Engineering).

Ці підходи дозволяють поєднувати різноманітні дисципліни, враховуючи різні масштаби чи рівні (від мікро- до макро-) та різні стадії розвитку чи процесів (від початкового до кінцевого етапу). Використання мультифізичних та багаторівневих методів дозволяє вирішувати складні проблеми, враховуючи взаємодію різних дисциплін і фізичних процесів на різних рівнях.

Зазвичай ці терміни застосовуються у контексті високотехнологічних галузей, таких як наука матеріалів, біотехнології, наука про середовище, аерокосмічна техніка та інжиніринг, де важливо враховувати взаємодію різних аспектів і параметрів для розробки нових продуктів чи розв'язання складних науково-технічних проблем.

У рамках M^3 -концепції (MultiDisciplinary, MultiScale, MultiStage) спостерігається перехід від окремих дисциплін до більш інтегрованих підходів і використання більш комплексних моделей в наукових дослідженнях та розробках.

1. MultiDisciplinary (Багатодисциплінарність):

- Замість окремих дисциплін, таких як теплопровідність або механіка, використовується термомеханіка, електромагнетизм та обчислювальна математика для створення інтегрованих підходів.

моделі на різних рівнях масштабування від нано- до макро-рівнів. Це сприяє створенню нових матеріалів та продуктів з покращеними властивостями та відкриває шлях для нових технологій у різних галузях, включаючи виробництво, науку про матеріали та інженерію.

Так, концепція "Simulation-Based Design" є ключовою в сучасній індустрії машинобудування та інжинірингу, оскільки вона сприяє розвитку конкурентоспроможної продукції. Основна ідея полягає в використанні комп'ютерних технологій для ефективного проектування та аналізу продуктів.

Основні складові концепції "Simulation-Based Design":

1. **CAD-системи (Computer-Aided-Design).** Програмне забезпечення, яке дозволяє інженерам створювати 2D та 3D моделі продуктів з високою точністю та деталізацією.
2. **Метод скінченних елементів (MCE; Finite Element Method, FEM).** Чисельний метод для аналізу властивостей та поведінки продуктів, який дозволяє моделювати різні умови, навантаження та середовища, використовуючи розбиття на скінченні елементи.
3. **Візуалізація.** Засоби візуалізації графіки та результатів аналізу, які дозволяють інженерам краще розуміти та аналізувати результати симуляцій.

Ця концепція дозволяє компаніям з різних галузей промисловості (включаючи авіацію, автомобільну та енергетичну промисловості) використовувати передові технології проектування та аналізу для створення продуктів високої якості. Вона дозволяє покращити ефективність проектування, скоротити час розробки та виробництва, а також зменшити витрати на тестування реальних прототипів. Це важлива парадигма, яка допомагає підняти якість та конкурентоспроможність продуктів на ринку.

CAD (Computer-Aided Design) є важливою складовою індустрії проектування, а MCAD (Mechanical CAD) та ECAD (Electronic CAD) - підгалузями CAD, орієнтованими відповідно на механічне та електронне проектування.

FEA (Finite Element Analysis) є потужним методом, що дозволяє аналізувати різні види механічних, теплових, електромагнітних та інших властивостей матеріалів та конструкцій.

CFD (Computational Fluid Dynamics) зосереджується на гідродинамічних дослідженнях, особливо на руху рідини чи газу.

CAE (Computer-Aided Engineering) - це широкий термін, що об'єднує в собі багато аспектів проектування, включаючи FEA, CFD та інші методи чисельного моделювання. Це підходить для розробки математичних моделей, які адекватно описують фізичні процеси та об'єкти для розв'язання реальних завдань.

У змішаних дисциплінах, таких як MCAE (Mechanical CAE), ECAE (Electrical CAE), об'єднуються специфічні аспекти комп'ютерного інжинірингу для різних галузей.

Ці технології є важливими в сучасному проектуванні та розробці продуктів, оскільки дозволяють прогнозувати та вдосконалювати продукцію без значних витрат на фізичні прототипи та експерименти.

Проектування в сучасній індустрії машинобудування, включаючи пакувальне обладнання, дійсно потребує глибокого розуміння сучасних технологій та інструментів комп'ютерного інжинірингу. Це включає в себе використання передових CAD-систем, аналіз методів скінченних елементів, обчислювальної гідродинаміки, інших інструментів CAE, а також методів симуляційного проектування.

Важливо мати на увазі, що в галузі пакувального обладнання особливу увагу слід звертати на такі аспекти, як оптимізація форми та матеріалів упаковки, вивчення поведінки упаковки під час транспортування та зберігання, а також використання ефективних методів для зменшення витрат та підвищення продуктивності у виробництві пакувальних матеріалів та обладнання.

Інструменти комп'ютерного інжинірингу надають можливість моделювати та аналізувати різноманітні сценарії, що допомагає виявляти недоліки та удосконалювати проект ще до початку фізичного створення прототипу чи серійного виробництва. Це ефективний підхід для зменшення часу розробки,

витрат та покращення якості продукції в машинобудуванні, зокрема в сфері пакувального обладнання.

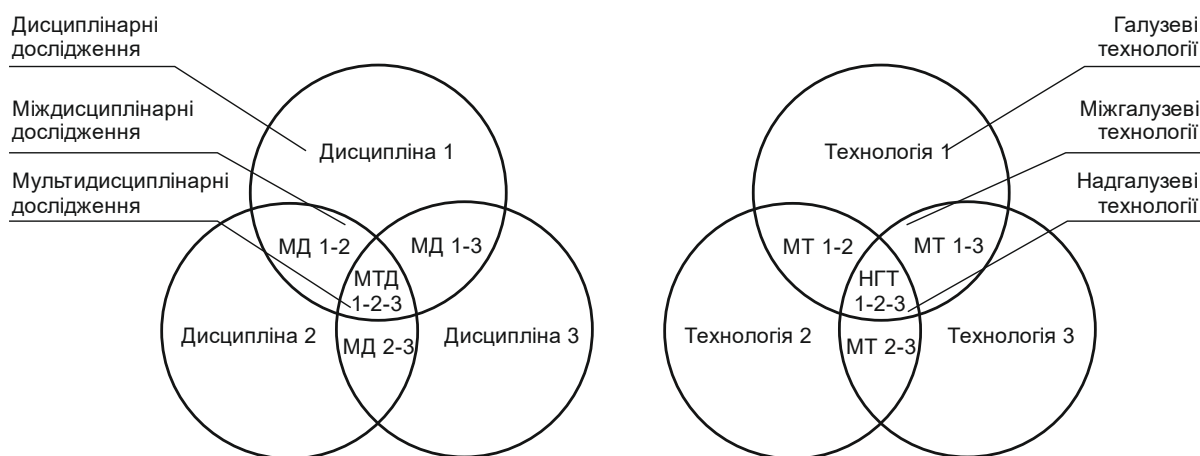


Рис. 5 Мультидисциплінарні дослідження і надгалузеві технології

Це детальний та комплексний план застосування наукового комп'ютерного інжинірингу в рамках дисципліни "Інноваційний інжиніринг обладнання переробних і харчових виробництв". Розглянемо кожен етап більш докладно:

1. Створення ескізу та твердотільної моделі:

- Цей етап включає створення основного ескізу об'єкта в CAD-системі, що є важливим кроком при побудові твердотільної моделі об'єкта. Деталі та вузли можуть бути розроблені та зібрані відповідно до задачі проектування.

2. Аналіз фізичних полів:

- Описано процес аналізу фізичних полів у внутрішній і зовнішній середовищі об'єкта проектування під час експлуатації. Відповідні математичні моделі обираються для аналізу і взаємодії цих полів.

3. Вибір математичної моделі:

- Цей етап включає вибір математичних моделей, що краще описують фізичні процеси, які відбуваються в об'єкті проектування. Важливо враховувати умови експлуатації та потреби конкретної задачі.

4. Розробка числової моделі:

- Тут процес деталізації геометричної моделі з CAD до CAE системи, дискретизація, задання початкових та граничних умов для числових розрахунків.

5. Аналіз результатів та відповідність вимогам:

- Етап аналізу результатів числового моделювання. Визначення відповідності результатів експлуатаційним умовам та критеріям, у разі не відповідності - корекція дизайну.

6. Створення креслень:

- Заключний етап, що передбачає розробку детальних креслень на основі остаточного варіанту твердотільної моделі об'єкта проектування.

Цей процес ілюструє, як комп'ютерний інжиніринг застосовується в рамках дисципліни "Інноваційний інжиніринг обладнання переробних і харчових виробництв" та як використання CAD, CAE та інших інструментів може покращити якість, продуктивність та безпеку продуктів у цій галузі.

Концепція моделювання інженерних об'єктів

Розрахункове обґрунтування технічного проекту засноване на моделюванні його об'єктів. У цьому процесі використовуються три взаємопов'язані моделі: фізична, математична та розрахункова. Комп'ютерний аналіз інженерних систем ґрунтується на математичних моделях фізичних явищ.

Фізична модель включає ключові процеси та явища, які визначають поведінку системи. Однак будь-яке природне явище дуже складне. Щоб описати його, необхідно виділити найважливіші властивості, закономірності та внутрішні зв'язки, ігноруючи менш важливі аспекти.

Математична модель - це система рівнянь, яка описує істотні процеси, виокремлені фізичною моделлю, разом з початковими та граничними умовами. Зазвичай вона включає взаємодію системи з зовнішнім середовищем, між її елементами та властивості окремих елементів.

Математичні моделі є загальними, адже одні й ті ж рівняння описують різні фізичні явища. Вирішення інженерних або наукових задач зводиться до вирішення математичних завдань, використовуючи дві основні групи методів: аналітичні (здатні отримати формулу вирішення) та чисельні (для складних завдань, де аналітичні методи не ефективні). Останні вимагають числових обчислень, але дозволяють отримувати апроксимовані розв'язки.

Таким чином, процес моделювання інженерних об'єктів полягає в розробці фізичної моделі, перекладі її в математичні рівняння та вирішенні цих рівнянь, використовуючи аналітичні або чисельні методи.

Розрахункова модель адаптує математичну модель для прямого використання у обчисленнях. Її ціль - використовувати чисельні методи, для чого математична модель представляється у вигляді, сприятливому для використання числових розрахунків. Це включає послідовність операцій, необхідних для знаходження числового розв'язку з певною точністю.

Якщо розрахункову модель декілька разів реалізували на комп'ютері, змінюючи параметри об'єкта, то це можна вважати проведенням обчислювального експерименту. Використання високопродуктивних комп'ютерів у таких обчислювальних експериментах на даний момент є важливим напрямом наукових досліджень.

Обчислювальні методи, які перетворюють початкову задачу в форму, зручну для комп'ютерної реалізації, можна класифікувати на декілька груп: методи еквівалентних перетворень, апроксимації, прямі методи, ітераційні та статистичні. Кожен з цих методів має свої характеристики та специфіку використання в обчисленнях.

Комп'ютерне моделювання технічних систем - це заміна об'єкта дослідження розрахунковою моделлю для проведення подальших обчислень методами обчислювальної математики, використовуючи сучасні обчислювальні засоби та програми. Це універсальний інструмент досліджень, який отримує широке застосування в різних сферах інженерної діяльності, допомагаючи в

проектуванні нових систем, аналізі властивостей об'єктів та виборі оптимальних умов їх функціонування.

Процес комп'ютерного моделювання складається з трьох основних етапів: побудова моделі, верифікація та віртуальне дослідження.

Перший етап, побудова моделі, передбачає створення віртуального представлення об'єкта, яке замінює його для отримання нових знань про оригінал під час дослідження. Кожна модель фокусується на ключових властивостях об'єкта, важливих для аналізу, але якщо вона не враховує критичні характеристики об'єкта, то отримані результати можуть бути недостовірними.

Другий етап, верифікація, полягає в порівнянні обчислених результатів моделі з експериментальними даними для визначення її точності. Це перевірка, що дозволяє впевнитися в адекватності моделі.

Третій етап, віртуальне дослідження, включає вивчення властивостей об'єкта через модель як самостійний об'єкт дослідження. Це може включати проведення обчислювальних експериментів зміни параметрів моделі для систематизації її реакцій на різноманітні умови.

Залежно від складності моделі використовують різні математичні підходи. Прості моделі часто мають аналітичні розв'язки, але їх інформативність обмежена. Для складних моделей, які не мають аналітичних розв'язків, використовують чисельні методи, які залежать від обчислень на комп'ютерах.

Комп'ютерне моделювання стає необхідним, оскільки для багатьох об'єктів безпосереднє дослідження складне або неможливе без значних витрат часу і коштів. Це можуть бути, наприклад, дослідження поведінки імплантантів у людських органах або ресурс конструкцій, що експлуатуються у космосі.

Програмне забезпечення для математичних розрахунків

Існує декілька відомих математичних пакетів, які працюють з чисельними методами та можуть здійснювати аналітичні математичні перетворення.

Mathcad, розроблений компанією PTC, є зручним інструментом для інженерів, який відмінно підходить для інженерних і конструкторських розрахунків, маючи дуже зрозумілий інтерфейс. Проте цей пакет не є відповідним для професійних математиків, які використовують системи, що спеціалізуються на символній математиці або математичній статистиці. Mathcad не призначений для програмування складних завдань, для цього краще використовувати систему Matlab або мови програмування, такі як Fortran або C++.

Власником програми Mathcad є відомий розробник наскрізних технологій проектування CAD / CAE / CAM / PLM Pro / ENGINEER в машинобудуванні - компанія PTC. Цей пакет має двосторонній зв'язок з системою Pro / ENGINEER, що дозволяє користувачам взаємодіяти між файлами Mathcad та деталями/збірками Pro / ENGINEER. Базові величини, розраховані в Mathcad, можуть бути використані у CAD-моделі для управління геометричним об'єктом, а параметри з Pro / ENGINEER можуть бути введені в Mathcad для подальших інженерно-конструкторських розрахунків. Під час зміни параметрів інтеграція дозволяє динамічно оновлювати обчислення та конструкторську документацію.

Однією з особливостей програми Mathcad є відсутність спеціальної мови програмування, що робить виконання завдань більш легким і наочним, відображаючи математичні формули у тому вигляді, що звичайно записуються на папері. Розвинені засоби подання результатів розрахунків спрощують аналіз проекту та створення технічних звітів.

Проте серед недоліків пакета варто відзначити відсутність вбудованих засобів для налагодження програм та не найвищу швидкість розрахунків.

MATLAB, скорочення від Matrix Laboratory, створений компанією MathWorks, США (www.mathworks.com), призначений для розв'язання наукових та інженерних задач. Це високорівнева мова програмування, що працює за принципом мови програмування високого рівня, та дозволяє зберігати документи в форматі мови програмування C. Використання MATLAB дозволяє значно скоротити час, необхідний для перевірки алгоритмів та проведення

приблизних розрахунків. Цей пакет працює як інтерпретатор і включає великий набір команд для виконання різноманітних обчислень, для визначення структур даних та для графічного представлення інформації. Багато команд написані на С, але також доступно багато вбудованих С-програм. Користувач може додавати свої команди і писати програми в термінах вже існуючих команд; це є дещо більш складним завданням на Фортрані та С. MATLAB дозволяє обмінюватися даними з програмами на цих мовах і використовувати їх. Крім того, є зручні способи управління розрахунками.

Головним недоліком програми є її висока вартість для промислового застосування. Проте доступні безкоштовні студентські ліцензії. Розробники програми знаходяться в Массачусетсі. Існують безкоштовні курси Массачусетського університету з технічних обчислень в середовищі MATLAB, які відкривають вільний доступ до відповідних файлів.

Mathematica, розроблена компанією Wolfram Research, США (www.wolfram.com), популярна серед теоретиків і надає широкі можливості для проведення аналітичних перетворень. Вона вирішує задачі за допомогою набору команд і за своїм змістом працює аналогічно програмуванню. Крім цього, існують додатки для програми у всіх значущих інженерних напрямках.

Maple, розроблена компанією Maplesoft, Канада (www.maplesoft.com), вирішує завдання як аналітично, так і чисельно. Програма може обмінюватися інформацією з текстовими редакторами для підготовки наукових публікацій і активно позиціонує себе в мехатроніці та конструюванні машин.

Програмне забезпечення для графо-математичних задач

SolidWorks, розроблений компанією SolidWorks Corporation (пізніше ставши дочірньою компанією Dassault Systèmes), є системою комп'ютерно-автоматизованого проектування (САПР), інженерного аналізу та підготовки виробництва різної складності та призначення (веб-сайт: www.solidworks.com).

SolidWorks виступає як основа інтегрованого комплексу автоматизації підприємства, який підтримує життєвий цикл виробу згідно з концепцією CALS - технологій. Ця система включає двонаправлений обмін даними з іншими програмами для Windows і створення інтерактивної документації.

Початковий випуск програми відбувся в 1993 році, і вона конкурувала з продуктами, такими як AutoCAD, Autodesk Mechanical Desktop, SDRC I-DEAS і Pro/ENGINEER, Solid Edge.

SolidWorks вирішує ряд завдань, включаючи наступні.

Конструкторську підготовку виробництва.

- 3D проектування виробів будь-якої складності з урахуванням особливостей виготовлення.
- Створення конструкторської документації.
- Промисловий дизайн.
- Проектування комунікаційних систем (електроджгути, трубопроводи і т.д.).
- Інженерний аналіз (включаючи міцність, стійкість, теплопередачу, частотний аналіз, динаміку механізмів, газо- та гідродинаміку, оптику і світлотехніку, електромагнітні розрахунки, аналіз розмірних ланцюгів і інше).
- Експрес-аналіз технологічності на етапі проектування.

Технологічну підготовку виробництва.

- Проектування технологічного обладнання.
- Аналіз технологічності конструкцій виробів.
- Аналіз технологічних процесів виробництва (лиття пластмас, штампування, витягування, гнуття та інше).
- Розробка технологічних процесів.
- Матеріальне та трудове нормування.
- Розробка керуючих програм для верстатів з ЧПК, верифікація УП, імітація роботи верстата (механообробна, включаючи фрезерну, токарну, токарно-фрезерну і електроерозійну обробку, лазерне,

плазмове і гідроабразивне різання, вирубні штампи, координатно-вимірювальні машини).

- Управління даними та процесами на етапі технологічного проектування.

Управління даними і процесами.

- Робота з єдиною цифровою моделлю виробу.
- Електронний технічний та розпорядчий документообіг.
- Технології колективної розробки.
- Робота територіально-розподілених команд.
- Ведення архіву технічної документації.
- Проектне управління.
- Захист даних.
- Підготовка даних для систем управління підприємством (ERP) і розрахунок собівартості.

SolidWorks Simulation (також відомий раніше як COSMOSWorks) – це універсальний інструмент для проведення аналізу методом кінцевих елементів. Цей інструмент існує у трьох різних конфігураціях: SolidWorks Simulation, SolidWorks Simulation Professional та SolidWorks Simulation Premium. Навіть у мінімальній конфігурації, модуль міцнісного аналізу забезпечує повноцінний статичний аналіз як окремих деталей, так і збірок, використовуючи кінцеві елементи твердого тіла, поверхонь і балок. Він також має різноманітні контактні умови і віртуальні з'єднувачі.

Модуль SolidWorks Simulation дозволяє проводити інженерні розрахунки та моделювати різні впливи навколишнього середовища на виріб.

Основні функції SolidWorks Simulation включають:

- Лінійний аналіз;
- Втомний аналіз металу;
- Нелінійний аналіз;
- Тепловий аналіз;
- Частотний аналіз;

- Аналіз виробів з пластмаси та гуми;
- Динамічний аналіз та інші.

Лінійний аналіз напружень, доступний через SolidWorks Simulation, дозволяє дизайнерам і інженерам в етапі створення дизайну швидко та ефективно перевіряти якість, продуктивність та безпеку. Використання лінійного аналізу напружень у SolidWorks Simulation може стати необхідною складовою розробки, знижуючи необхідність у витратах на дорогі прототипи, уникнення доопрацювань та затримок, а також економлячи час і кошти на розробку. Цей вид аналізу дає можливість визначати напруги і деформації у геометрії, такі як:

- Деталі або зборки під навантаженням, які деформуються з невеликими поворотами і переміщеннями;
- Статичні навантаження виробу (з виключенням інерції) та постійні навантаження;
- Матеріал під постійною напругою деформації (закон Гука).

Моделювання за методом аналізу кінцевих елементів (FEA) полягає у дискретизації проєктованих компонентів у тверде тіло, оболонку або балковий елемент. Воно використовує лінійний аналіз напружень для визначення реакції деталей і вузлів під впливом:

- Сили;
- Тиску;
- Прискорення;
- Температури;
- Контакті між компонентами.

Для проведення аналізу напружень, важливо мати дані про матеріали компонентів. Стандартна база даних SolidWorks CAD містить передбачені матеріали, які можна використовувати у SolidWorks Simulation.

Моделювання за методом скінченних елементів використовується для розрахунку переміщень компонентів, деформацій та напружень при внутрішніх

і зовнішніх навантажень. Геометрія при аналізі дискретизується за допомогою тетраедричних (3D), трикутних (2D) і балкових елементів.

Так як багато промислових компонентів виготовляють з металу, аналіз металевих компонентів можна виконувати за допомогою лінійного або нелінійного аналізу напружень. Однак аналіз неметалевих компонентів (наприклад, пластмас або гумових деталей) вимагає використання методів нелінійного аналізу напружень через їх складний взаємозв'язок деформації і навантаження.

SolidWorks Flow Simulation Electronic Cooling Module Add-In - це розширення для теплових розрахунків електронних пристроїв, включаючи велику базу даних про віртуальні вентилятори, матеріали електротехнічного призначення і термоелектричні охолоджувачі (елементи Пельтьє). Модуль дозволяє моделювати течію постійного струму та його нагрів, теплові трубки та багат шарові друковані плати.

SolidWorks Flow Simulation HVAC Module Add-In - додатковий модуль для SolidWorks Flow Simulation, який призначений для розрахунків систем вентиляції, опалення та кондиціонування. Він включає розширену базу даних про будівельні матеріали та вентилятори, а також модель теплообміну випромінювання, яка враховує відбиття, заломлення та спектральні характеристики. Модуль також розраховує параметри комфорту, такі як середня прогнозована оцінка та середня температура.

SolidWorks Flow Simulation є модулем гідрогазодинамічного аналізу, який інтегрований у середовище SolidWorks. Цей модуль може працювати з будь-якими геометричними об'єктами, що створені в SolidWorks або імпортовані в нього. Він підтримує 64-розрядні операційні системи та має доступ до всієї доступної оперативної пам'яті. Також використовує можливості багатопроцесорності для обчислень.

Модуль Flow Simulation в програмному середовищі SolidWorks надає можливість моделювати різноманітні процеси, включаючи:

- Стаціонарні та нестаціонарні течії.

- Стискувані та нестискувані течії (рідини або газу) у різних режимах, включаючи до-, транс- та надзвукові.
- Різні види газів та рідин, включаючи неньютонівські рідини.
- Одно- та багатокомпонентні течії без хімічних взаємодій та розділення фаз.
- Розрахунки течії рідини або газу та теплопередачі всередині твердих тіл без розділення границі газ-рідина.
- Ламінарні та турбулентні течії з урахуванням ламінарного/турбулентного переходу.
- "Заморожування" течій для виділення "швидких" та "повільних" процесів.
- Течії в пористих середовищах з урахуванням теплопровідності стінок.
- Урахування шорсткості стінок.
- Внутрішні та зовнішні течії.
- Конвекційний теплообмін у всіх варіантах: вільна, вимушена або змішана конвекція.
- Радіаційний теплообмін з управлінням прозорістю стінок та розділенням властивостей стінок для випромінювання та сонячної радіації.
- Розрахунок траєкторій твердих частинок та крапель у потоці та інше.

Можливі вихідні параметри для початкових та граничних умов включають:

- 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 та поверхневі), віртуальні тепло вентилятори.

- Можливості задавати залежність граничних умов та параметрів від часу та координат.
- Симетрія відносно базових площин та періодична симетрія.

Управління обчислювальними операціями виконується безпосередньо згідно розрахункової сітки моделі SolidWorks, яка створюється автоматично в області твердого тіла. Результати досліджень виводяться у вікні SolidWorks, включаючи кольорові епюри, вектори та ізолінії. Інформацію з результатів розрахунків можна аналізувати у MS Excel.

Autodesk Inventor є програмним забезпеченням для створення та вивчення поведінки 3D-прототипів виробів та деталей. Розроблений компанією Autodesk (autodesk.com/inventor), використовується переважно в машинобудуванні та включає в себе кілька компонентів, таких як:

- Autodesk Inventor Suite: рішення для 2D / 3D-моделювання, створення виробів з листового матеріалу та отримання їх розгорток, електричних та трубопровідних систем, а також для динамічного моделювання та візуалізації.
- Autodesk Inventor Routed Systems Suite: спеціалізовані інструменти для проектування кабельних і трубопровідних систем, що включають розводку складних ділянок трубопроводів, електричних кабелів і проводів.
- Autodesk Inventor Simulation Suite: засоби моделювання руху та аналізу навантажень для вивчення поведінки виробу в реальних умовах ще на стадії проектування.

Інструменти Inventor надають повний цикл проектування і створення конструкторської документації, включаючи:

- Компонувальні схеми для перевірки можливості складання об'єкта, позиціонування нових частин та усунення перешкод між частинами проекту.
- Автоматизація ключових аспектів проектування ливарних форм під тиском та можливість їх перевірки та експорту в Autodesk Moldflow.

- Спеціальне середовище для роботи з деталями листового матеріалу, що автоматизує багато аспектів проектування, включаючи створення розгорток та гнутих профілів.
- Генератор рам для швидкого проектування каркасів на основі стандартних профілів та можливості створення власних профілів.
- Інструменти для проектування кабельних та трубопровідних систем, включаючи бібліотеку стандартних фітингів, труб та шлангів, а також можливість створення складальних креслеників.

Autodesk Inventor забезпечує можливість розширення бібліотеки стандартних елементів для реалізації різноманітних проектів.

Autodesk Simulation є потужним інструментарієм для інженерного аналізу, що спрощує процес проектування виробів за допомогою обчислювальних експериментів над цифровими аналогами, замінюючи традиційні натурні експерименти над фізичними прототипами. Це дозволяє дизайнерам і інженерам отримати детальний опис проекту в ранній стадії циклу проектування, поліпшити дизайн, підвищити надійність та ефективність, а також скоротити витрати і час виробництва.

Simulation включає в себе спеціальні інструменти для організації і оптимізації колективної роботи над виробом, а також надає можливість виконання різних типів інженерного аналізу:

- Статичні напруги та втомна міцність.
- Динамічні навантаження в лінійній області деформації матеріалів.
- Власні частоти (модальний аналіз).
- Спектр реакцій.
- Випадкові вібрації та інші види аналізу, такі як аналіз стійкості, ударні навантаження, контактний аналіз, теплоперенос, протягом у різних середовищах, масоперенос, електростатика та інші.

Autodesk Simulation забезпечує високу достовірність результатів завдяки можливості моделювання реальних і складних умов експлуатації виробу, комбінуючи фізичні процеси у межах міждисциплінарних завдань.

Цей інструментарій має різноманітні можливості, такі як кінематика та напруги в одно- та багатоелементних системах, моделювання механічних подій, гідродинаміка та теплоперенос, електромеханіка та інші, які дозволяють виконувати різноманітні види аналізу в широкому спектрі областей.

Широкий спектр можливостей Autodesk Simulation підтримується розвинутими інструментами взаємодії з CAD системами, особливо з Autodesk Inventor, що дозволяє створювати кінцево-елементні моделі, встановлювати навантаження, задавати зв'язки, визначати властивості матеріалів та представляти результати моделювання.

Autodesk Simulation доступний у наступних конфігураціях:

- Autodesk Simulation Mechanical: включає статику, лінійну динаміку, теплообмін, кінематику, контакт, різні типи матеріалів, надійність та моделювання механічних подій.
- Autodesk Simulation CFD: пропонує моделювання руху рідин, двофазові потоки, теплопередачу, різні види теплових потоків та завихрень. Доступні варіанти включають CFD, CFD Advanced і CFD Motion.
- Autodesk Simulation Moldflow: дозволяє вирішувати проблеми лиття пластмас, включаючи заповнення, точки вприскування, дефекти, аналіз кристалізації та різні методи лиття. Представлено варіанти Adviser і Insight, кожен із яких має три підгрупи.
- Autodesk Composite Analysis, Design: надає структурний аналіз, дизайн композитних матеріалів та інформацію про різні типи композитних матеріалів і структур.
- Autodesk Simulation DFM: сприяє інженерам, які працюють над пластиковими деталями, застосовувати електронне макетування для створення продукції. Інтегрується в існуючі 3D-САПР і надає зрозумілі індикатори, що в реальному часі вказують на технологічність виготовлення виробу, вартість та вплив на навколишнє середовище.

Лекція 5. Основні поняття, структура документа в програмі SolidWorks

Загальні відомості про програму SolidWorks

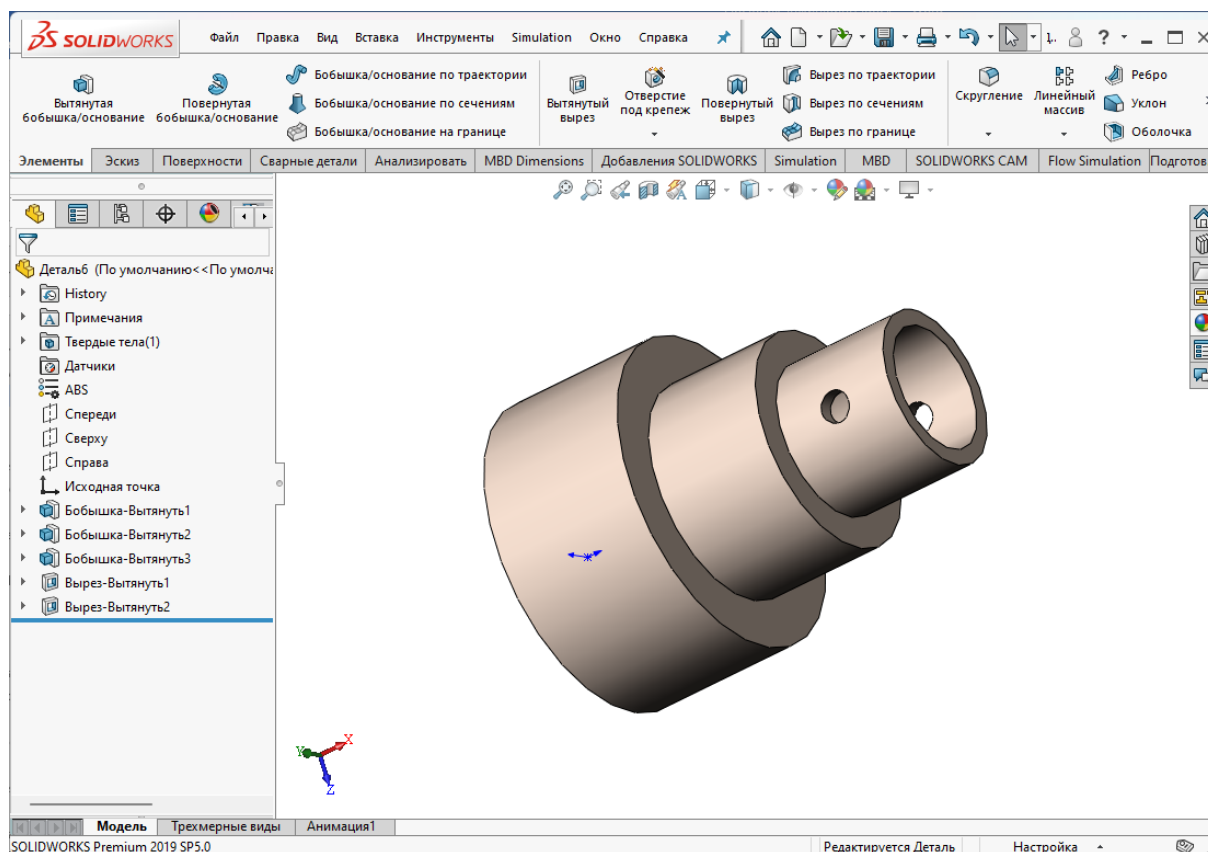


Рис. 6. Рабочее окно SolidWorks.

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.

Процес роботи із 3D моделями у Solidworks зазвичай включає наступні етапи.

1. Формування базових елементів.

- **Створення нового файлу.** Вибір типу моделі (частини, збірки, креслення тощо) та розмірності.

- **Створення ескізів.** Визначення початкових форм та розмірів в 2D площині.
 - **Виділення базових параметрів.** Встановлення параметрів та вимог до моделі.
- 2. Створення 3D геометрії.**
- **Формоутворення об'ємних елементів на базі двомірних ескізів.** Використання ескізів для створення тривимірних об'єктів.
 - **Операції булевих функцій.** Об'єднання, віднімання та перетин об'єктів для отримання складних форм.
 - **Операції модифікації.** Скошування, закруглення кутів, рифлення та інші операції, що модифікують геометрію.
- 3. Присвоєння властивостей та параметрів.**
- **Встановлення матеріалів.** Призначення матеріалів для об'єктів для подальшого аналізу.
 - **Визначення маси та об'єму.** Розрахунок фізичних параметрів моделі.
 - **Прив'язка параметрів.** Використання змінних для створення параметризованих моделей.
- 4. Створення креслень та документації.**
- **Створення креслень.** Автоматичне генерування креслень з 3D моделі і їх редагування дизайнером.
 - **Створення специфікацій.** Автоматичне створення списків матеріалів та розмірів.
- 5. Аналіз та валідація.**
- **Проведення аналізів.** Використання інструментів аналізу для перевірки міцності, теплових характеристик тощо.
 - **Валідація.** Перевірка та корекція моделі на основі результатів аналізу.
- 6. Збереження та експорт.**

- **Збереження проекту.** Збереження проекту для подальшої роботи.
- **Експорт та обмін даними.** Експорт 3D моделі у різні формати для співпраці з іншими програмами чи системами.

Ці кроки можуть бути змінені або доповнені в залежності від конкретного проекту, його складності та потреб користувача.

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.

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.

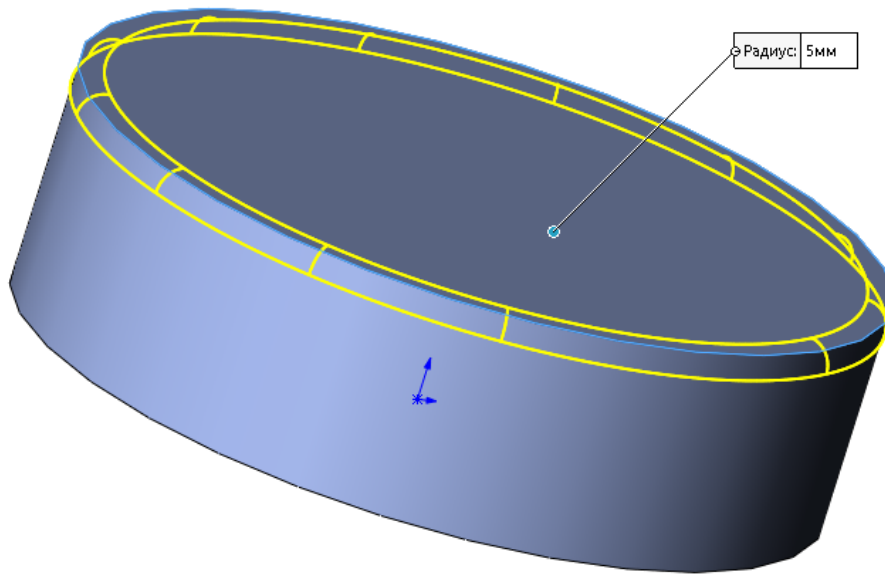


Рис. 7. Деталь з умовними позначеннями

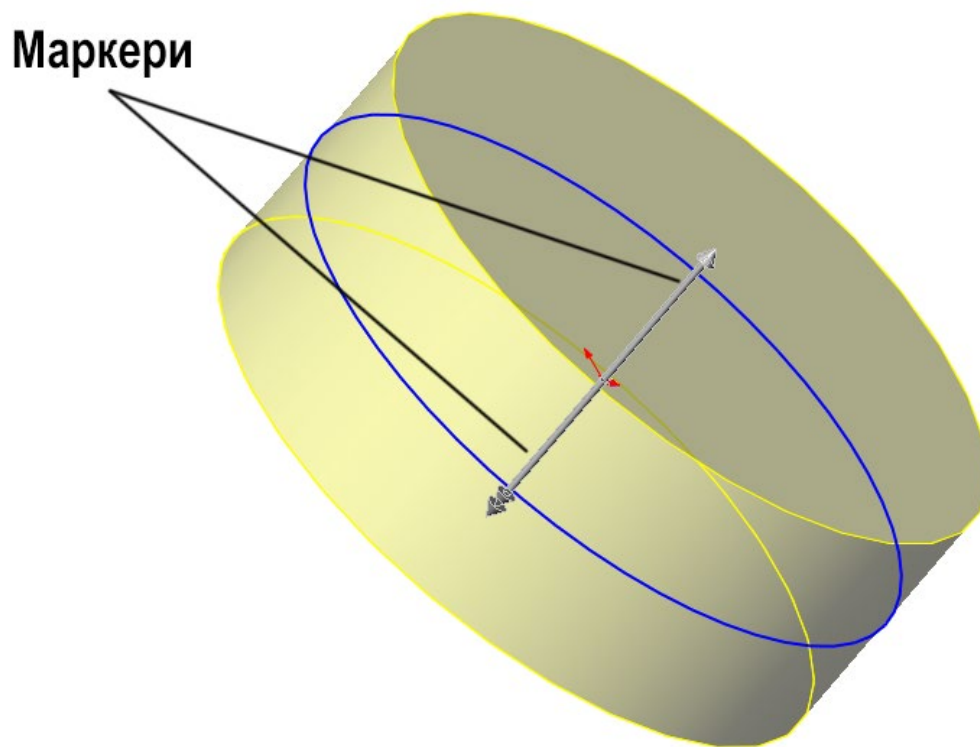


Рис. 8. Маркери при формоутворенні

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 *Инструменты, Параметры, Настройки пользователя, 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.

Панелі інструментів

Інструментарій, який використовується при роботі SolidWorks, групуваний і структурований у відповідних панелях інструментів, які можна розміщувати в залежності від індивідуальної потреби і побажання фахівця. Основними робочими елементами панелей є кнопки команд, які дають можливість швидкого доступу до часто виконуваних операцій. За потреби можна на будь-якій панелі розмістити необхідну кнопку.

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.

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

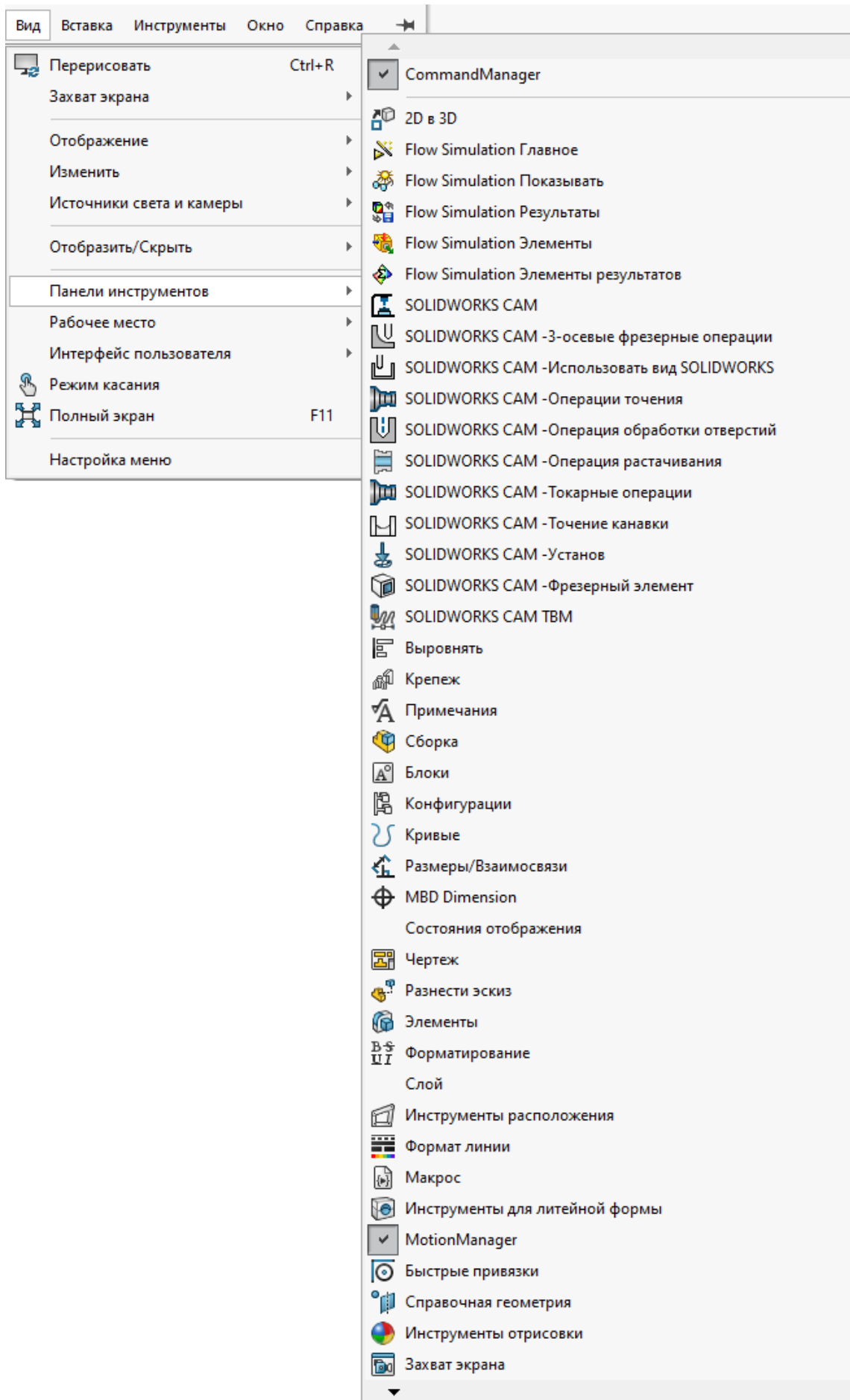


Рис. 9. Панелі інструментів SolidWorks

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 показано на рис. 11.



Рис. 11. Кут підтвердження

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.

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*.

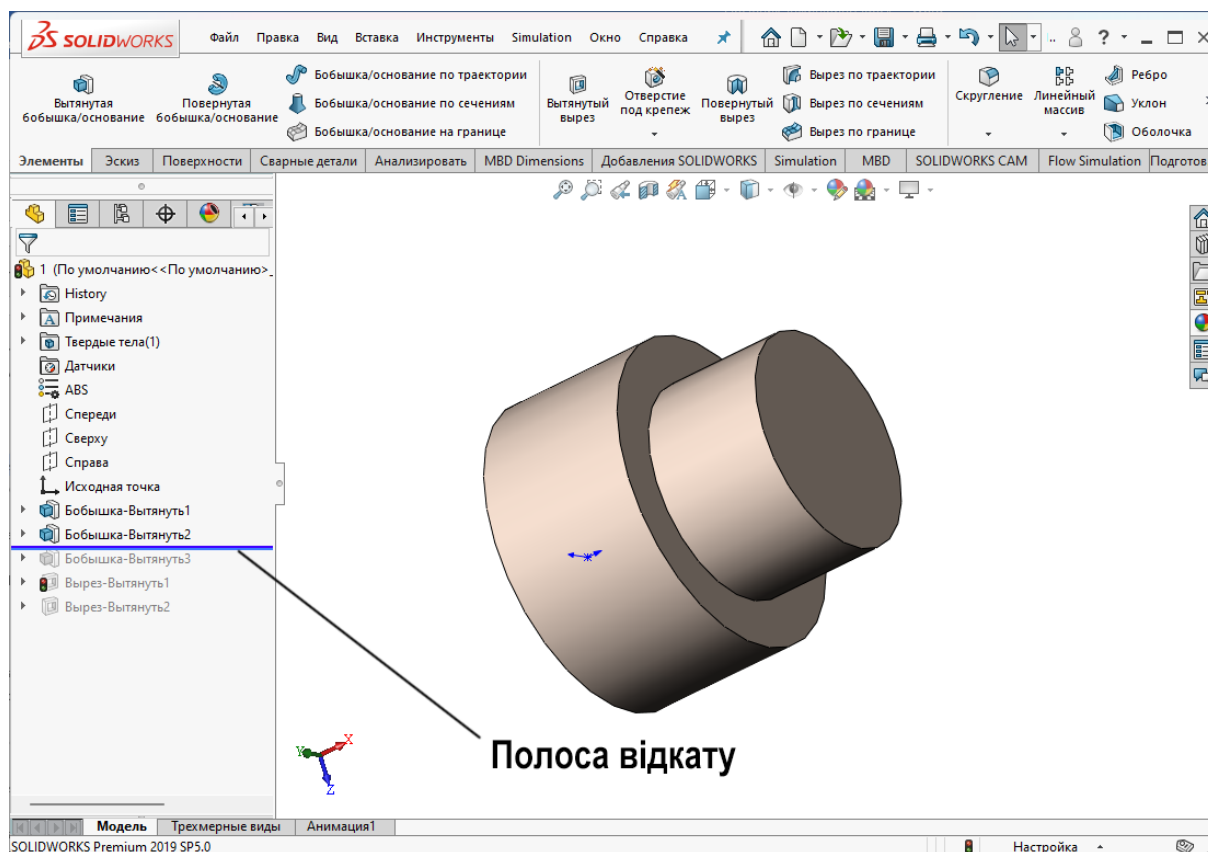


Рис. 12. Використання полоси відкату

Лекція 6. 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 побудова 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.

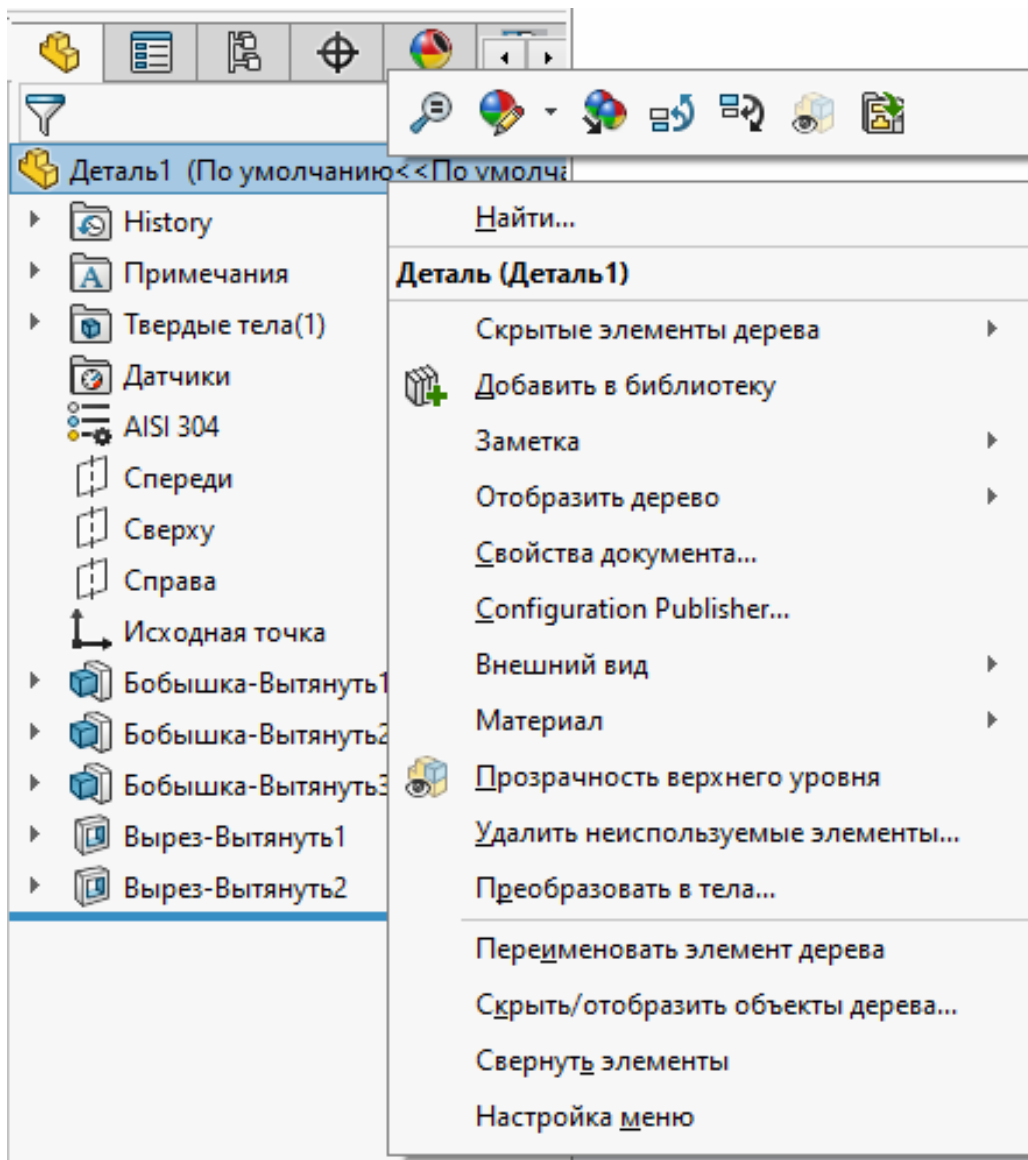


Рис. 13. Дерево конструювання *FeatureManager*

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

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.

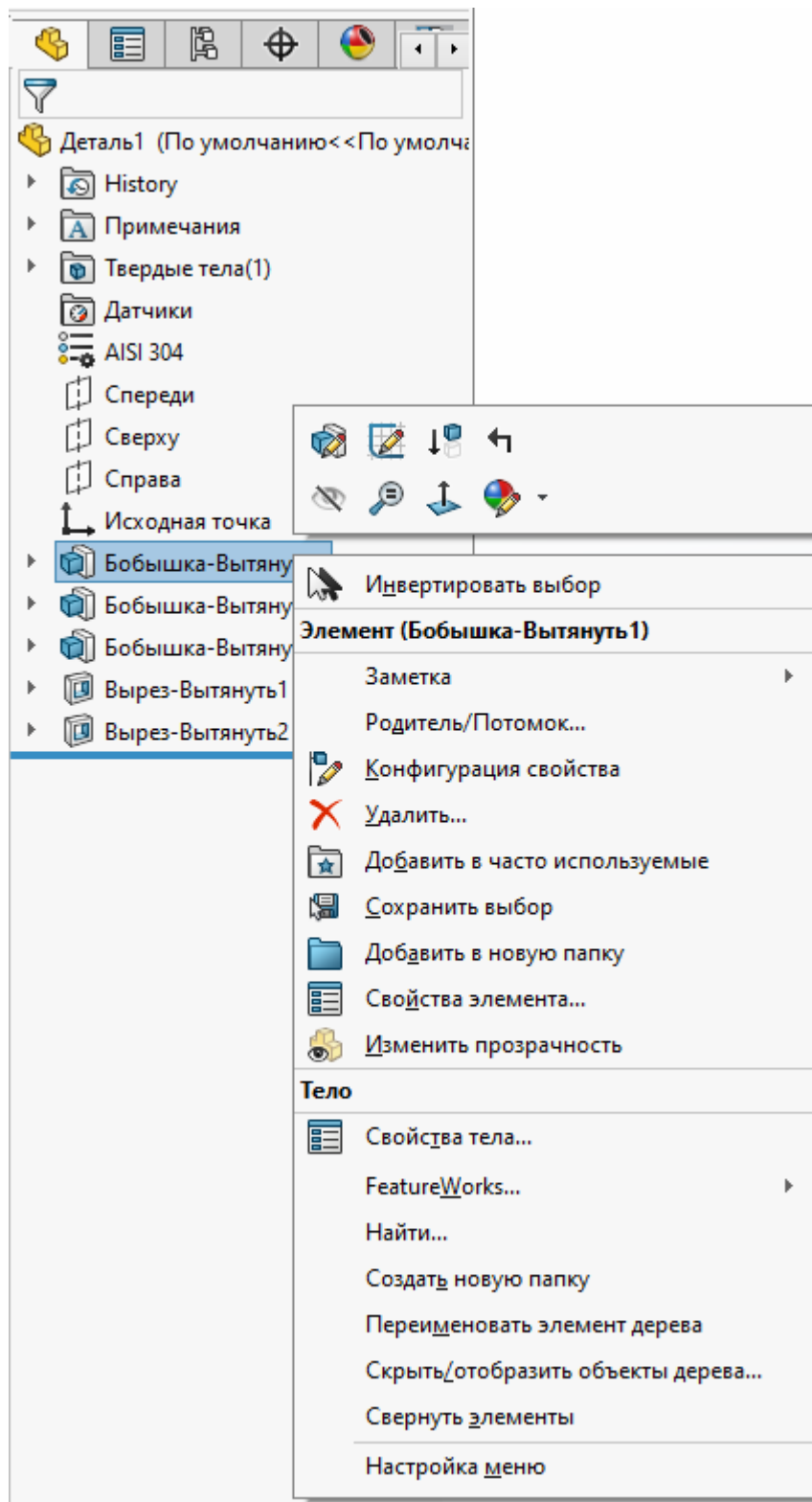


Рис. 14. Работа с элементами у дереві конструювання *FeatureManager*

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 зборці. 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.

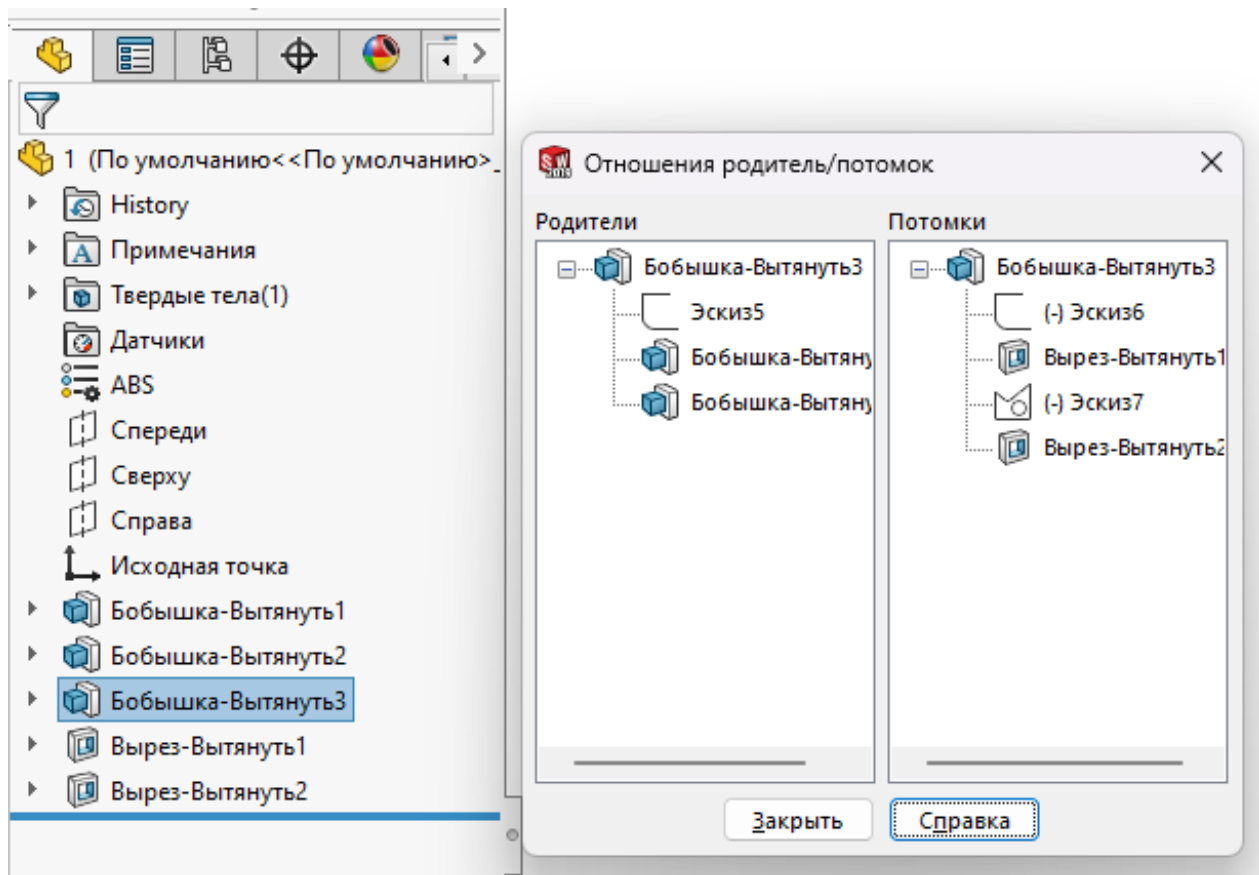


Рис. 15. Инструмент *Родитель/потомок*.

Родитель/потомок. Часто элементы базируются на інших элементах. Например, спочатку створюється елемент *основание-вытянуть*, а потім створюються додаткові елементи як *бобышка* або *вырез-вытянуть*. *Основание*-це батьківський елемент; *бобышка* або *вырез-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.

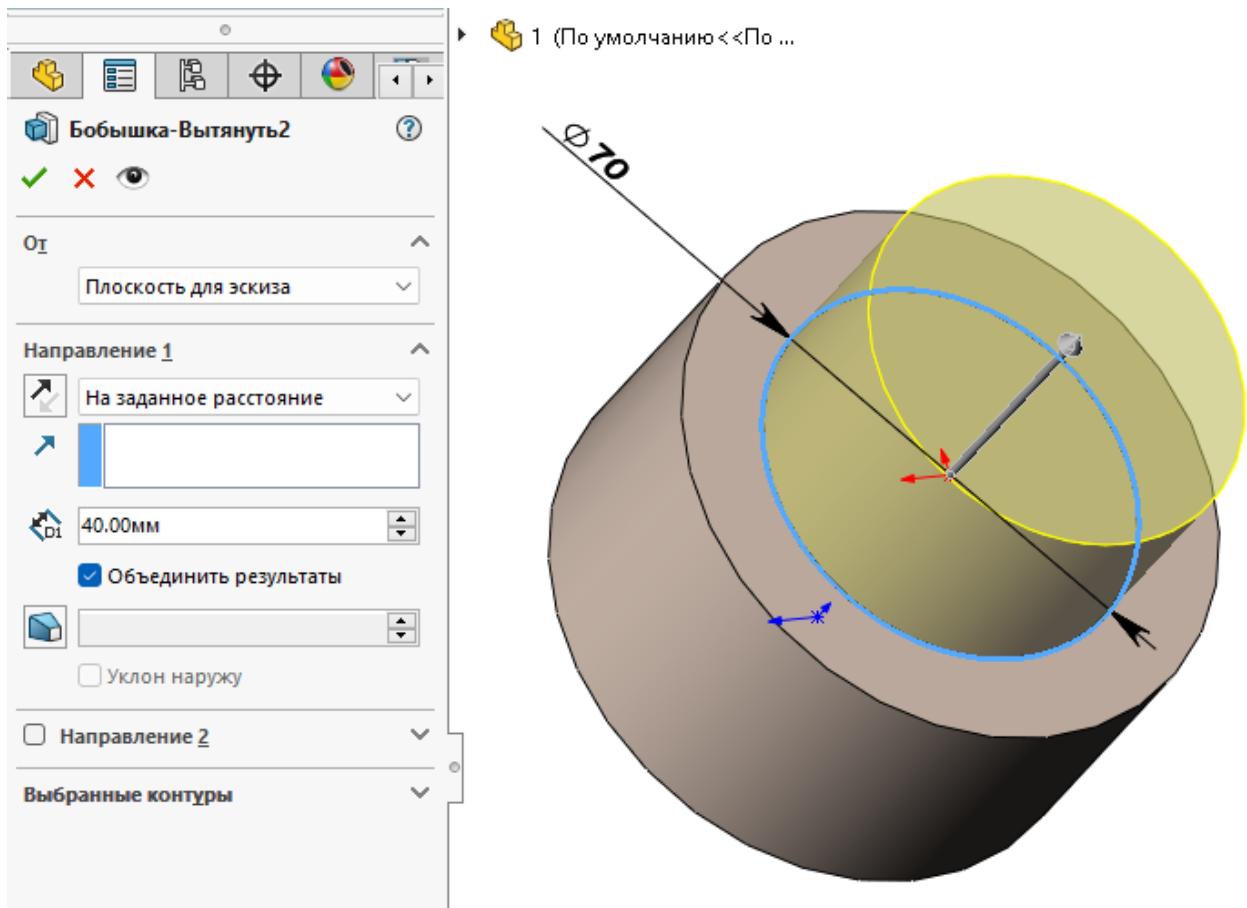


Рис. 16. Менеджер властивостей елемента *PropertyManager*.

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

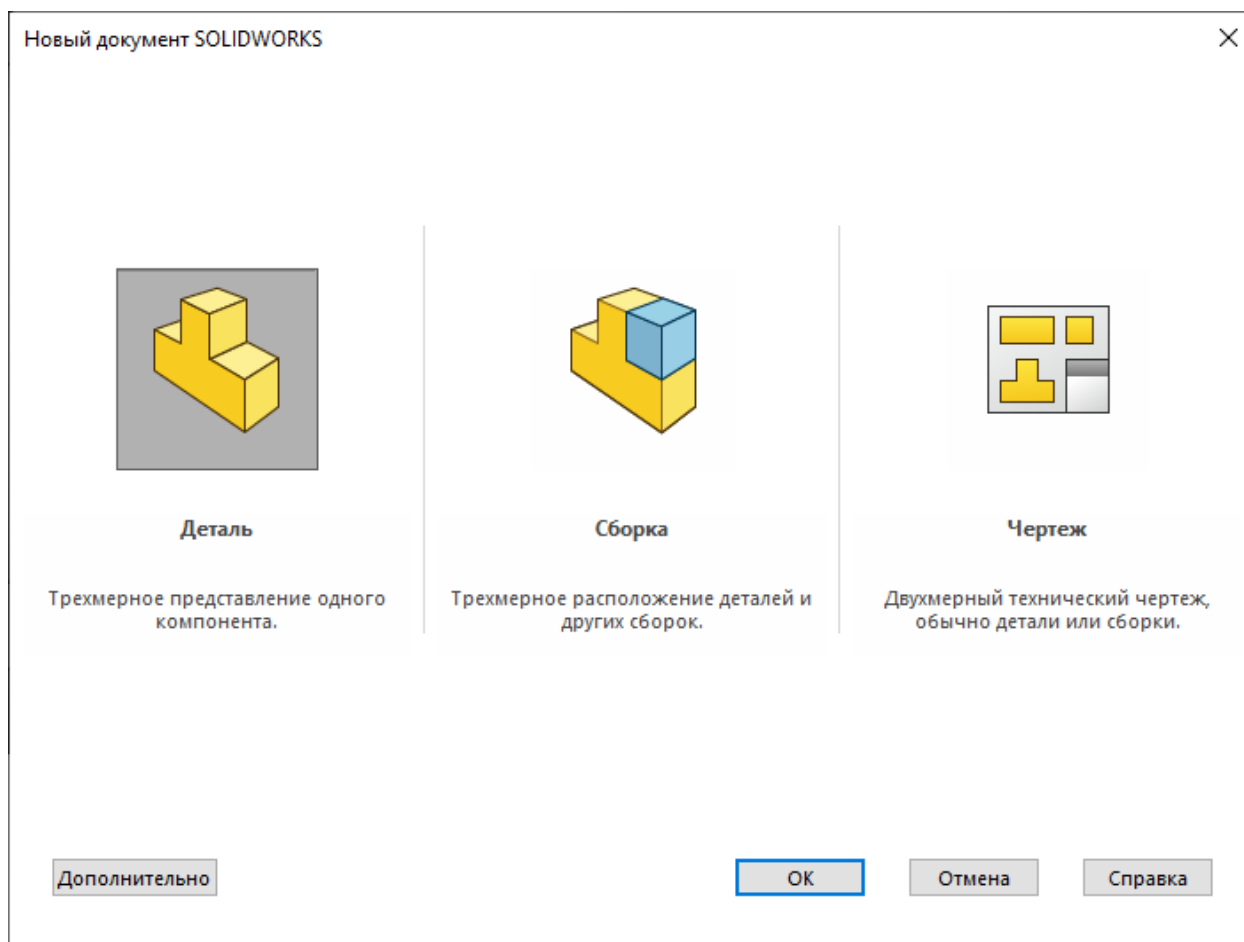


Рис. 17. Стартовое вікно SolidWorks

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 зборкою, збереженими як шаблони.

Відкриття існуючих документів

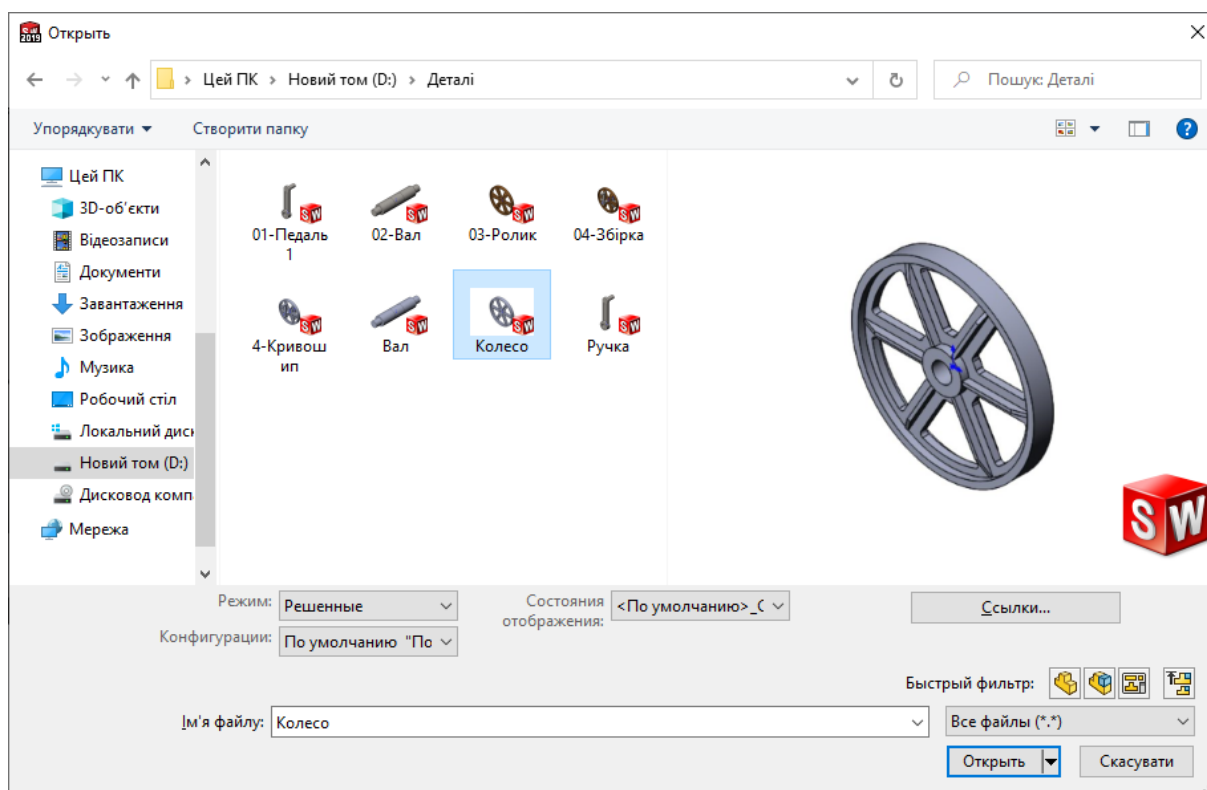


Рис. 18. Відкриття існуючих документів у SolidWorks

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 7. 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 **Инструменты, Настройка**.

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 панель 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 **OK**.

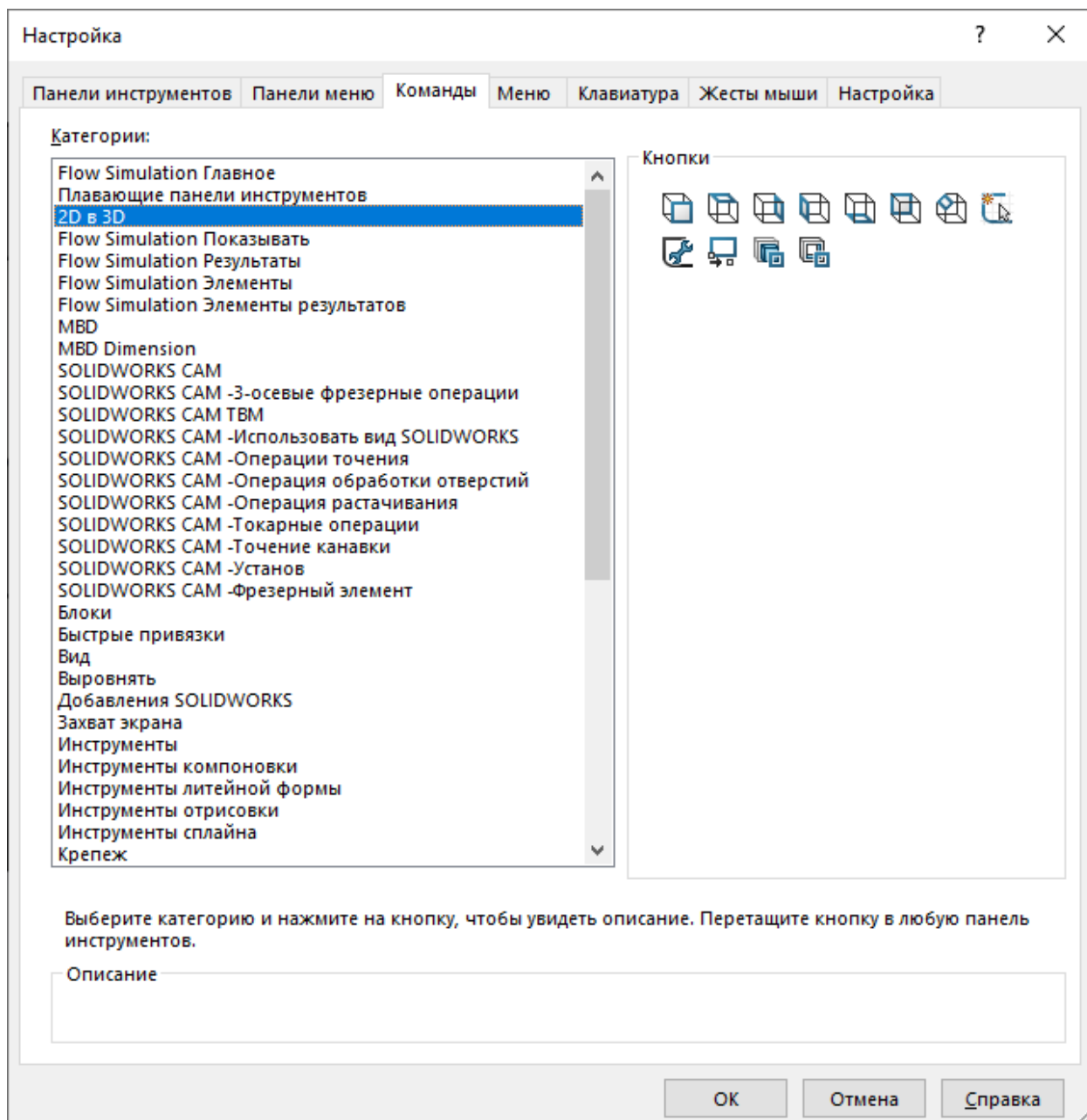


Рис. 19. Налаштування кнопок панелей інструментів

Початок роботи з ескізом

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**»)

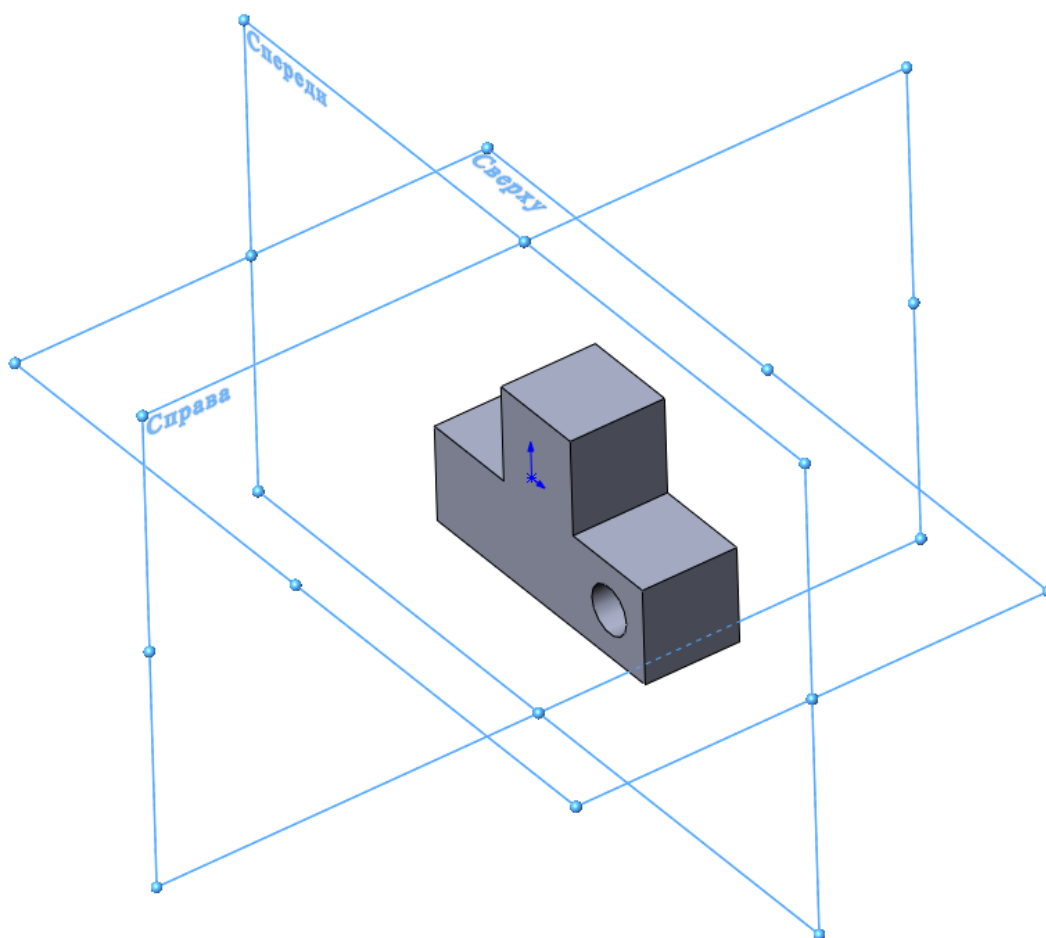


Рис. 20. Деталь з головними площинами

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

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

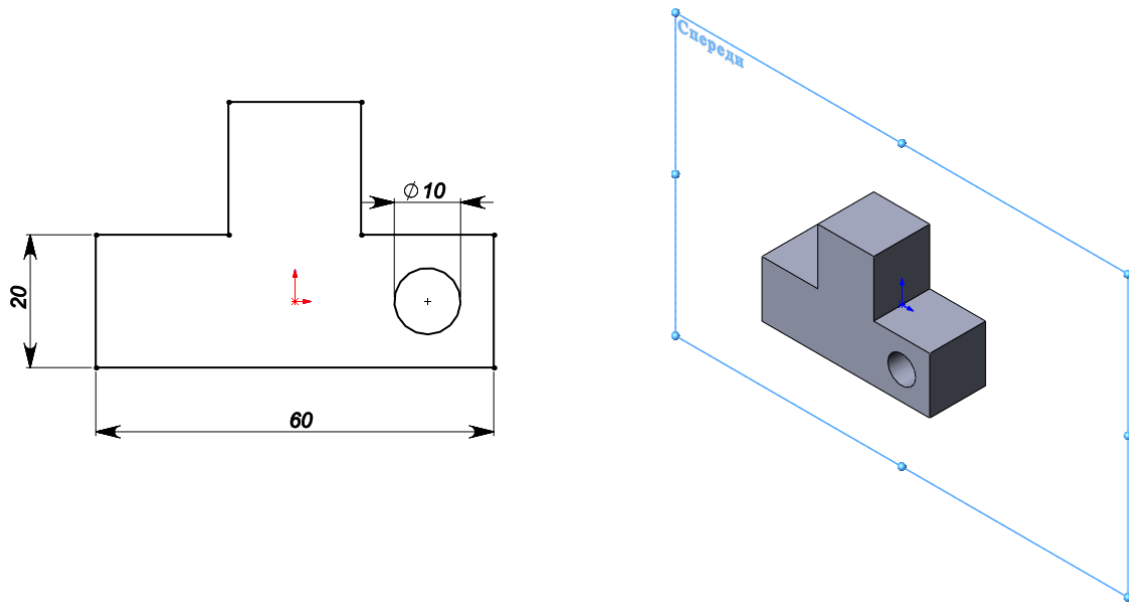


Рис. 21. Ескіз на площині «Спереди» і деталь.

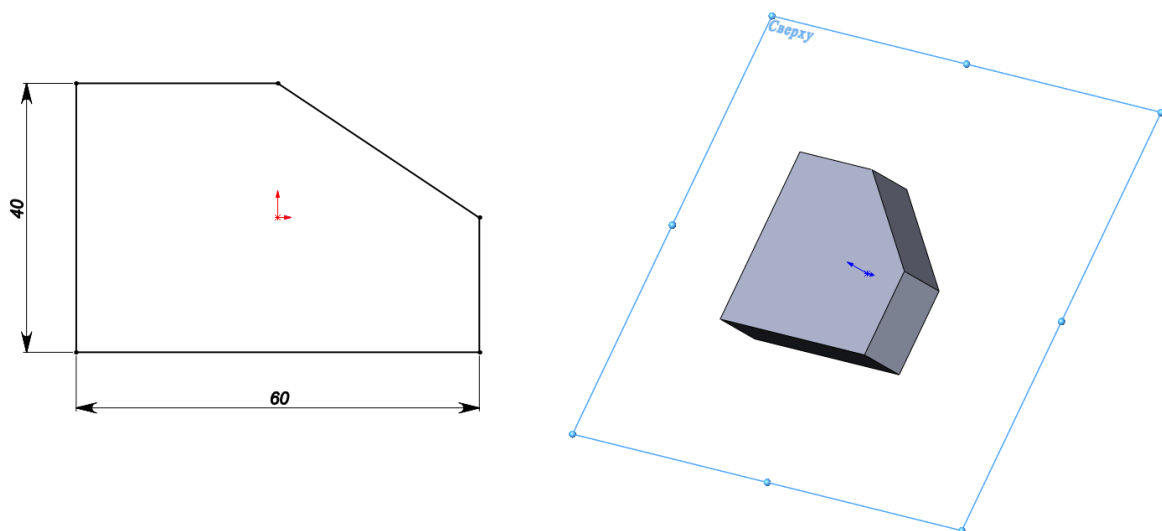


Рис. 22. Ескіз на площині «Сверху» і деталь

Для зміни орієнтації стандартних видів моделі:

1. Виберіть **Вид, Орієнтація** 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.)

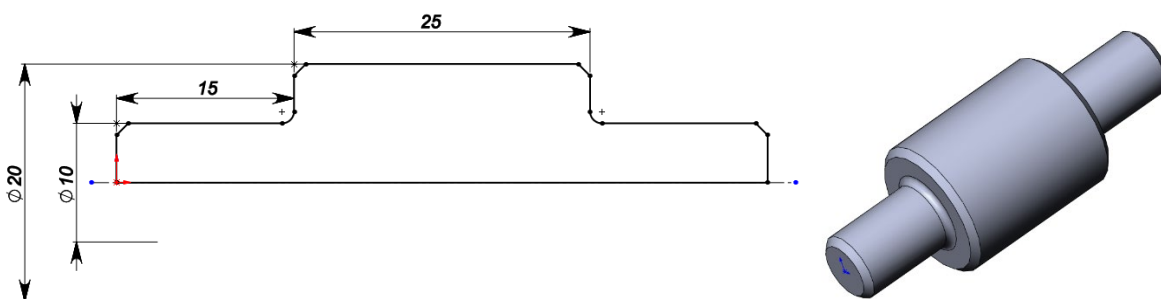


Рис. 23. Ескіз і побудоване тіло обертання.

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

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.

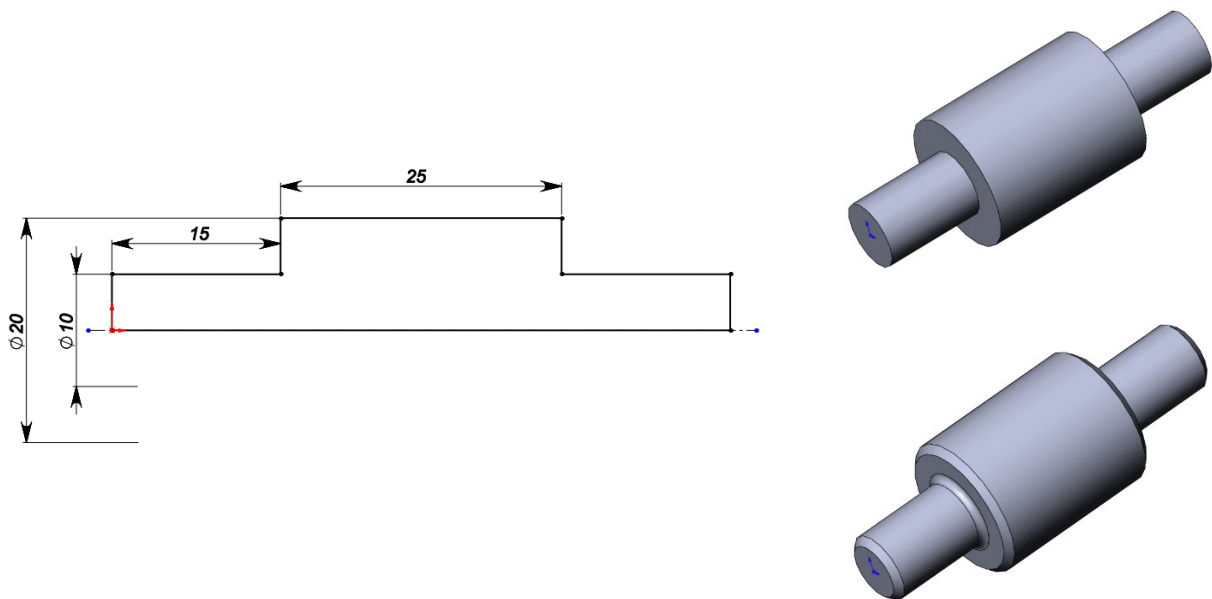



Рис. 24. Простий ескіз і побудовані за ним два виконання тіла обертання.

Інструменти для роботи з ескізами





Рис. 25. Панель «Ескіз»


 **Выбрать** - це самий широко використовуваний інструмент в додатку *SolidWorks*. Виберіть **Инструменты**, **Выбрать** або натисніть праву кнопку миші і виберіть команду **Выбрать** в контекстному меню.


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

 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.

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

 **Трёхмерный 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**.

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

 **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.

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 ескізу.

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.



Автоматическое нанесение размеров - створює розміри. Тип розміру (між точками, лінійний, радіальний або кутовий) визначається обраним елементом.



Добавить взаимосвязь - налаштовує геометричні взаємозв'язки об'єктів (наприклад, концентричність чи вертикальність).



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.



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

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



Рис. 26. Панель «Стандартные виды».

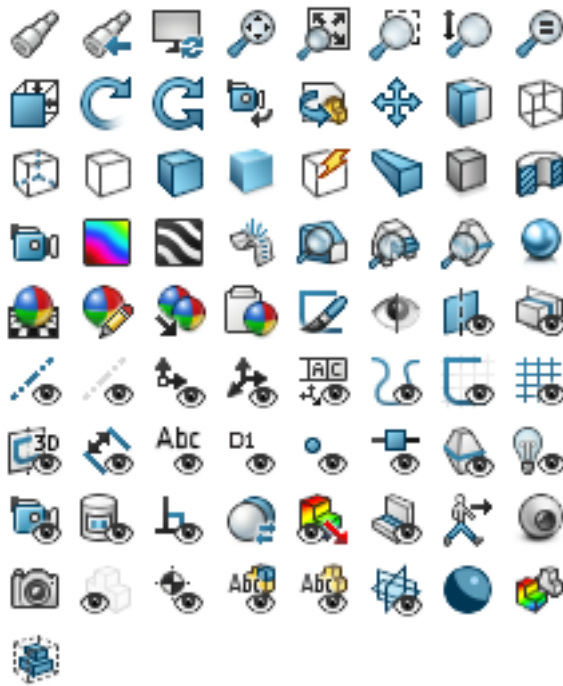


Рис. 27. Панель «Вид».

Лекція 8. 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 «Ескиз» або вибрати пункт меню «Вставка - Ескиз», при цьому стане активна панель «Ескиз», 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.

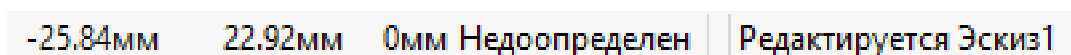


Рис. 28. Рядок стану робочого вікна SolidWorks

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

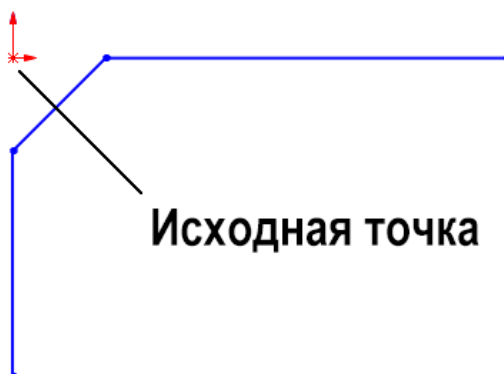


Рис. 29. Вихідна точка ескізу

Коли відкритий ескіз в графічній області червоним кольором відображається «*Исходная точка эскиза*», дивись рис. 29. Це точка з координатами $X \ll 0$, $Y \ll 0$. 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.

Умовні позначення для стану ескізу

Ескізи знаходяться в одному з п'яти наступних станів.

Повністю визначено - всі 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.

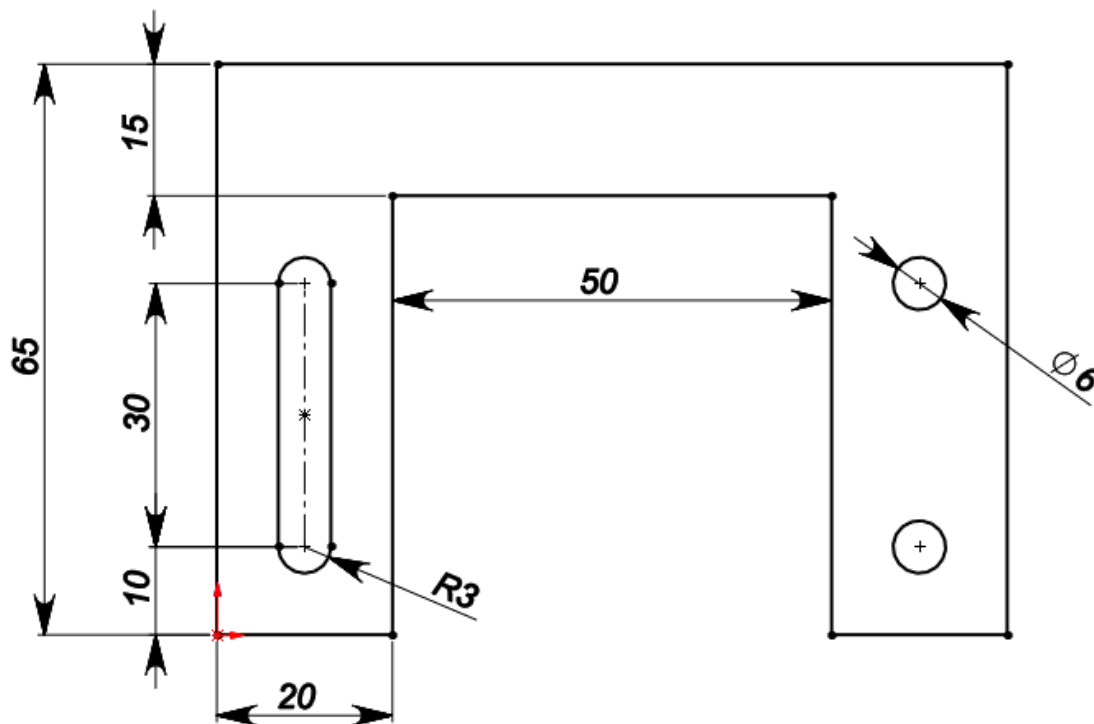


Рис. 30. Повністю визначений ескіз

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 65 – висота деталі.

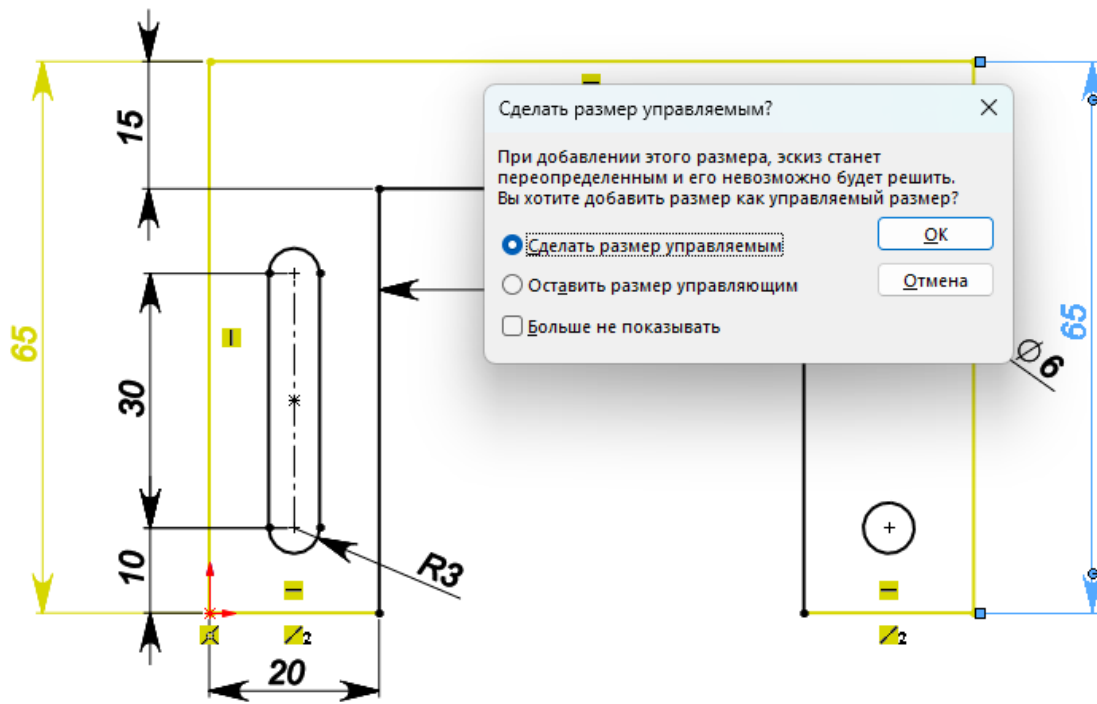


Рис. 31. Перевизначений эскиз.

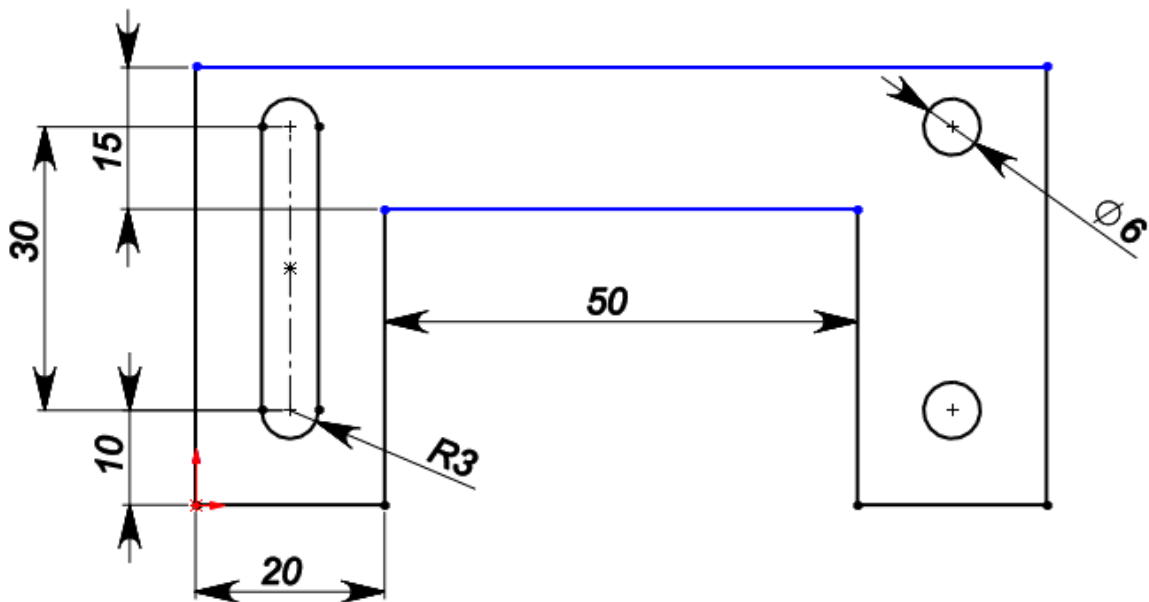


Рис. 32. Недовизначений эскиз.

вертикальністю (розміром 65 мм) та горизонтальністю (розміром 50 мм) спробували додати паралельність. Результат - ескіз, рішення якого не може бути знайдено.

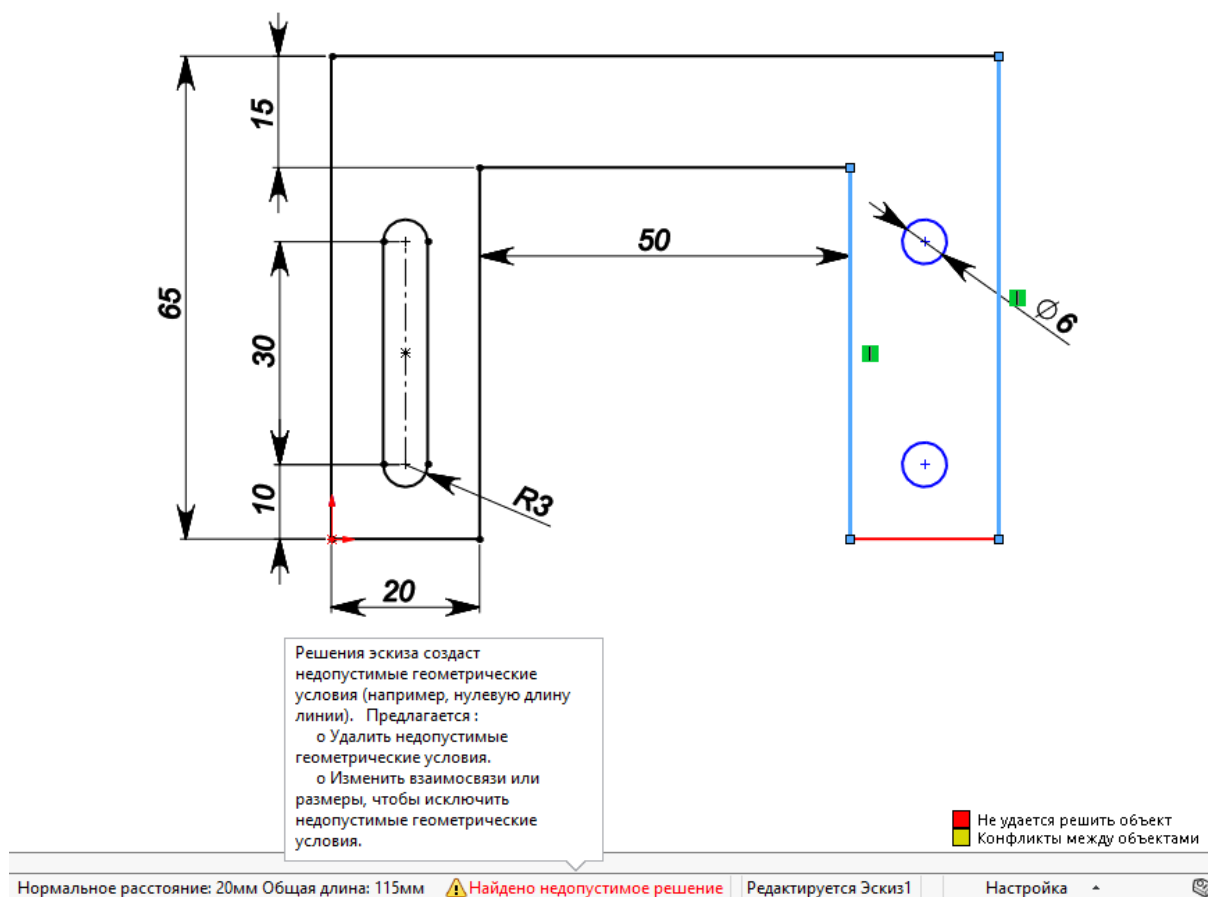



Рис. 34. Ескіз із неприпустимим рішенням

Знайдено неприпустиме рішення - ескіз розрахований, але в результаті вийде неприпустима геометрія, наприклад, спроба встановити нульову довжина лінії (виділено червоним кольором), дуга нульового радіуса або самоперетинаючий сплайн.

Взаємозв'язки

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.

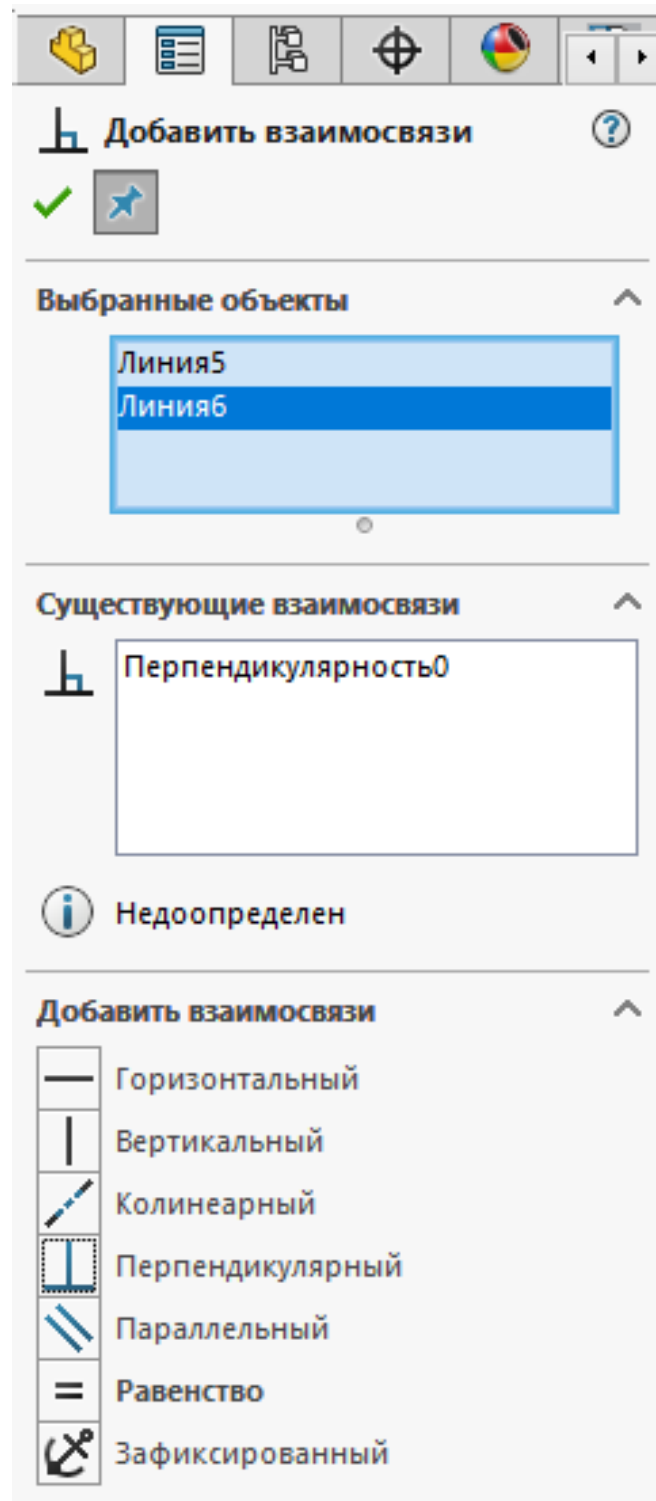


Рис. 35. Взаємозв'язки ескізу

На рис.35 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*.

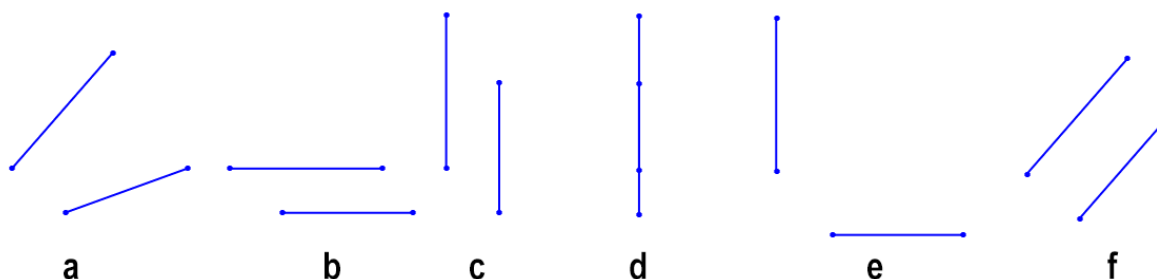


Рис. 36. Можливі взаємозв'язки відрізків у ескізі

Коротко розглянемо які можливі взаємозв'язки в ескізі.

- *Горизонтальность* або *вертикальность*. Можна вибрати 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:

- 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.

- Одна з точок визначена, інші переміщуються на її рівень.

На рис. 36 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 Колінеарность (рис. d).

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

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

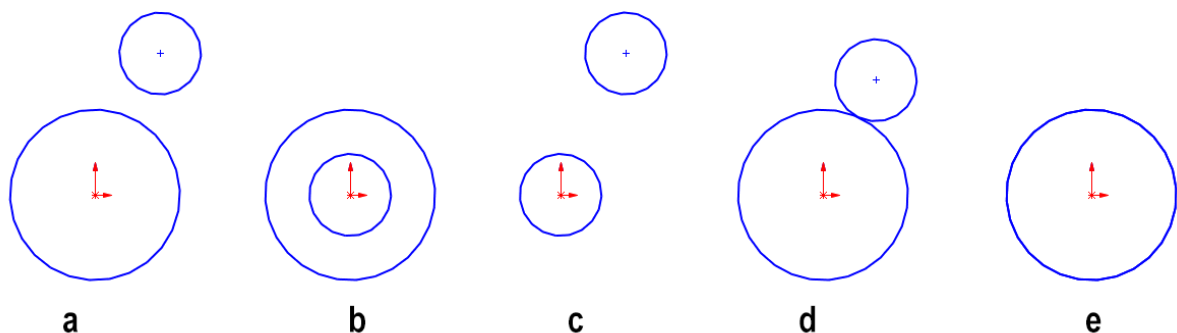


Рис. 37. Можливі взаємозв'язки кіл в ескізі

- **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 рис. 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 рис. 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 (рис. e).

Средняя точка. Можна вибирати такі об'єкти: точку та лінію. Точка стає в центрі лінії, причому, при невизначеному ескізі, можна змінювати як положення точки, так і положення лінії.

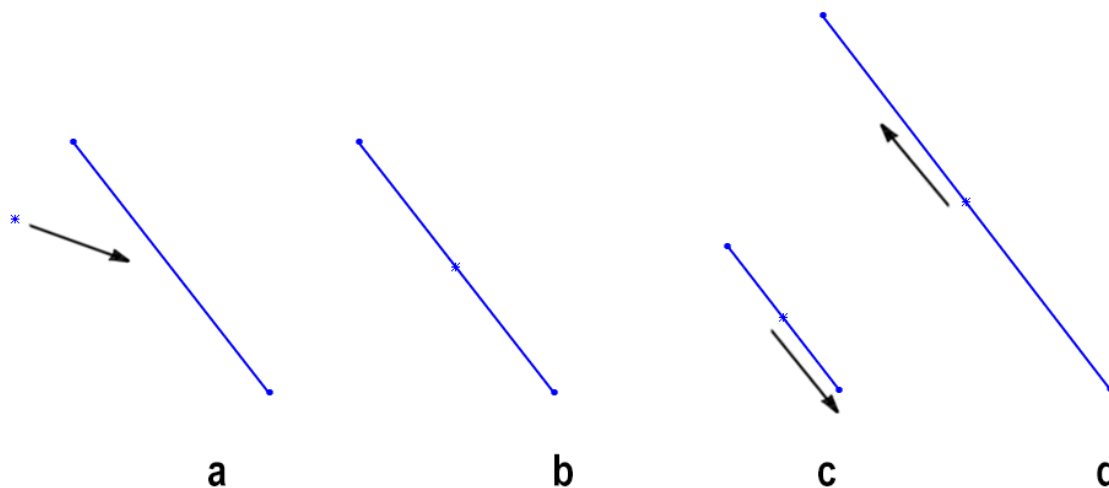


Рис. 38. Взаємозв'язок «Средняя точка» точки і відрізка в ескізі

Рис. c і рис. d ілюструють відмінність в розмірі одержуваної лінії при переміщенні вихідної точки уздовж вихідної лінії.

Пересечение. Цей взаємозв'язок встановлює точку в місце перетину двох ліній. Для її роботи потрібно вибрати дві лінії і одну точку. Розглянемо роботу

взаємозв'язку на конкретному прикладі: На рис. 1 задана горизонтальна пряма «а» (визначена), довільна похила пряма «b» (невизначена) і довільна точка «с» (також невизначена).

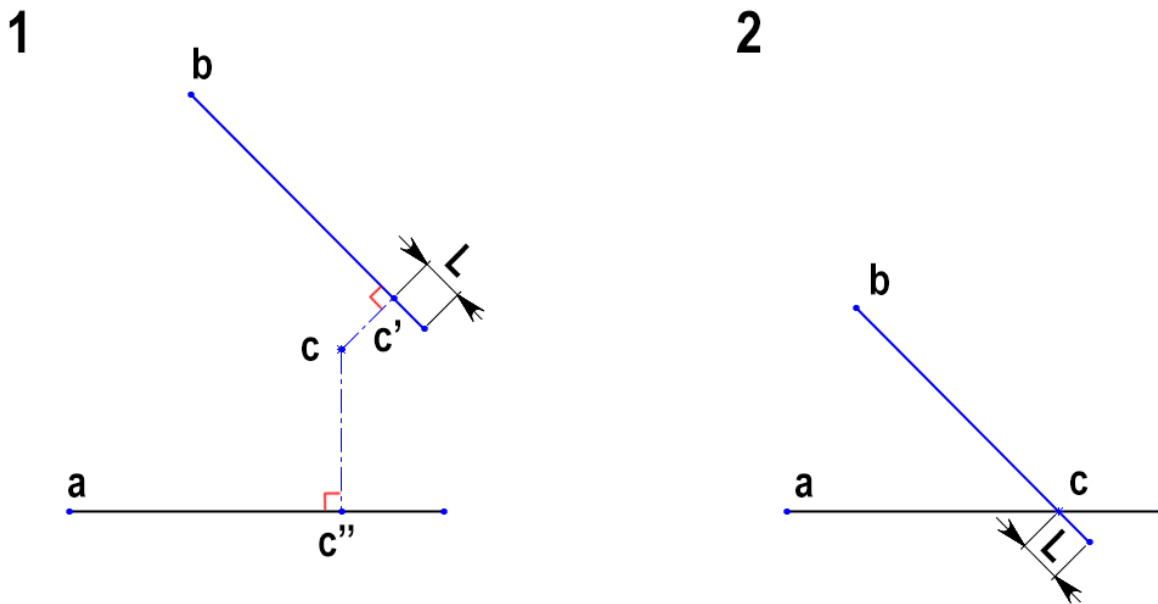


Рис. 39. Взаємозв'язок «Пересечение» відрізків у ескізі

При завданні взаємозв'язку «пересечение» для всіх цих об'єктів буде застосовуватися наступний алгоритм: З точки «с» на похилу пряму «b» опускається перпендикуляр «с's'», що використовується в якості вектора паралельного переносу (див. рис. 39) прямої «b» з точки перетину перпендикуляра «с's'» в задану точку «с». Потім з точки «с» опускається перпендикуляр «с's''» на горизонтальну пряму «а», який також використовується як вектор паралельного переносу (див. рис. 39) прямої «b» з точки «с» в точку основи перпендикуляра «с's''». Після цього точка «с» стає точкою «с''». Результат цього складного пояснення показаний графічно на рисунку «2».

Совпадение. Цей взаємозв'язок встановлює точку на лінії, 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.

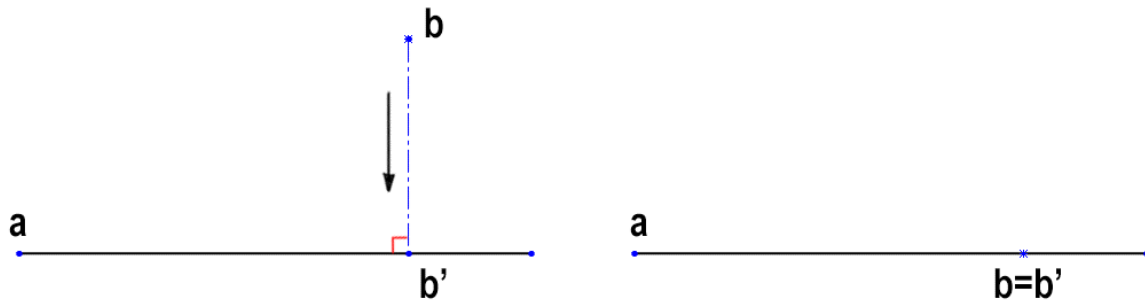


Рис. 40. Взаємозв'язок «*Совпадение*» точки і відрізка в ескізі

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.

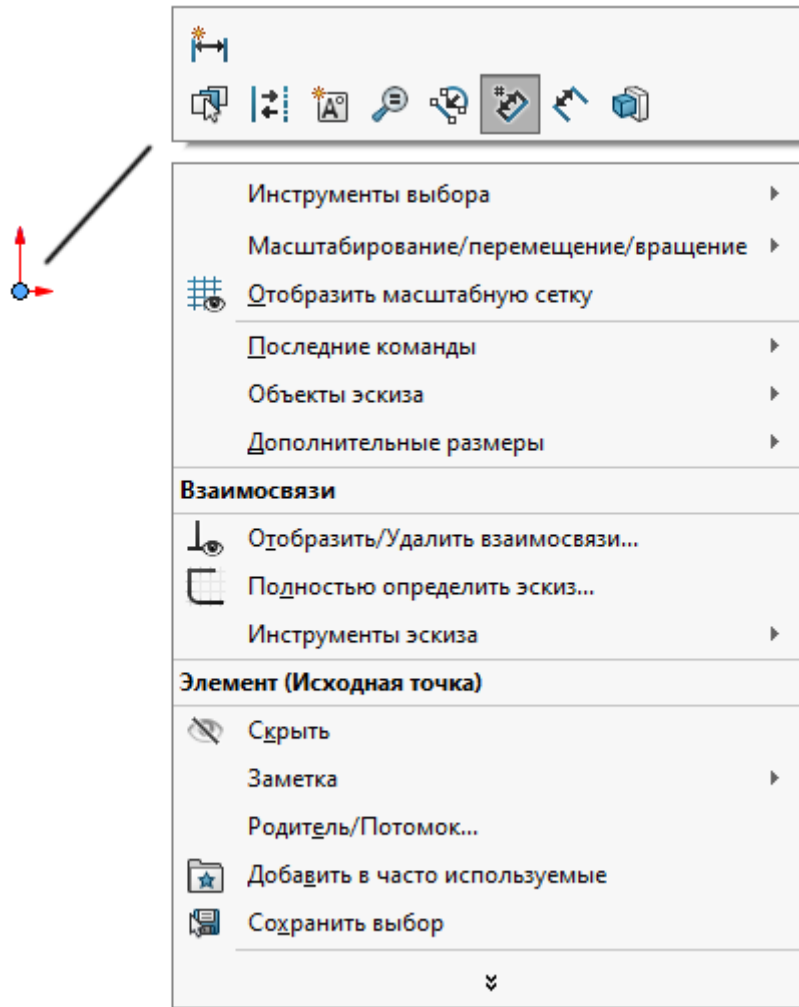


Рис. 41. Контекстне меню для вихідної точки.

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.

Використання контекстних меню - це найбільш ефективний спосіб роботи, при якому не потрібно витрачати 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**» -> «**Копіювати**» або за допомогою натискання клавіш **Ctrl + C**. Потім можна вставити об'єкти, натиснувши лівою кнопкою миші в графічній області і вибравши «**Правка**» -> «**Вставити**» 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

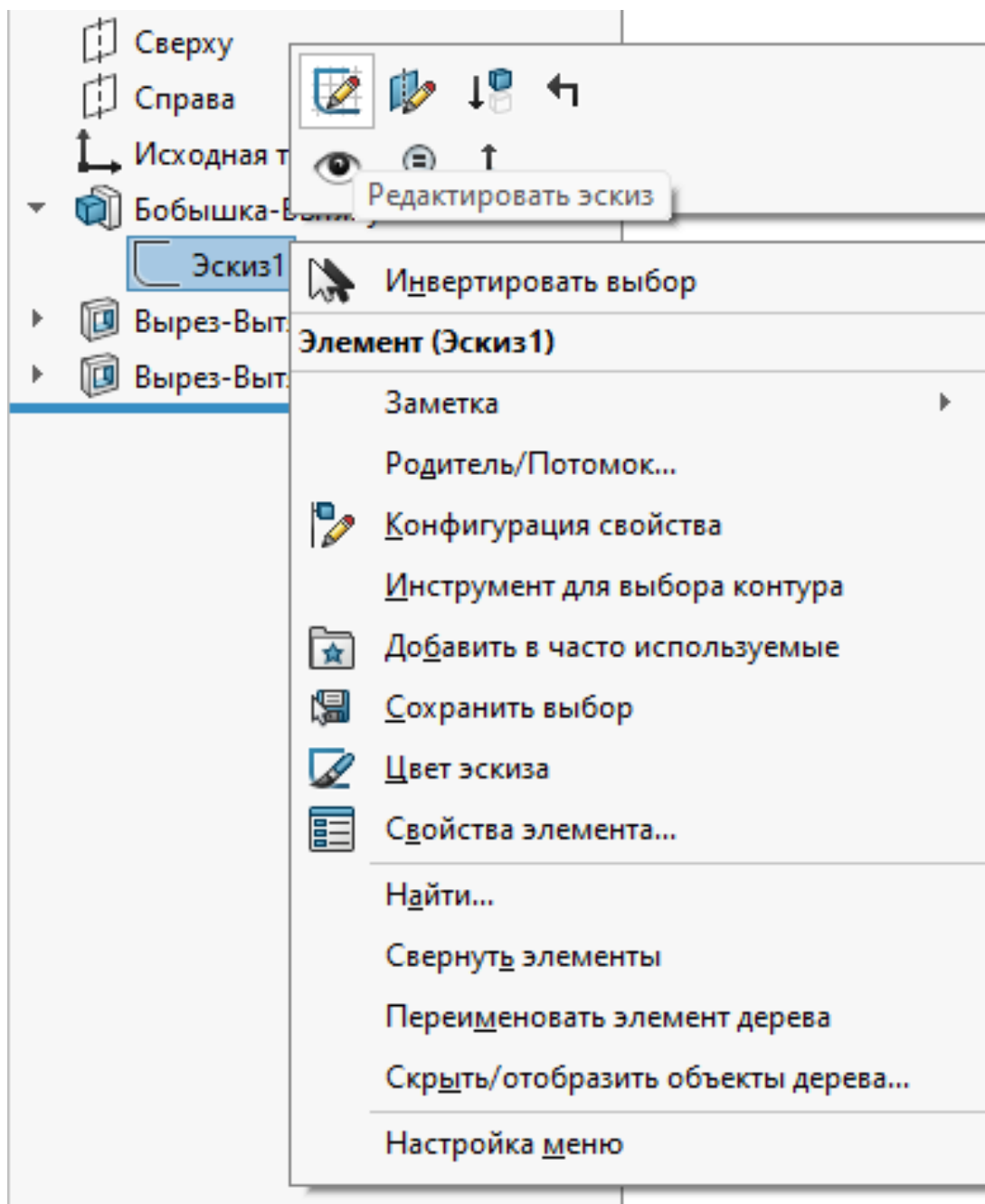


Рис. 42. Редагування ескізу з дерева конструювання

Для редагування ескізу:

Натисніть правою кнопкою миші на імені ескізу, який потрібно відредагувати, в дереві конструювання.

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*».

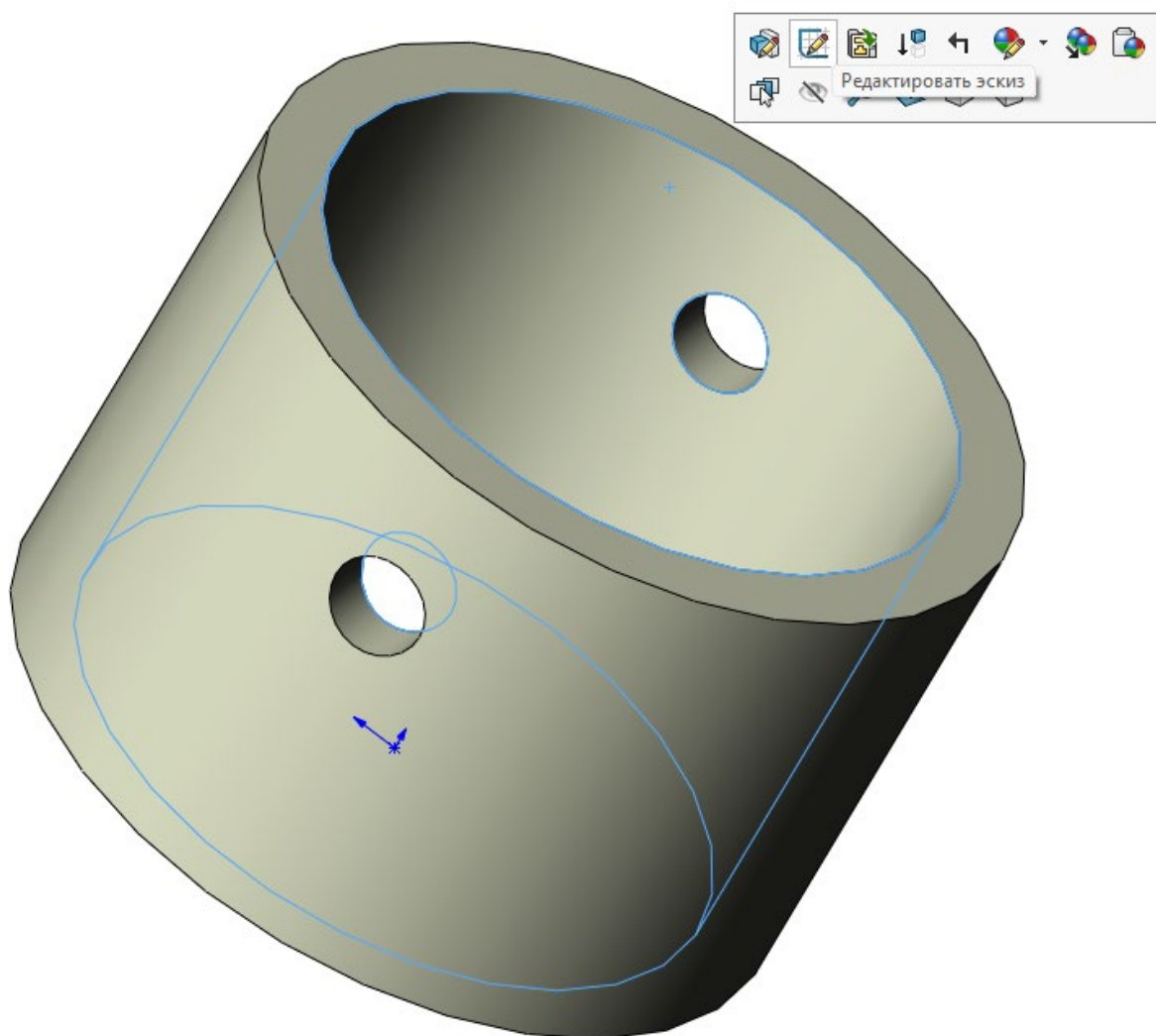


Рис. 43. Редагування ескізу з твердотілої моделі

Лекція 9. 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.

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*.

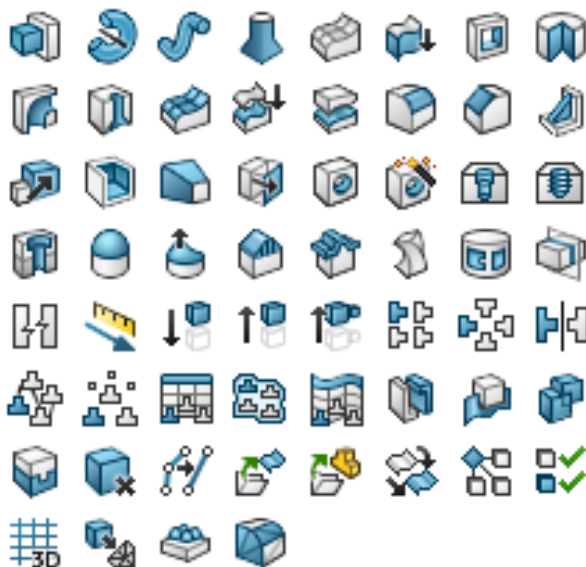


Рис. 44. Панель інструментів «*Элементы*»

Інструмент «*Вытянутая бобышка/основание*»

На рис. 45 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. 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 вытяжки*». Доступні параметри залежать від обраного типу витягування.

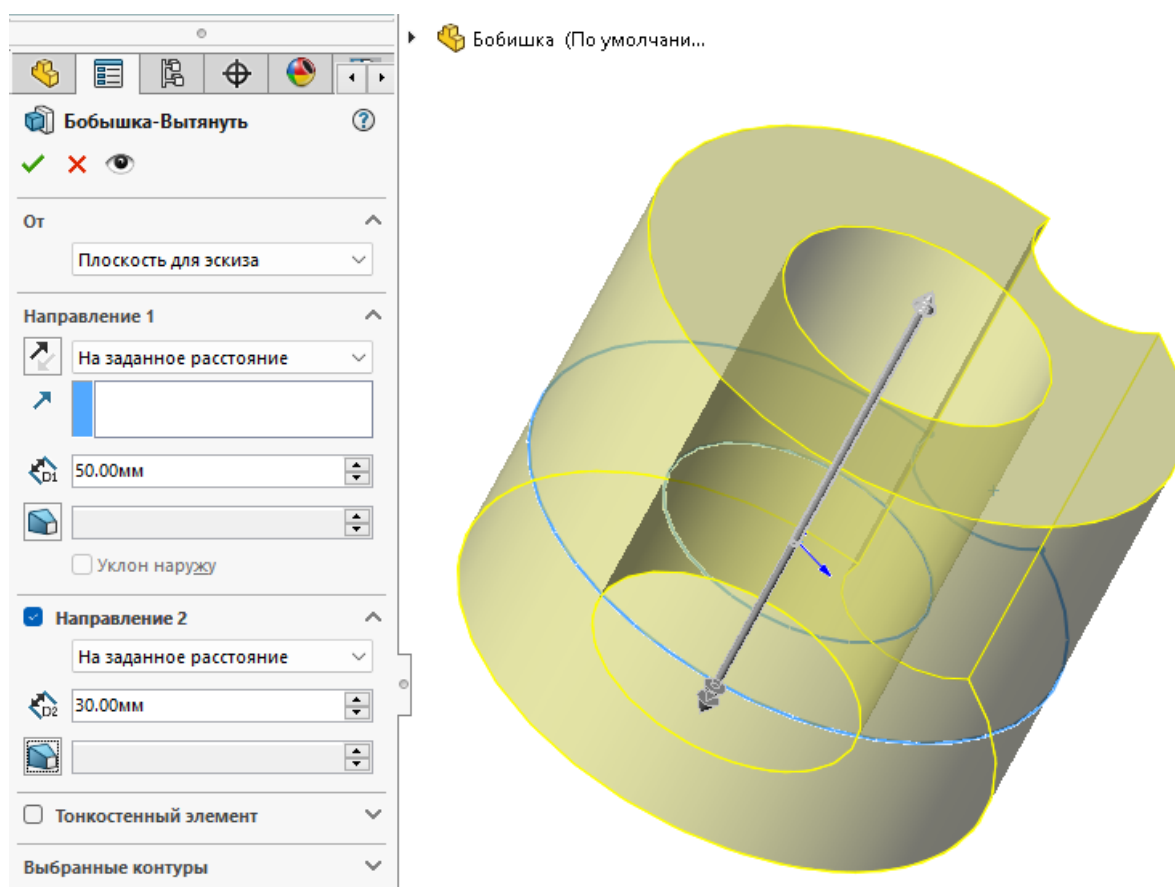


Рис. 45. Формування 3d елемента з допомогою інструменту «Витягнута бобышка/основание»

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*».

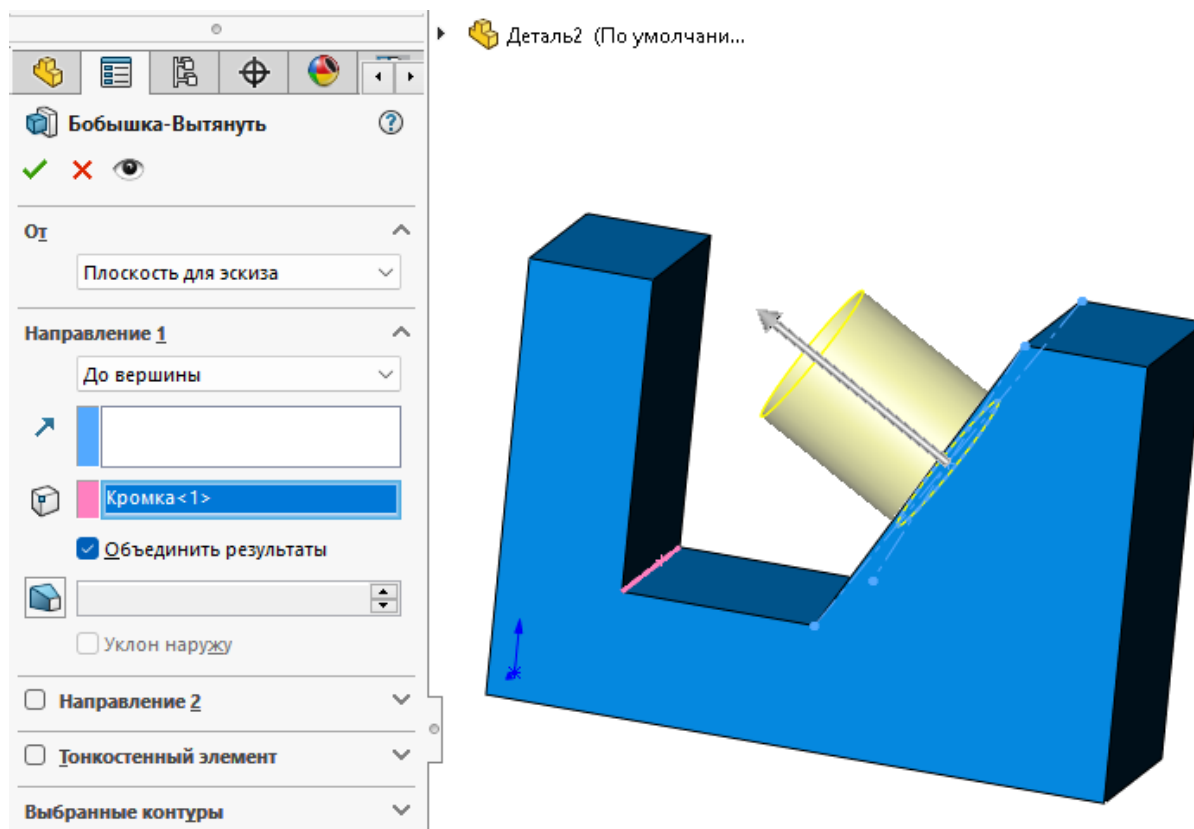


Рис. 46. Формування 3d елемента витягуванням до вершини

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. 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.

До поверхності. Гранична умова «*До поверхності*» 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 рис. 47. При цьому торець бобишки буде паралельний до обраної поверхні.

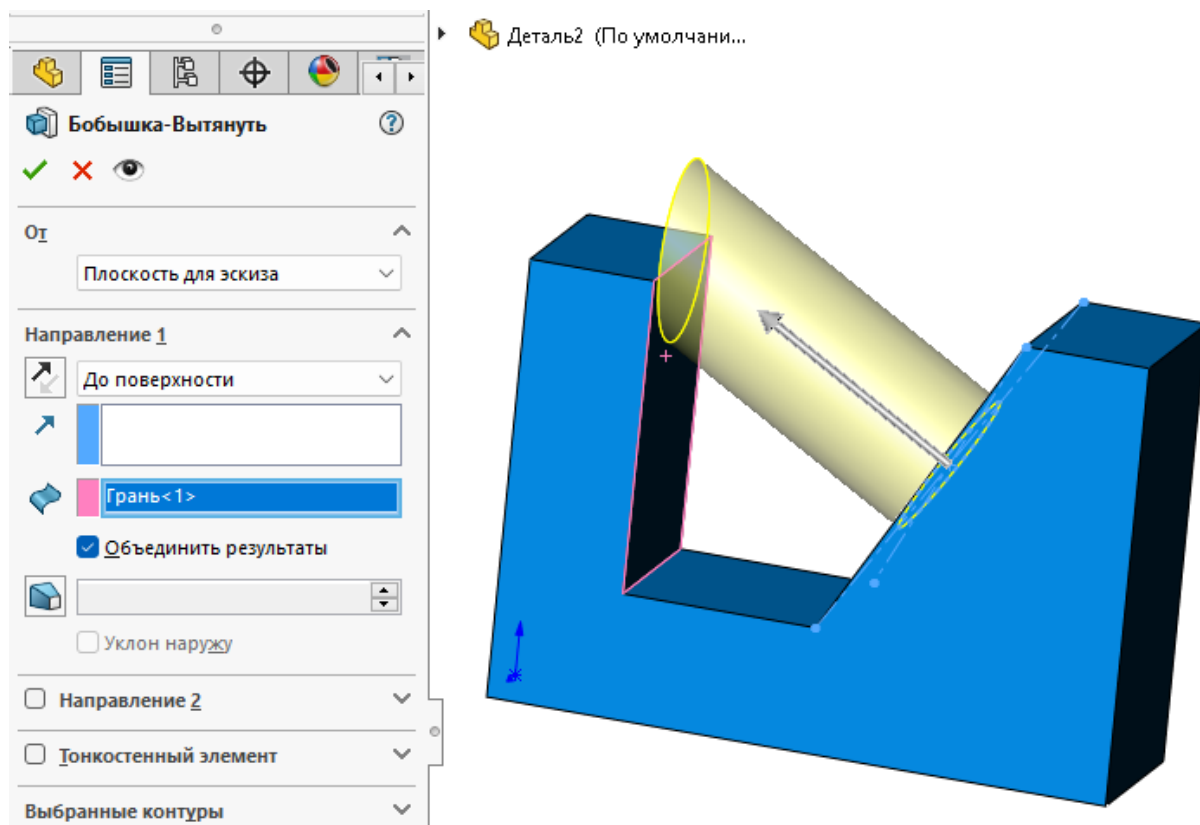


Рис. 47. Формування 3d елемента витягуванням до поверхні.

Насквозь. Гранична умова «*Насквозь*» витягує елемент від площини ескізу через всю існуючу геометрію, як показано на рис.48. Торець бобишки зрізається

по перпендикуляру, опущеного з крайньої точки моделі на напрямок витягування.

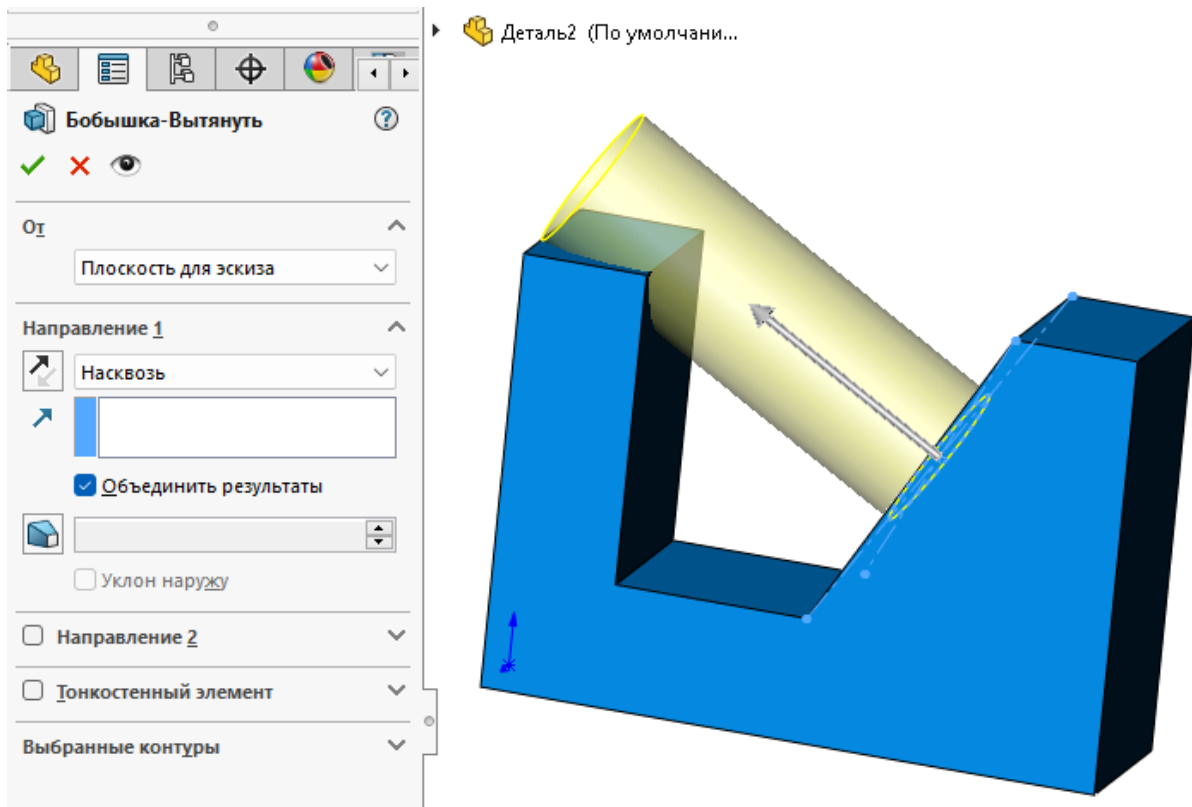


Рис. 48. Формування 3d елемента наскрізним витягуванням.

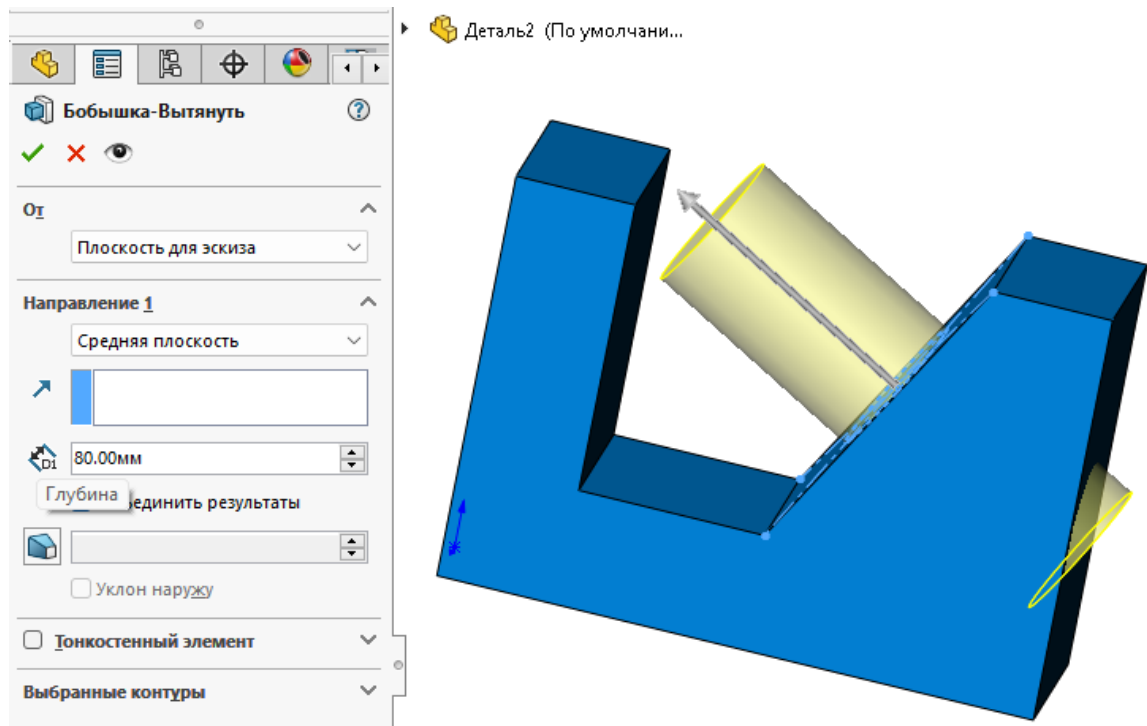


Рис. 49. Формування 3d елемента витягуванням від середньої площини

Средняя плоскость. Гранична умова «*средняя плоскость*», як уже було сказано вище, витягує бобишку на однакові відстані в обох напрямках від площини ескізу. Ці відстані є однаковими і рівними параметру «*Глубина*».

Уклон. 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 рис.50 показаний нахил «*внутрь*» і буквою «А» позначений кут нахилу.

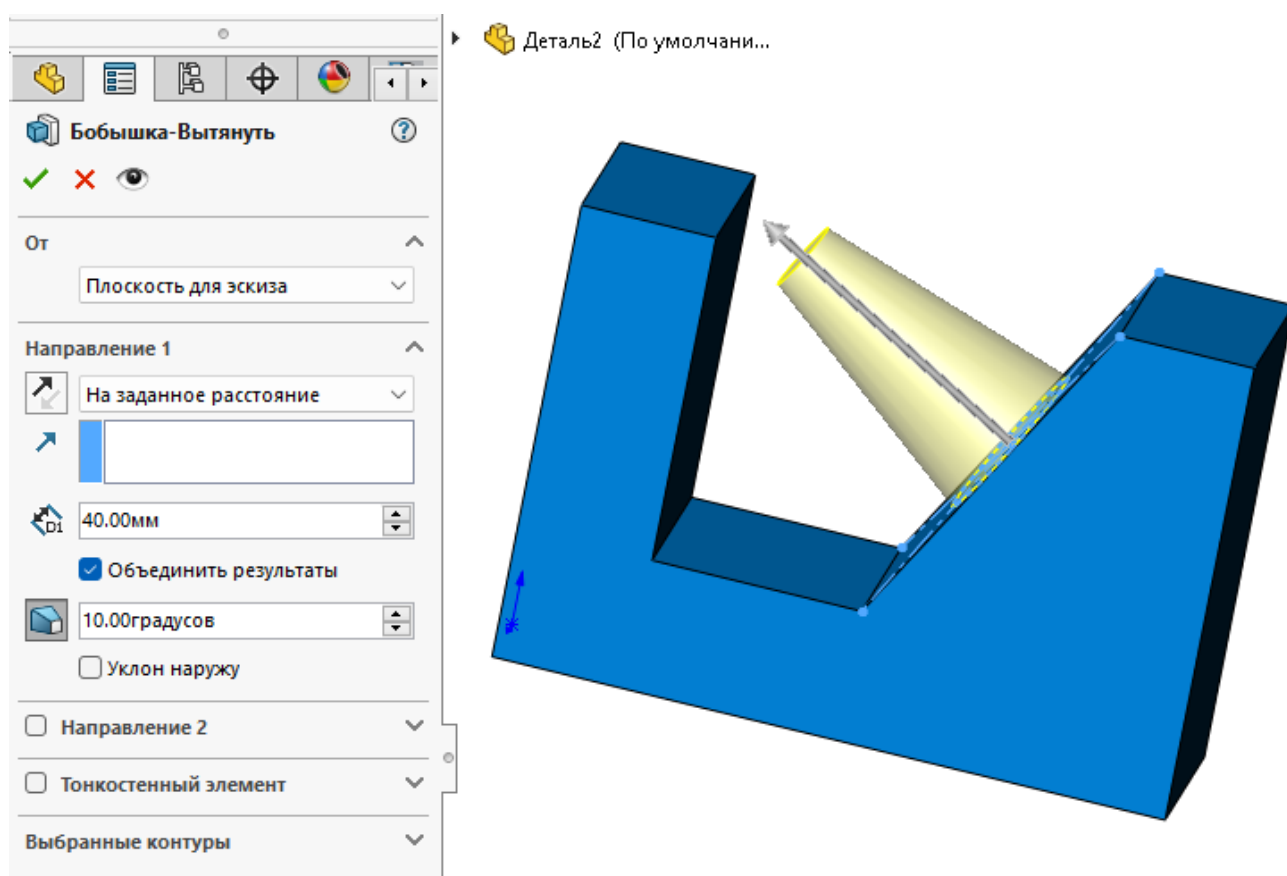


Рис. 50. Формування 3d елемента витягуванням з нахилом.

Інструмент «Вытянутый вырез»

На рис. 51 представлена панель *Менеджера свойств* при виконанні операції «*Вытянутый вырез*». Потримайте вказівник миші над елементами

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

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**».

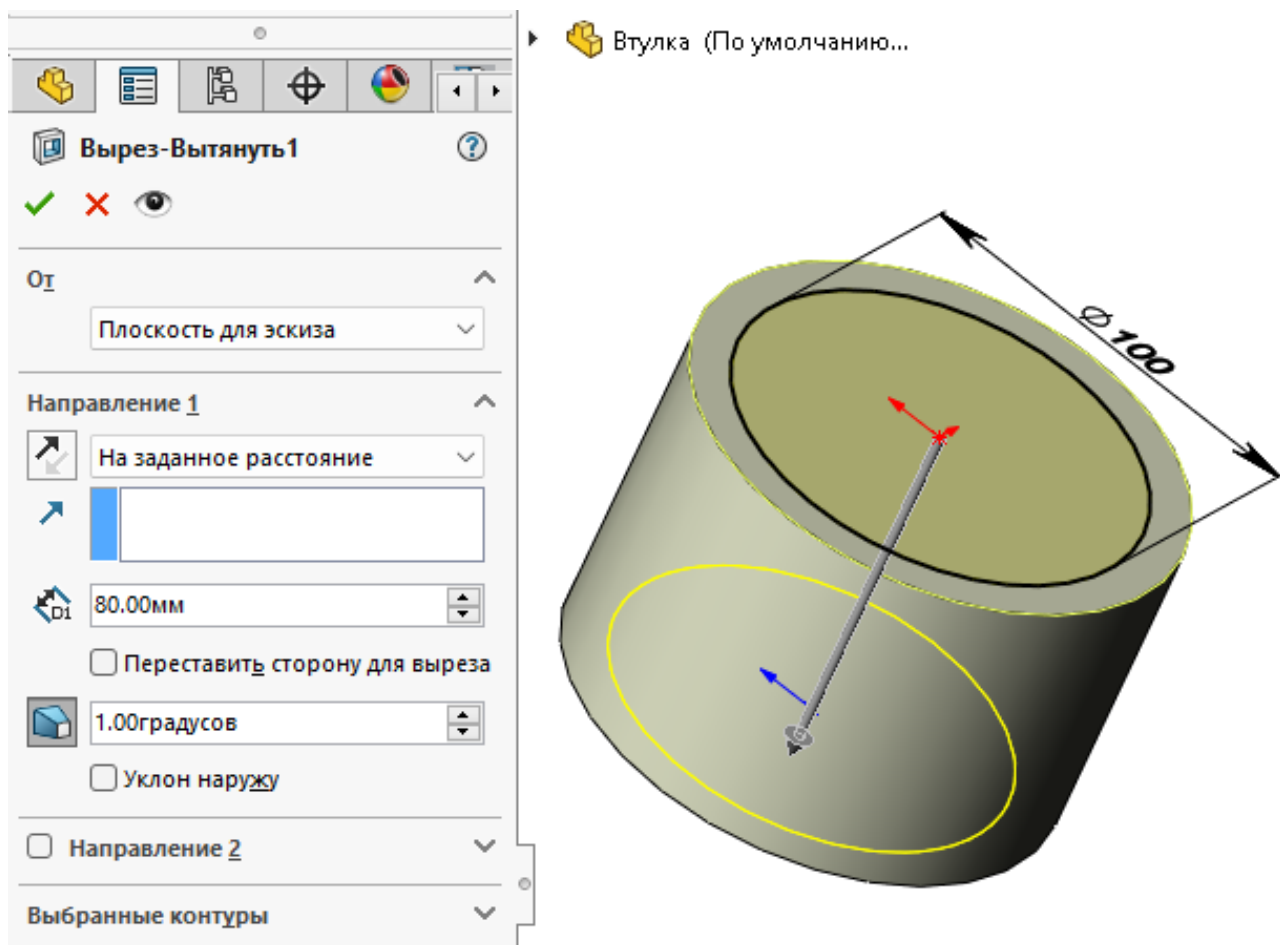


Рис. 51. Виконання вирізу витягуванням у суцільному елементі.

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 формує виріз у напрямку до першої межі або поверхні. На рис.52 показана втулка з ескізом на лисці, до якого застосована операція вирізу «*До следующей*». В результаті утворився лише один отвір.

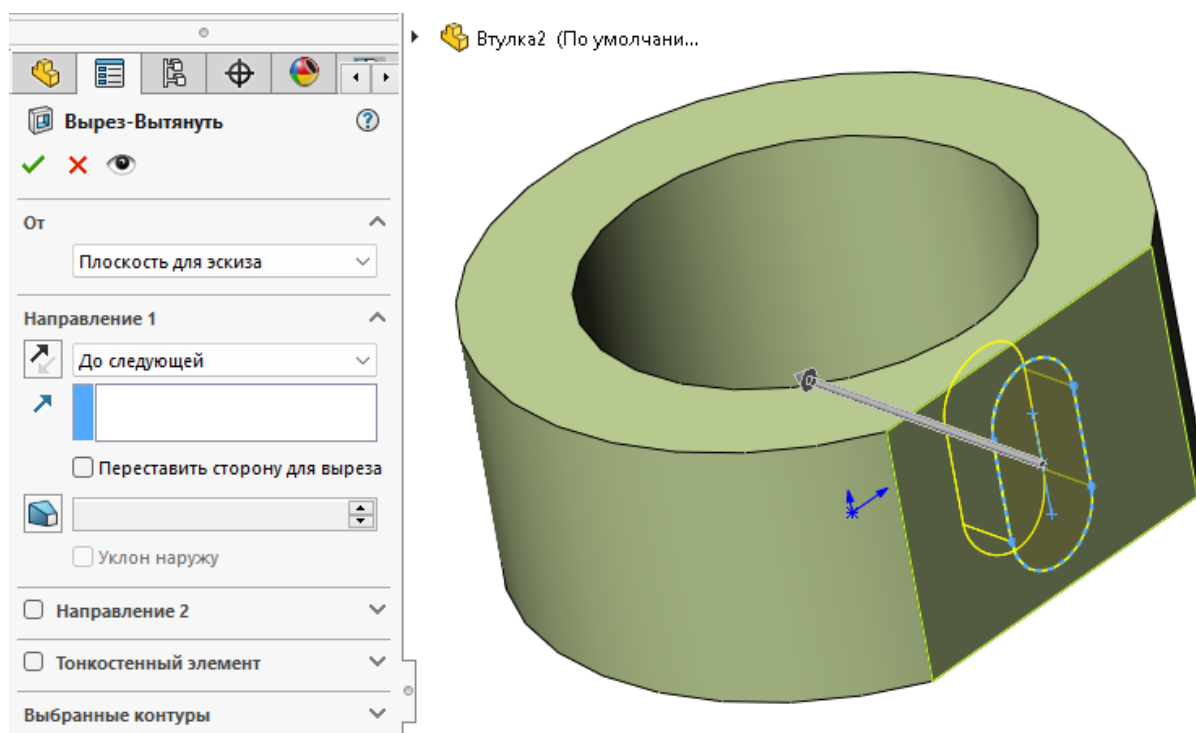


Рис. 52. Виконання вирізу витягуванням з граничною умовою «*До следующей*»

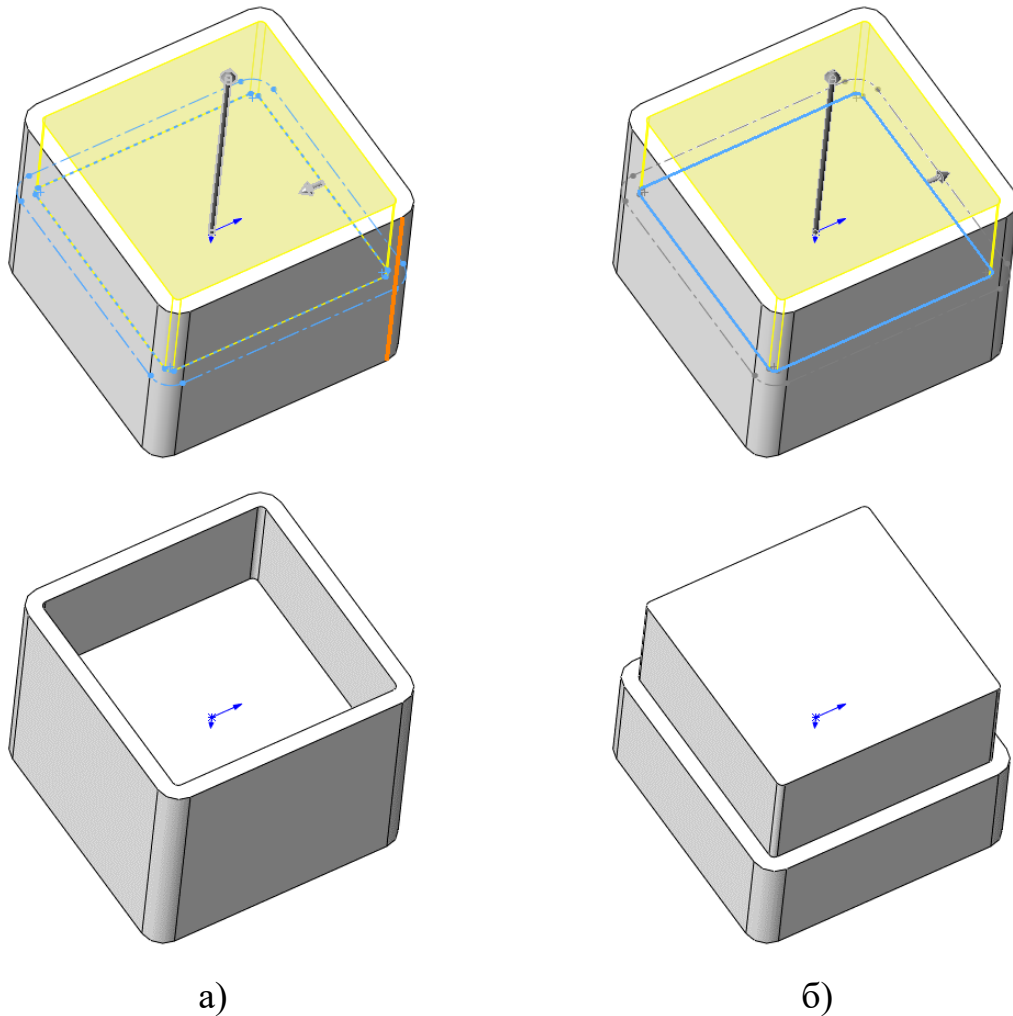


Рис. 53. Формоутворення із параметром «*Переставить сторону для выреза*»

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 «б» - виріз з використанням параметра «*Переставить сторону для выреза*»

Інструмент «Линейный массив»

На рис.54 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.

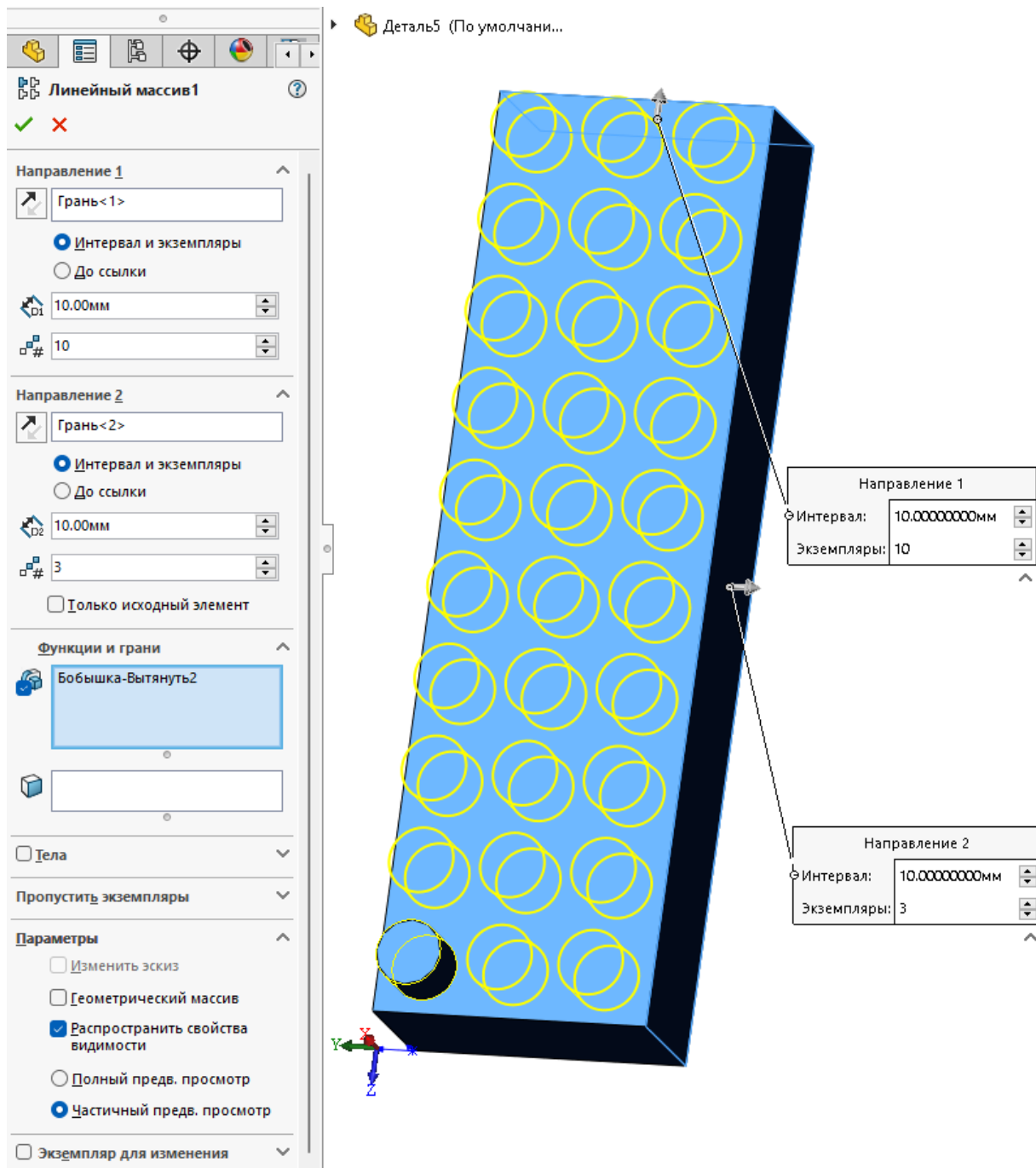


Рис. 54. Створення лінійного масиву

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.

Щоб створити найпростіший лінійний масив виконайте наступні кроки:

- Створіть витягнуте 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 рис.55 «а» нижче.

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 рис.55 «б» показано те, що виходить при включенні цього параметра.

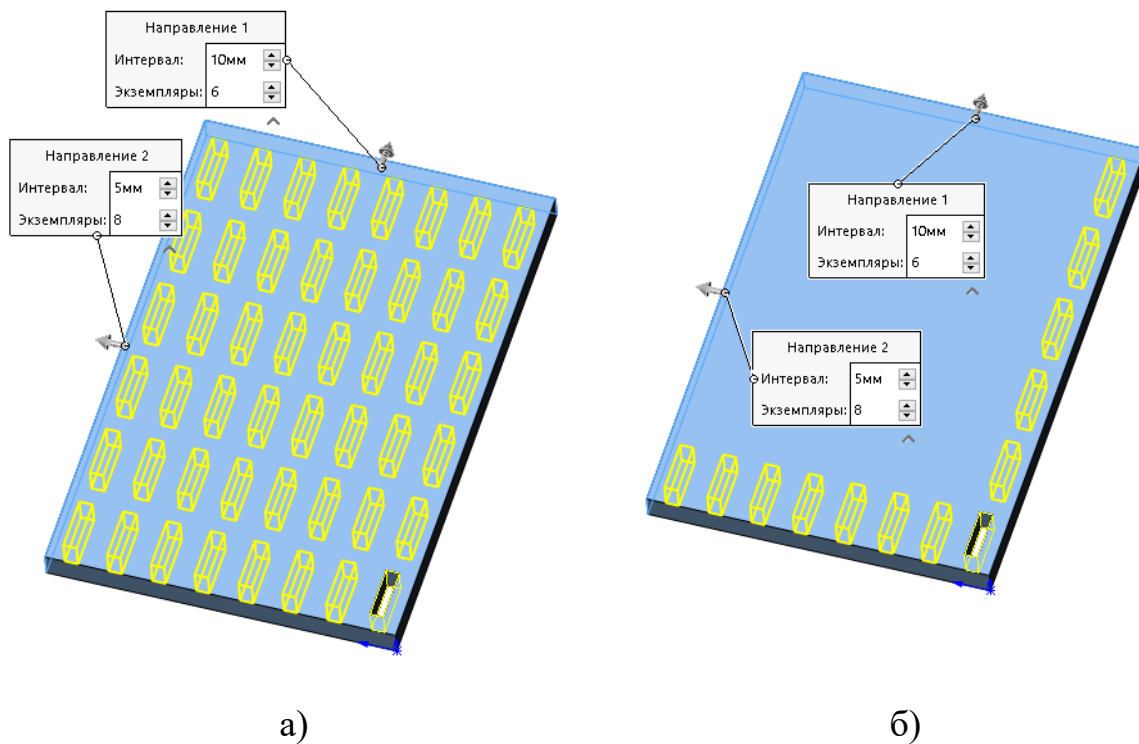


Рис. 55. Створення лінійного масиву із налаштуванням напрямків

Наступне вікно - «*Пропустить экземпляр*». Воно служить для виключення з масиву деяких елементів. На рис.56 показано, що з масиву виключений центральний елемент. Для того, щоб виключити елементи з масиву, активізуйте вікно «*Пропустить экземпляр*». 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 екземпляри» та натисніть на клавіатурі клавішу «Delete».

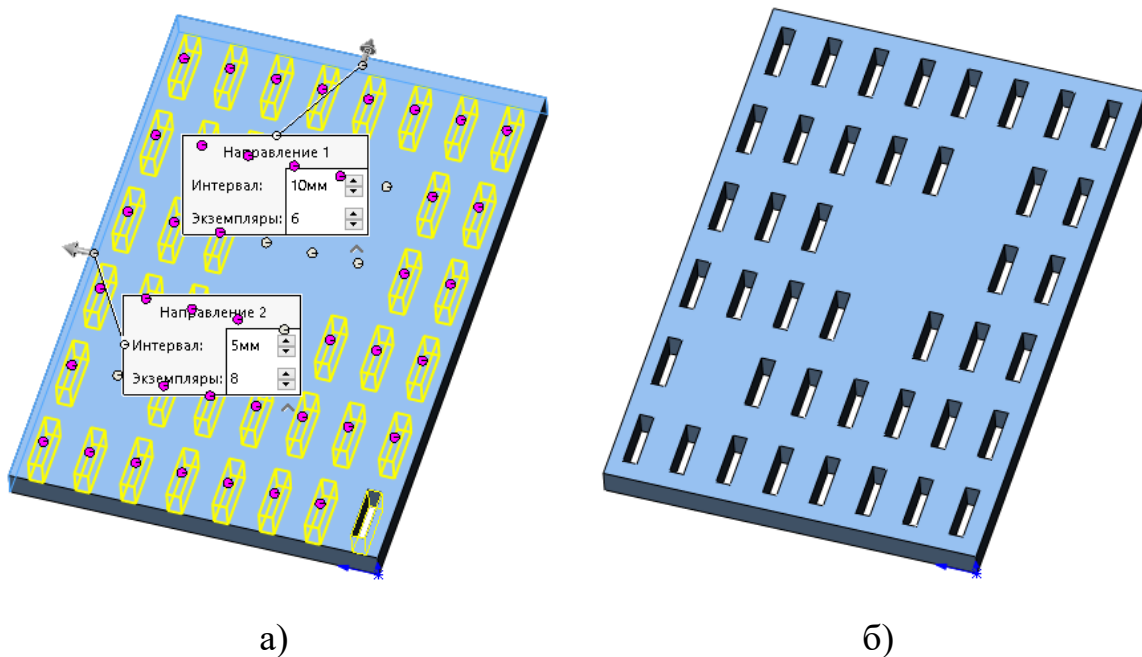


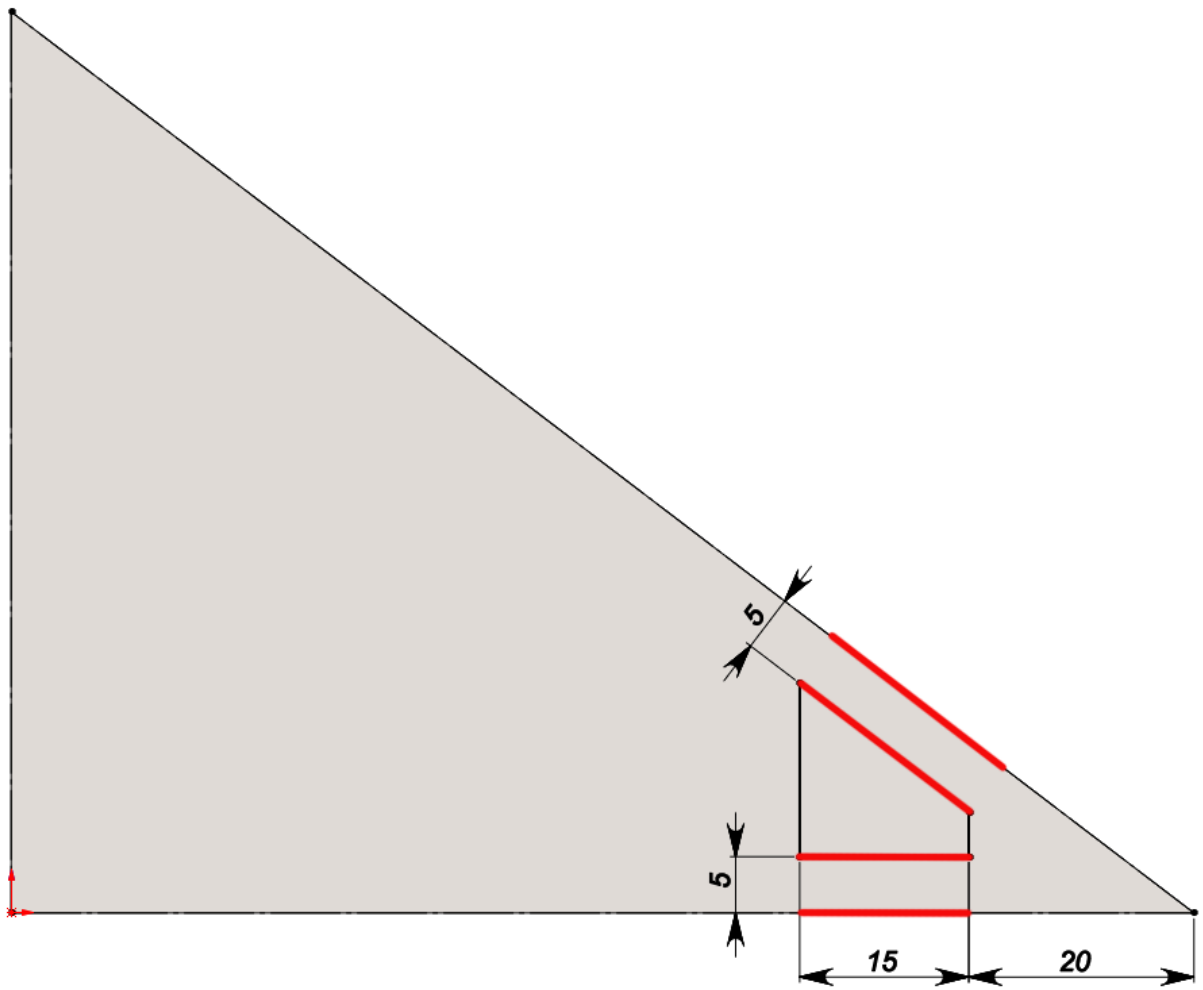
Рис. 56. Створення лінійного масиву із пропущеними екземплярами

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.

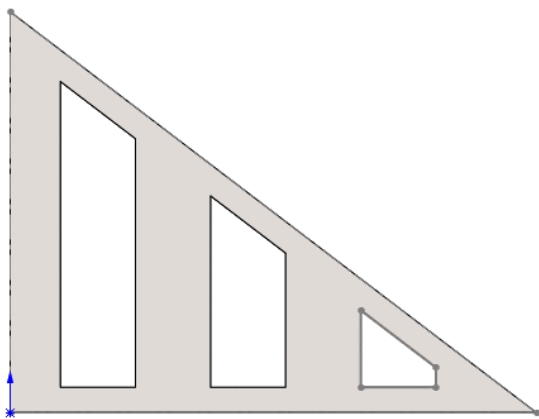
Можна намалювати 3 ескізу окремо і витягнути кожен з них, а можна скористатися параметром *Линейный Массив - Изменить Эскиз*.

Намалюйте ескіз вирізу на межі основи. Попарно задайте взаємозв'язок «*параллельность*» сторонам ескізу вирізу і ребрах основи, так, як показано на рис.57 червоним кольором.

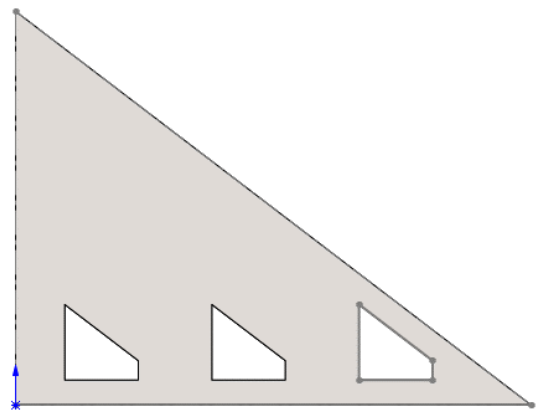
Розмір «20» на рис.57 є «керуючим» розміром. Це означає, що при його зміні міняються розміри всього ескізу. Двічі натисніть на цей розмір і, використовуючи кнопки зміни значення параметра (зі стрілками), спробуйте поміняти значення розміру. При цьому весь ескіз повинен рухатися вліво-вправо і змінювати свою висоту.



a)



б)



в)

Рис. 57. Лінійні масиви з динамічною зміною розмірів.

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*».

Інструмент «Круговой массив»

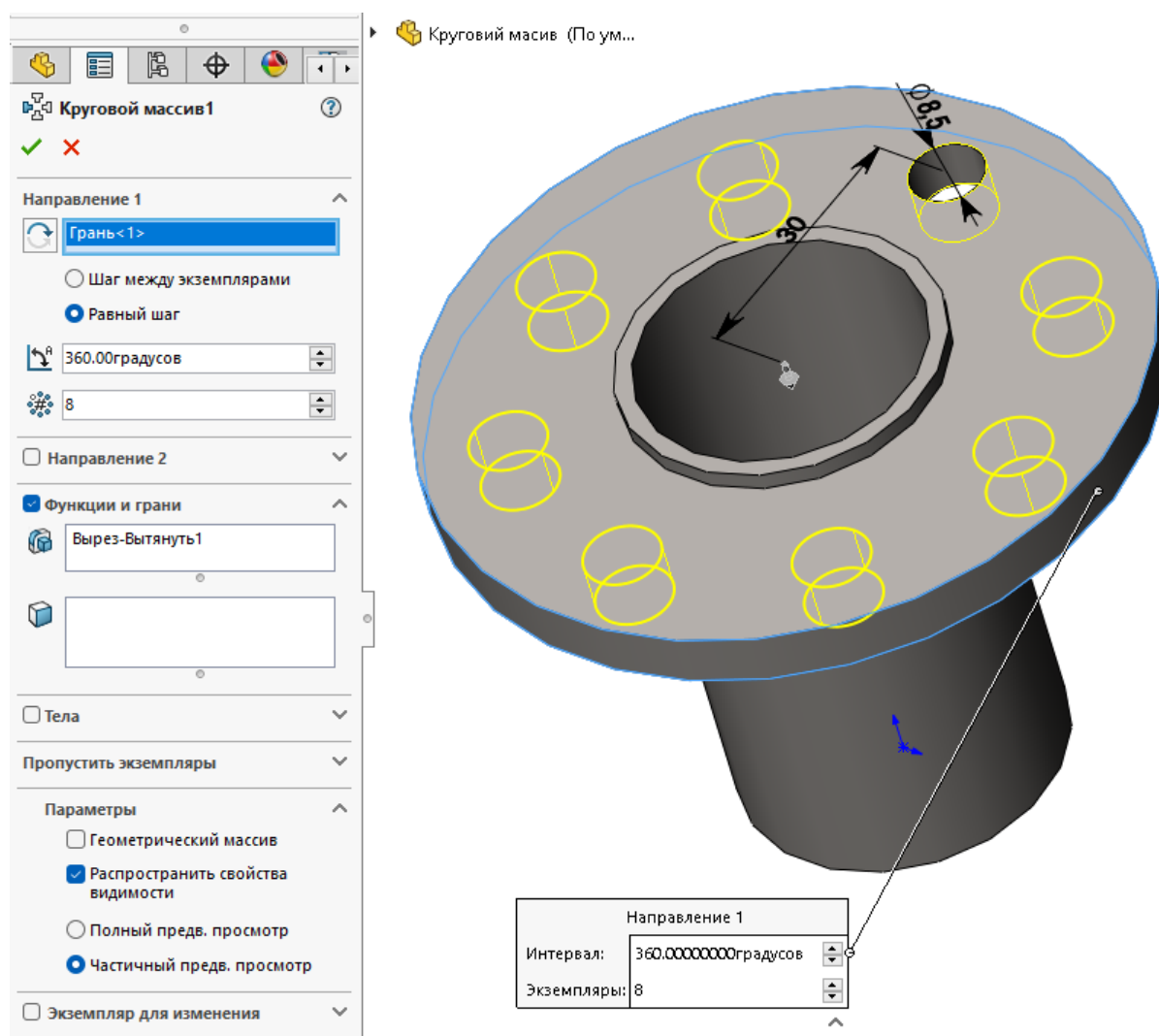


Рис. 59. Створення кругового масиву

На рис.59 представлена панель *Менеджера свойств* при виконанні операції «*Круговой массив*». Потримайте вказівник миші над елементами управління менеджера властивостей для того, щоб дізнатися призначення кожного елемента.

Круговой массив призначений для створення подібних геометричних об'єктів, розташованих по колу. Круговой массив 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.

- По-перше, кругової масив не має напрямків. Замість них використовується поняття «*Массив осі*». 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»

На рис.60 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.

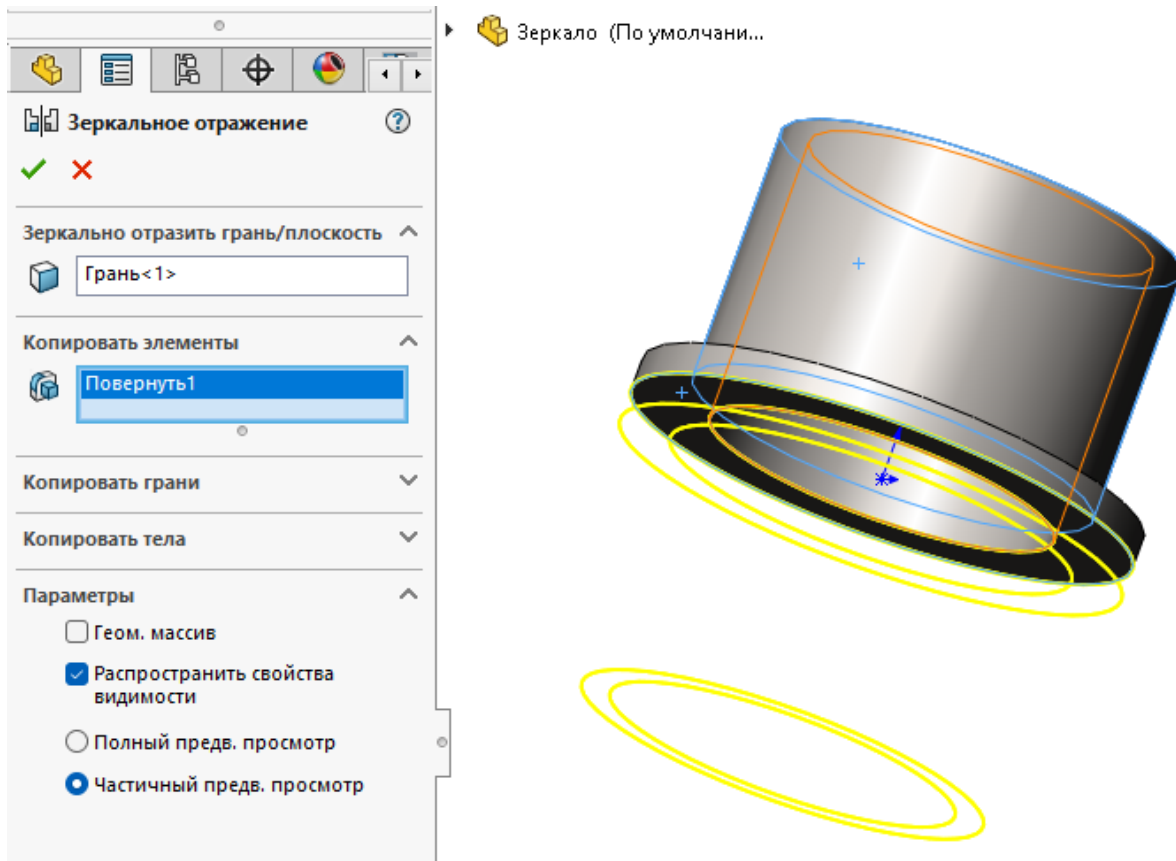


Рис. 60. Формування зеркального відображення елемента

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 **OK**.

Лекція 10. 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, одягнуною на банку. Іншими словами, зборка - це сукупність моделей, між якими встановлені певні просторові взаємозв'язки (спряження).

Документи зборки мають розширення .sldasm.

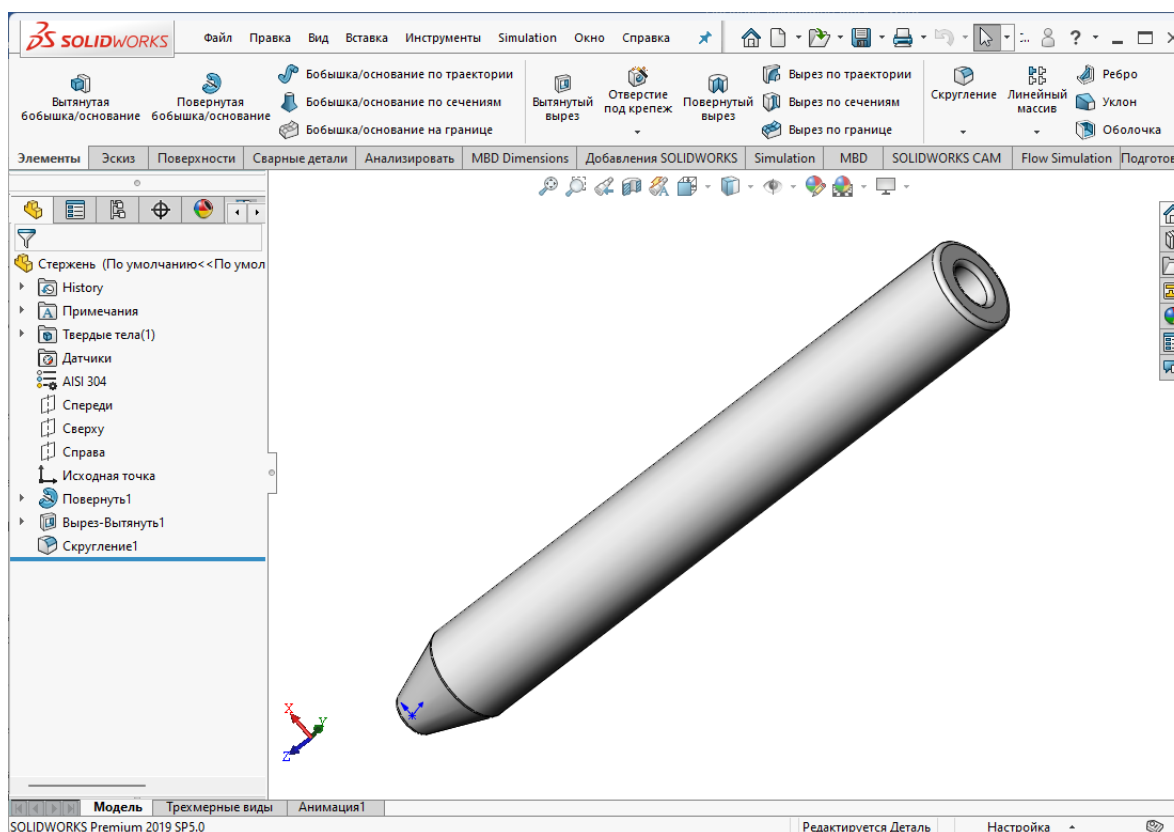


Рис. 61. Стержень.

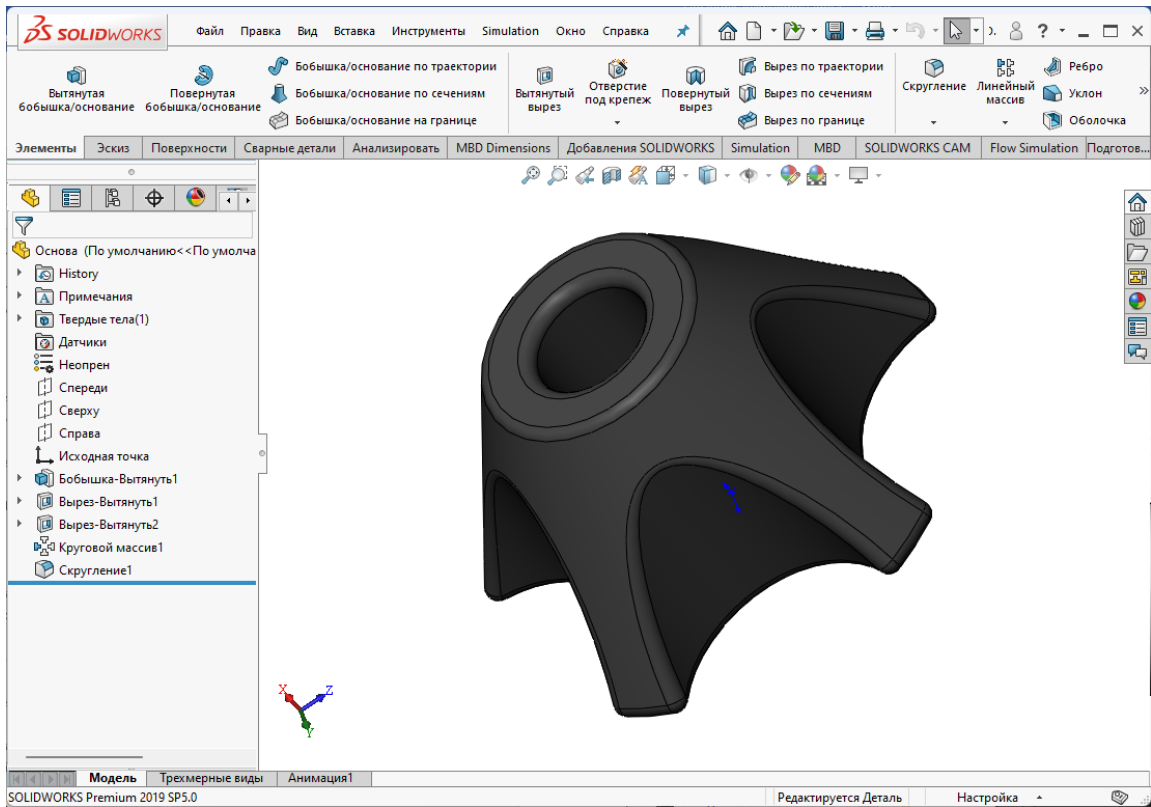


Рис. 62. Основа.

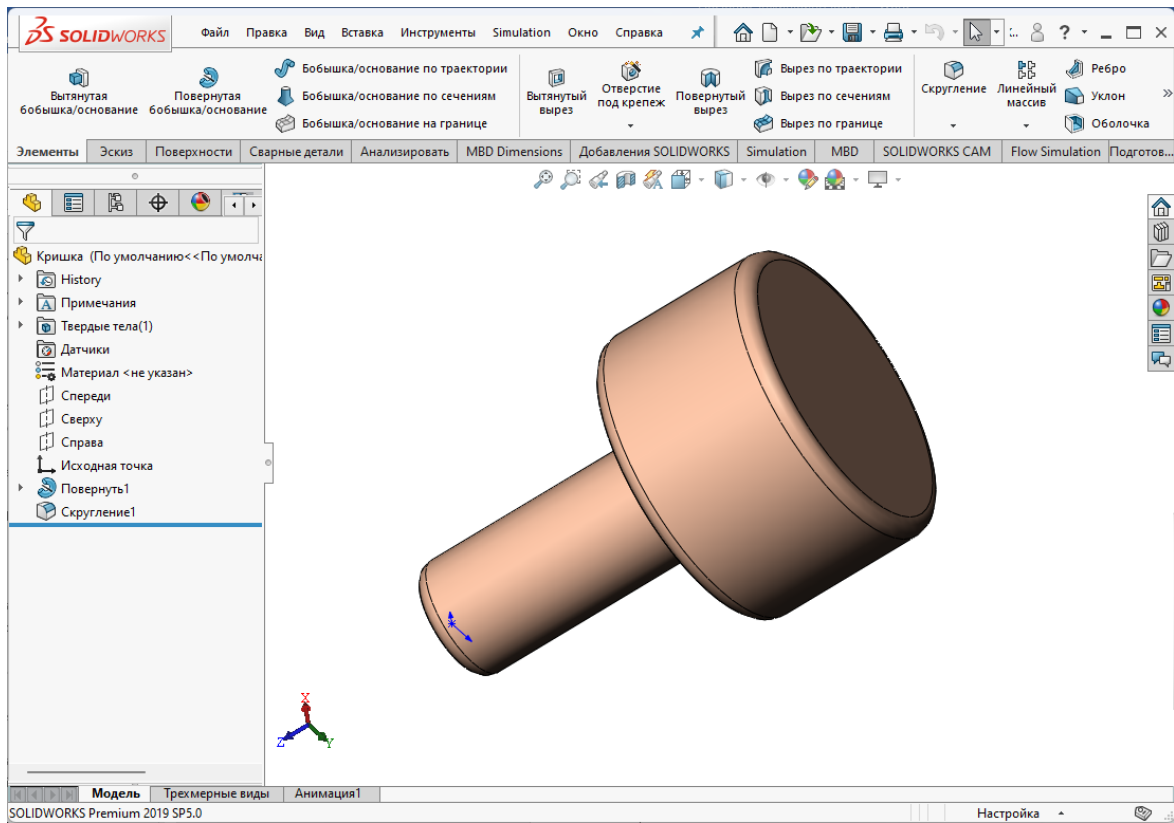


Рис. 63. Пробка.

Треба відзначити, що всередині файлу зборки не містяться деталі, що входять в зборку, в ньому зберігаються шляхи, що ведуть до файлів моделей, розташованих 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.

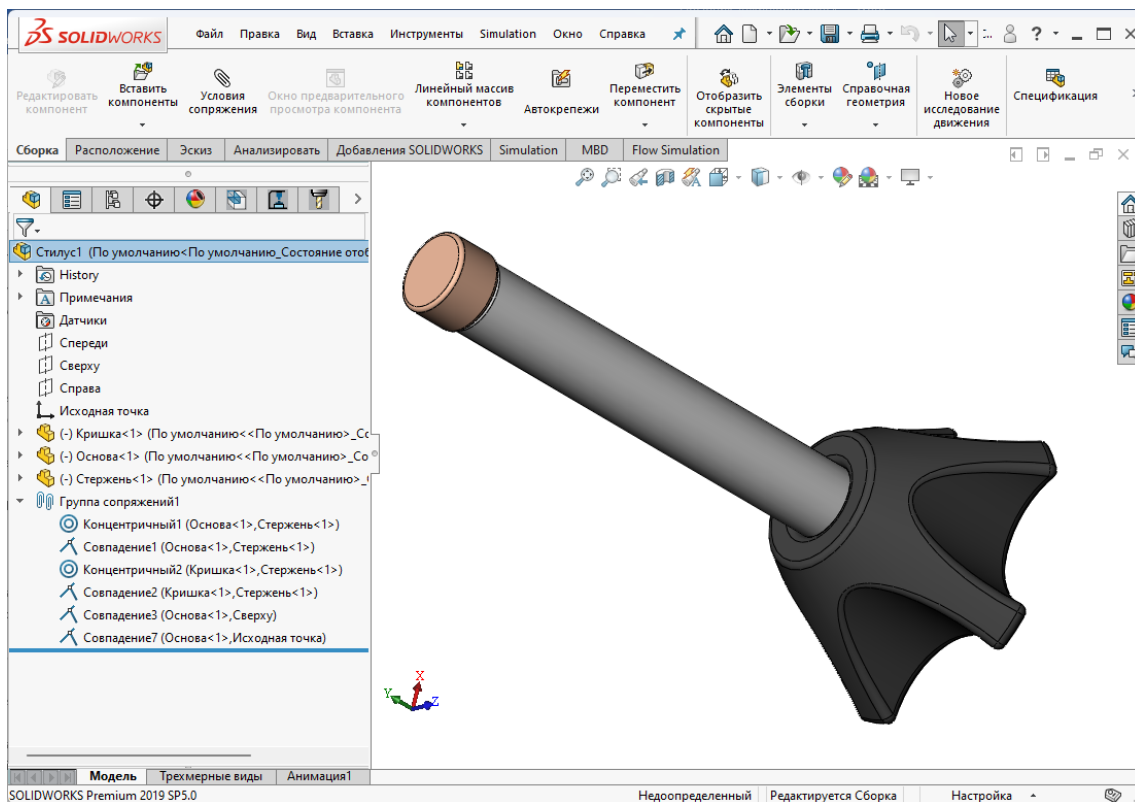


Рис. 64. Збірка із трьох елементів (основа, стержень, пробка).

Припустимо, ми хочемо створити зборку, що складається з трьох раніше створених моделей, як показано на рис.64.

Створимо новий файл зборки: «**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 зборки. Це один із способів додавання компонентів у зборку.

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

Крім цих, найрозповсюдженіших способів додавання компонент у зборку, 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 -> Автокріпежи**».

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

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

Панель інструментів «Зборка»

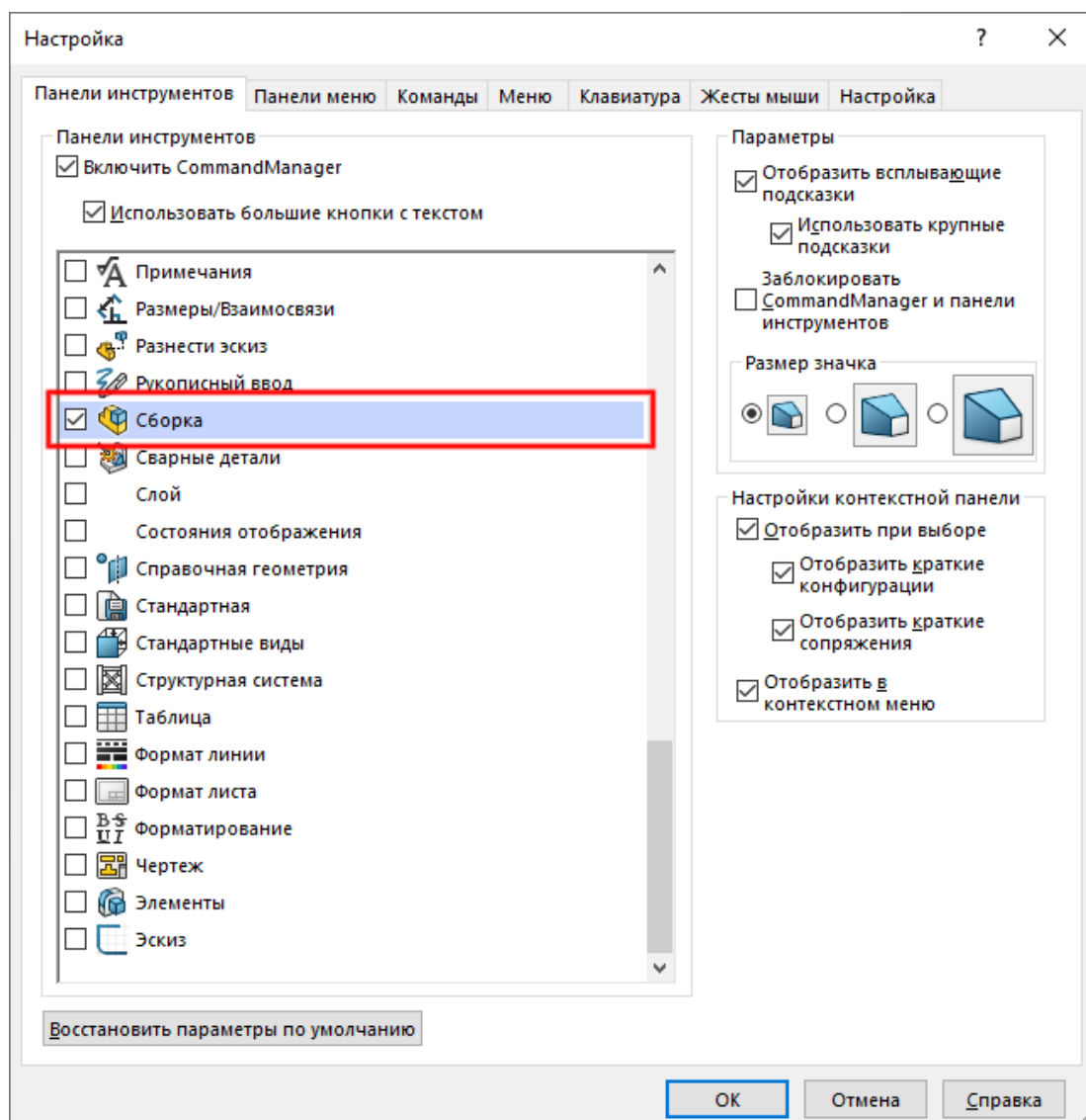


Рис. 65. Налаштування панелі інструментів «Сборка».

Щоб відобразити панель інструментів «Сборка» необхідно увійти в пункт меню **«Инструменты -> Настройка»**, вибрати вкладку **«Панель инструментов»** і поставити галочку навпроти слова **«Сборка»** (див. рис. 65). 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.

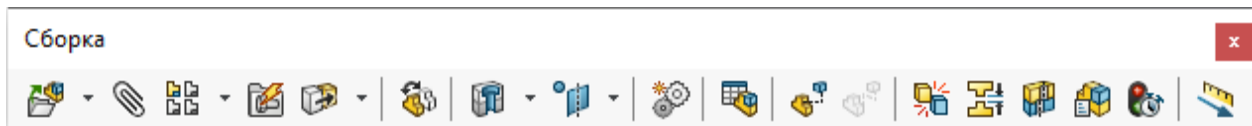


Рис. 66. Панель інструментів «Сборка».

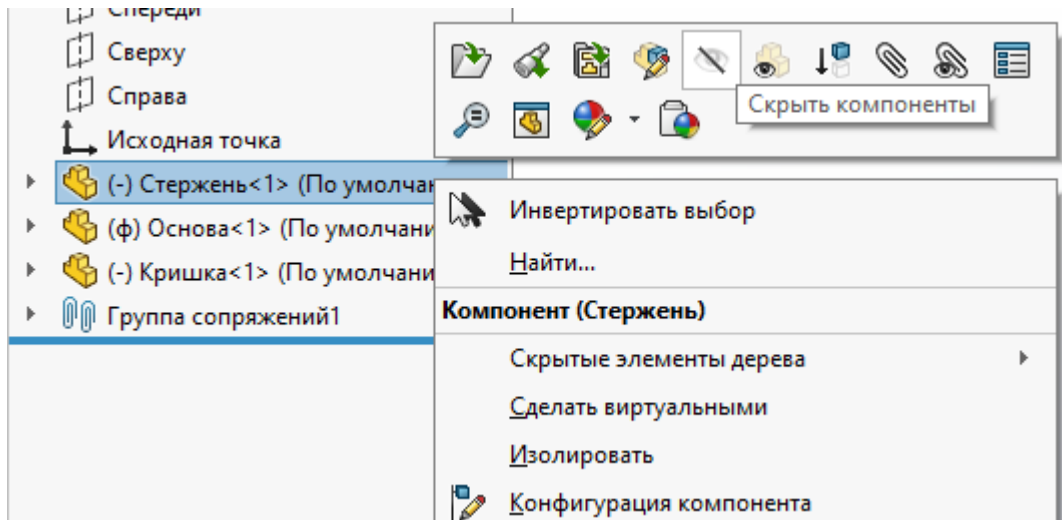


Рис. 67. Приховування/відображення елементів збірки.

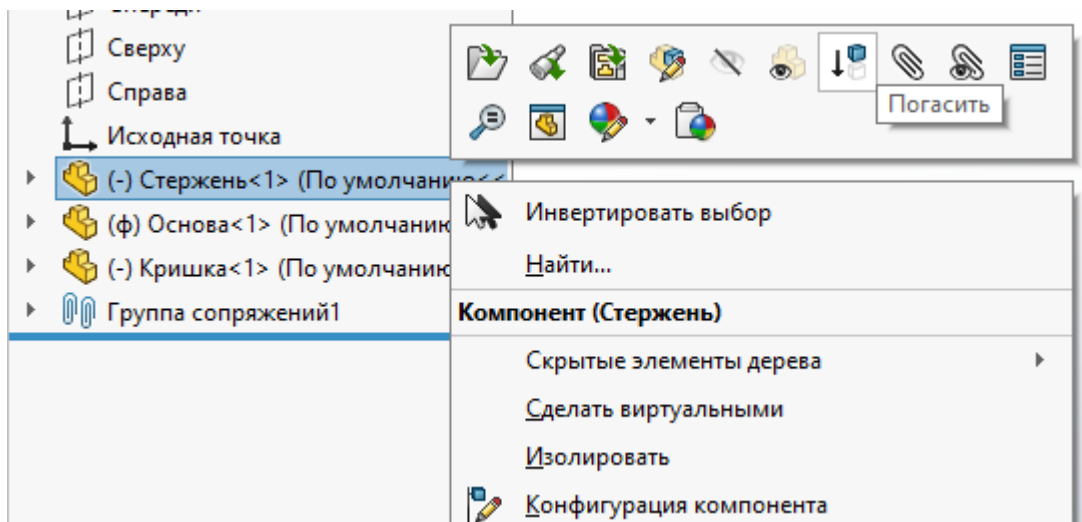



Рис. 68. Погашення/висвітлення елементів збірки

«Скрыть/отобразить компонент» зручний інструмент 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.

Інструмент **«Погасить/высветить»** задіюють, коли один із компонентів (це може бути не обов'язково фрагмент зборки, а також фрагмент побудови деталі) треба деактивувати (вимкнути) без видалення. Тоді погашений компонент не завантажується в пам'ять і перестає бути функціональною частиною зборки. Погашений компонент невидимий і вибирати його елементи не можна. Він видалається 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 погашені 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.

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.

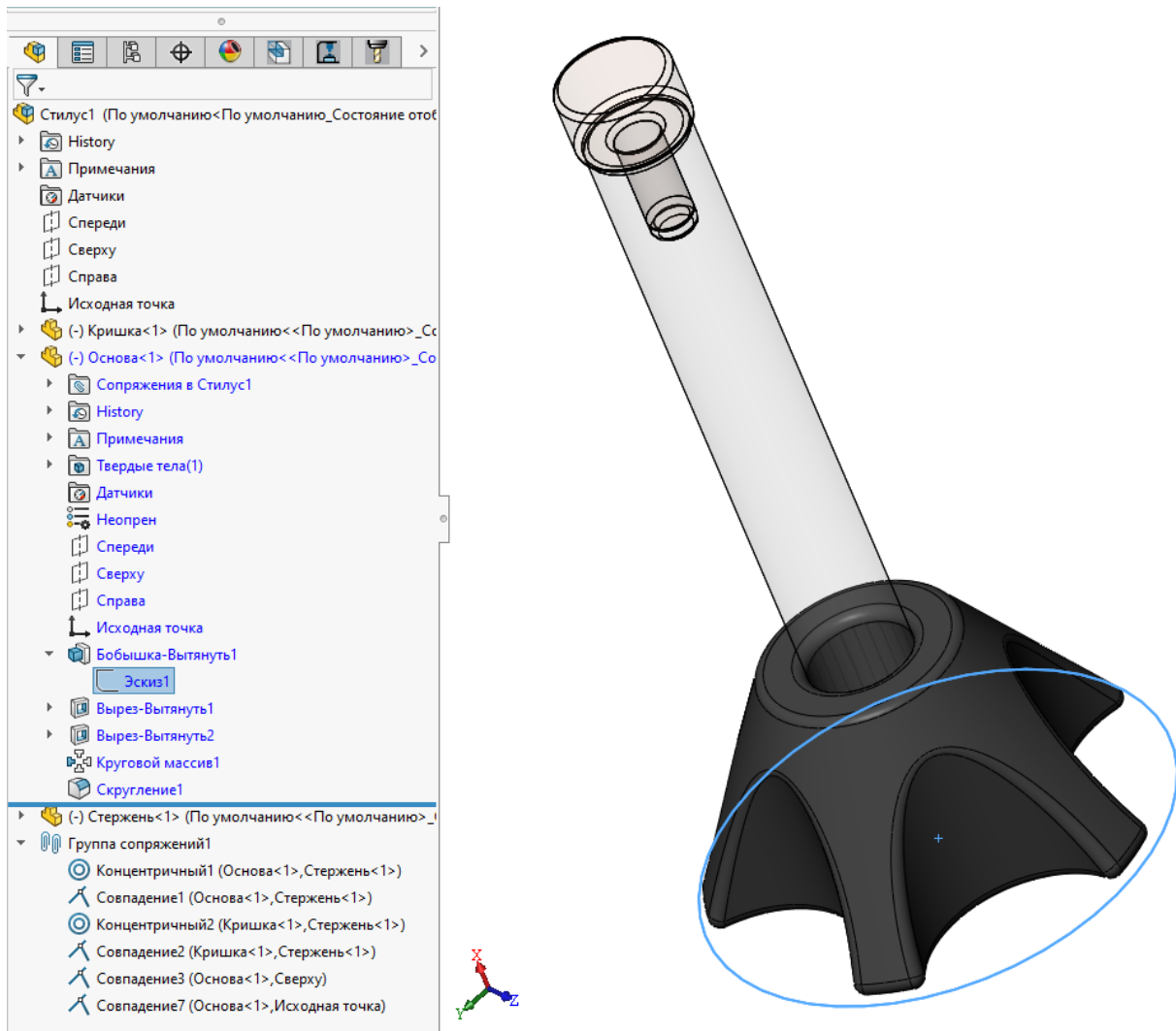


Рис. 69. Представлення деталей у зборці

Редагування деталі в зборці 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 компонента». Перебуваючи в режимі редагування, ви бачите всю зборку цілком. При зміні компонента в зборці, автоматично

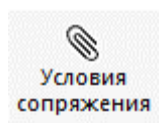
змінюється і файл цього компонента. Більш того, якщо одночасно зі складанням в іншому вікні відкритий цей компонент, то він також зміниться.

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**»



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 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.

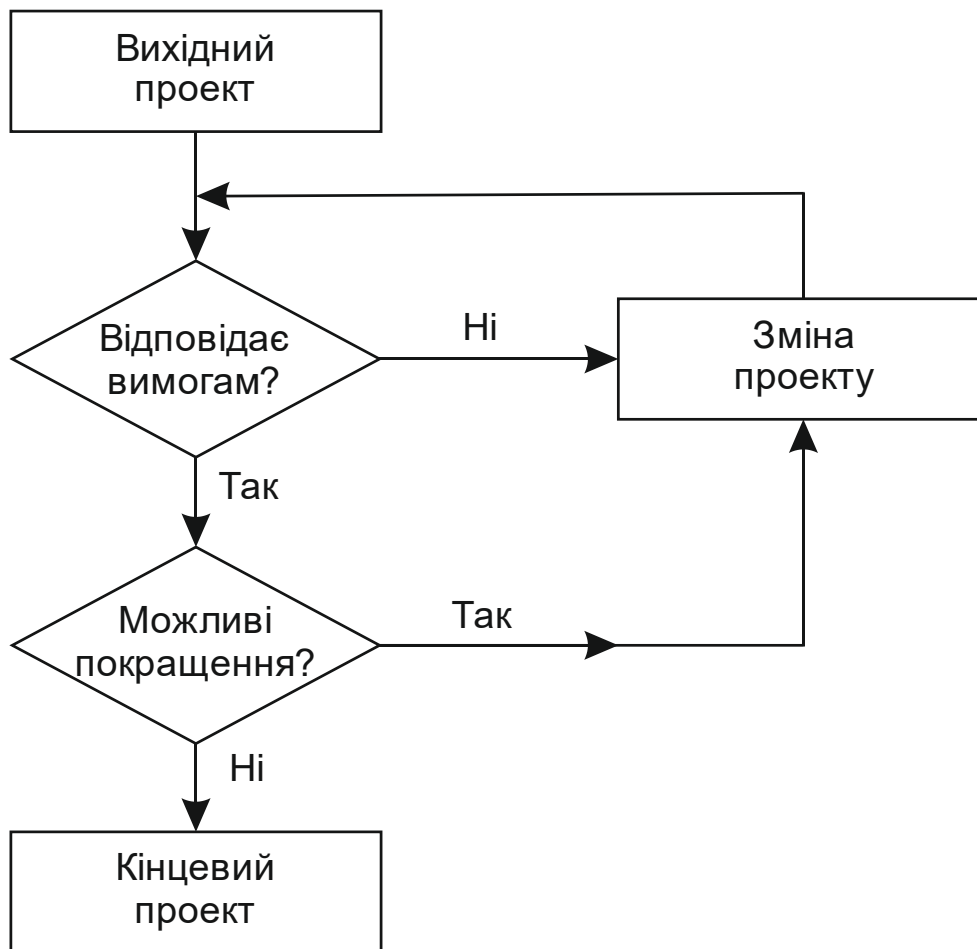


Рис. 70. Схема циклу проектування.

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.

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 а 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 а 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**.

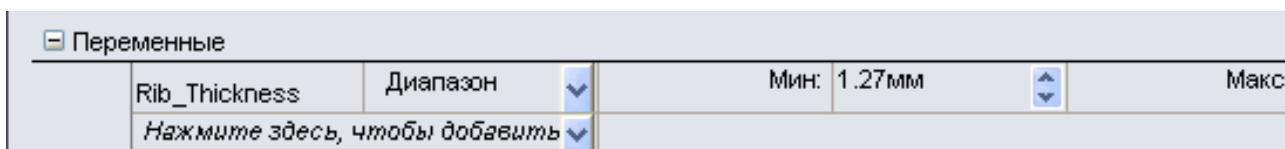

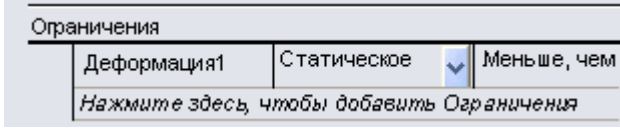


Рис. 71. Змінні у оптимізаційному дослідженні

Таблица 1.

Обмеження при оптимізаційному дослідженні

<p>Дерево конструирования FeatureManager</p>	<p>Вкладка «Исследование проектирования»</p>
	

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.

- **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 визначаєте 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.

Планування оптимізаційного дослідження

<i>Кількість розрахункових параметрів (для безперервних змінних)</i>	<i>Высокое качество</i>	<i>Быстрые результаты</i>
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

У таблиці вище наведено кількість ітерацій для методів швидкого отримання точних результатів для безперервних змінних (параметр *Диапазон*). У програмі використовується квадратичний метод *Box-Behnken* при налаштуванні *Высокое качество* і квадратичний метод *Rechtschafner* для настройки *Быстрые результаты*. Хоча метод *Rechtschafner* виконує певні попередні обчислення, які не потрібні для *Box-Behnken*, потрібно провести кілька пробних прогонів, щоб сформувавши функцію відгуку і виконати оптимізацію.

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 відобразіть результати в графічному вікні.



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

Таблица 3.

Обработка результатов исследования

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 Высокое качество, 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 конструктивних рішень є важливим науково-технічним завданням, яке в кінцевому результаті значною мірою впливає на реалізацію і подальшу експлуатацію інженерної конструкції. На даний для постановки і вирішення завдань у галузі механіки широко застосовується методи кінцевоелементного аналізу, які дозволяють працювати з геометричними, механічними, теплофізичними та іншими чинниками. Процес виходу на кінцеві конструктивні рішення зазвичай реалізують у декілька ітерацій, тому важливою є параметризація поставлених завдань, що дозволяє зменшити його рутинність і зробити більш творчим.

Виділяють *три основні підходи до завдання такої параметризації*, вибір між якими обумовлено наявними програмно-апаратними засобами.

1. *Програмний комплекс із інтегрованою CAD - CAE системою кінцевоелементного моделювання, з можливим застосуванням зовнішнього програмного оптимайзера.*

Таке рішення вважається найбільш ефективним (реалізовано в пакетах Simulia і SolidWorks фірми Dassault System). Проте в цьому випадку необхідно мати у розпорядженні потужні обчислювальні апаратно-програмні комплекси. Завдання параметризації реалізують у CAD середовищі системи шляхом формування групи параметрів, які визначають геометрію формоутворюючих сплайнів NURBS. По тому CAD модель трансформують у кінцевоелементний формат, виконують постановку задач механіки, обчислюючи при цьому цільовий функціонал та обмеження. Отримані результати обробляють інтегрованим чи зовнішнім оптимайзером, який дозволяє встановити нові значення параметрів конструкції, які передаються у CAD програму.

2. *Перебудовування кінцевоелементної сітки при ітераціях інтегрованими засобами системи МСЕ моделювання.*

У цьому випадку опис геометрії конструкції виконують у формі скрипта шляхом створення послідовності залежних від значень ряду параметрів операторів, які чітко встановлюють допустимі зміни геометрії конструкції у процесі оптимізації. Перестроювання сітки новоствореної геометричної форми також задається послідовністю скриптів, які можуть бути залежними чи незалежними від параметрів дизайну. Наступні кроки алгоритму оптимізації є аналогічними описаному вище.

3. *Параметризовані геометрія і метод деформованої сітки.* Цей метод передбачає деформацію (рух елементів сітки без порушення її топології) сформованої сітки відповідно до заданих умов. Ці умови представляють собою рішення рівнянь деформованої сітки. 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

В інженерній практиці часто має місце завдання розроблення конструкції і виготовлення деталей і вузлів з мінімальною масою, але потрібних габаритів і достатньої міцності. У функціоналі *SolidWorks Simulation* передбачено інструментарій для топологічної оптимізації деталей, у процесі якої вирішується завдання зниження матеріаломісткості деталі при забезпеченні допустимого рівня міцності.

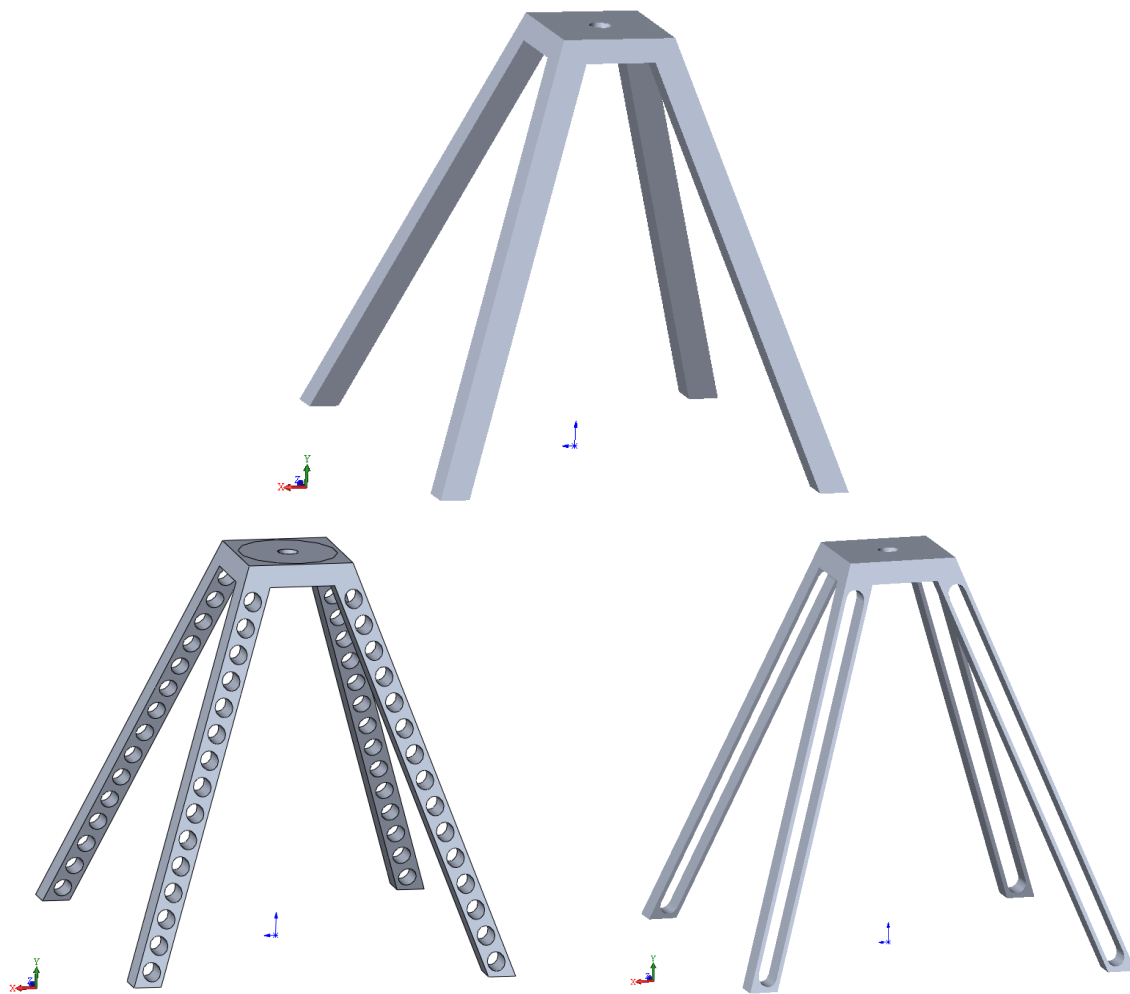


Рис. 72. Опора

Розглянемо завдання топологічної оптимізації для виготовленої з дюралевого сплаву 2024 чотиринової опори. Опора повинна витримувати вантаж масою 30 кг. Для спрощення при виконанні розрахунків з невеликим запасом приймемо діюче зусилля розміром 300Н. Опора у монолітному виконанні матиме масу 221,86 г.

За умови нерухомо зафіксованих опор при попередньо встановленому навантаженні 300Н максимальне напруження у опорі монолітної конструкції складатиме $4,3\text{E}+06$ Па при межі текучості $7,6\text{E}+07$ Па. Мінімальний коефіцієнт запасу міцності складає 17,5.

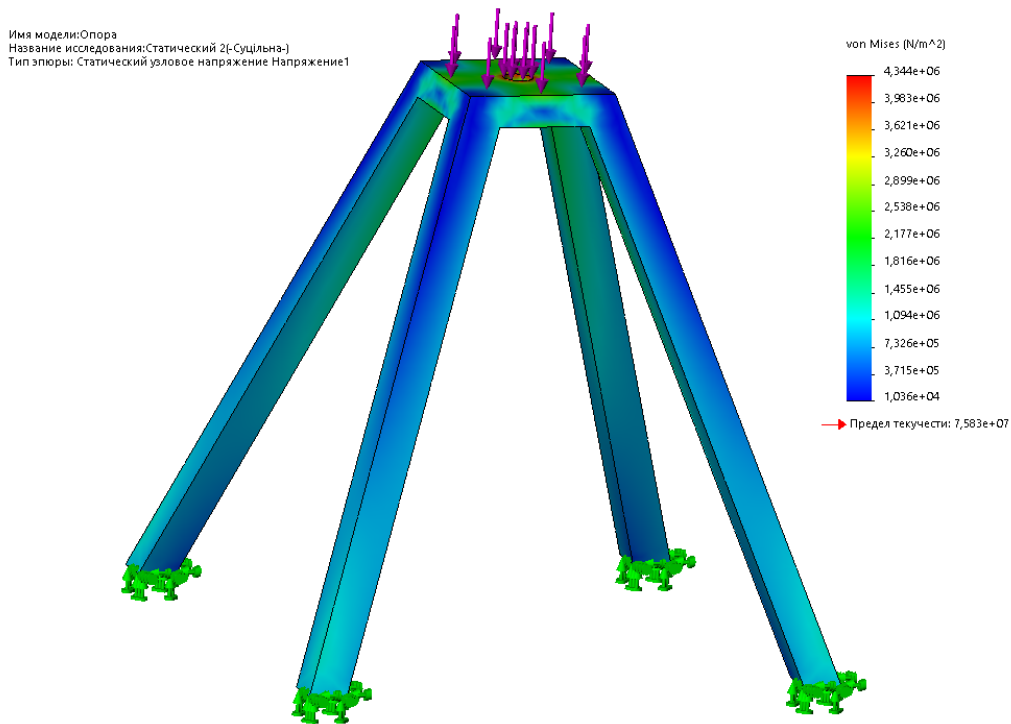


Рис. 73. Статичний розрахунок монолітної опори на міцність.

Коли стоїть завдання максимальної економії маси, проектувальники зазвичай здійснюють вибірку матеріалу всюди, де це можливо без завдання критичної шкоди міцності і надійності виробу.

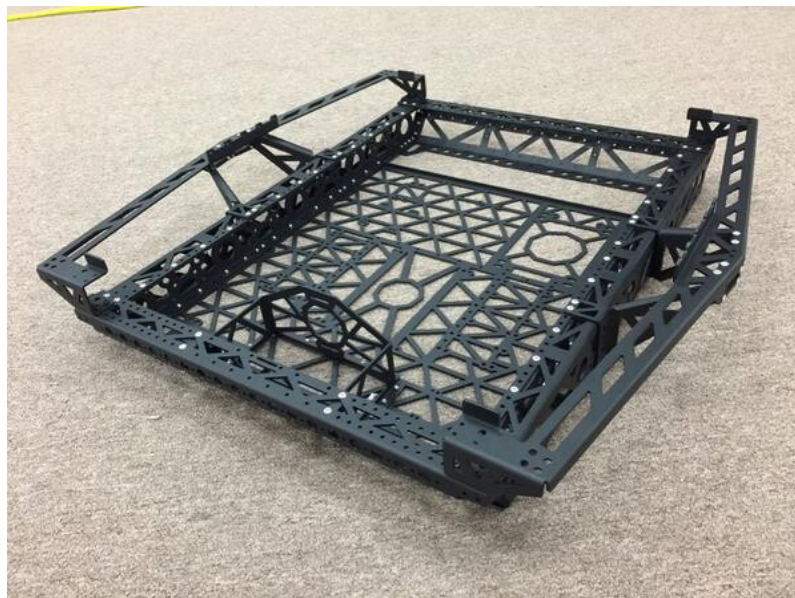


Рис. 74. Застосування вибірки матеріалу для зменшення маси конструктивного елемента

Имя модели: Опора
Название исследования: Статический 2(-Суцільна-)
Тип эпюры: Статический узловое напряжение Напряжение1

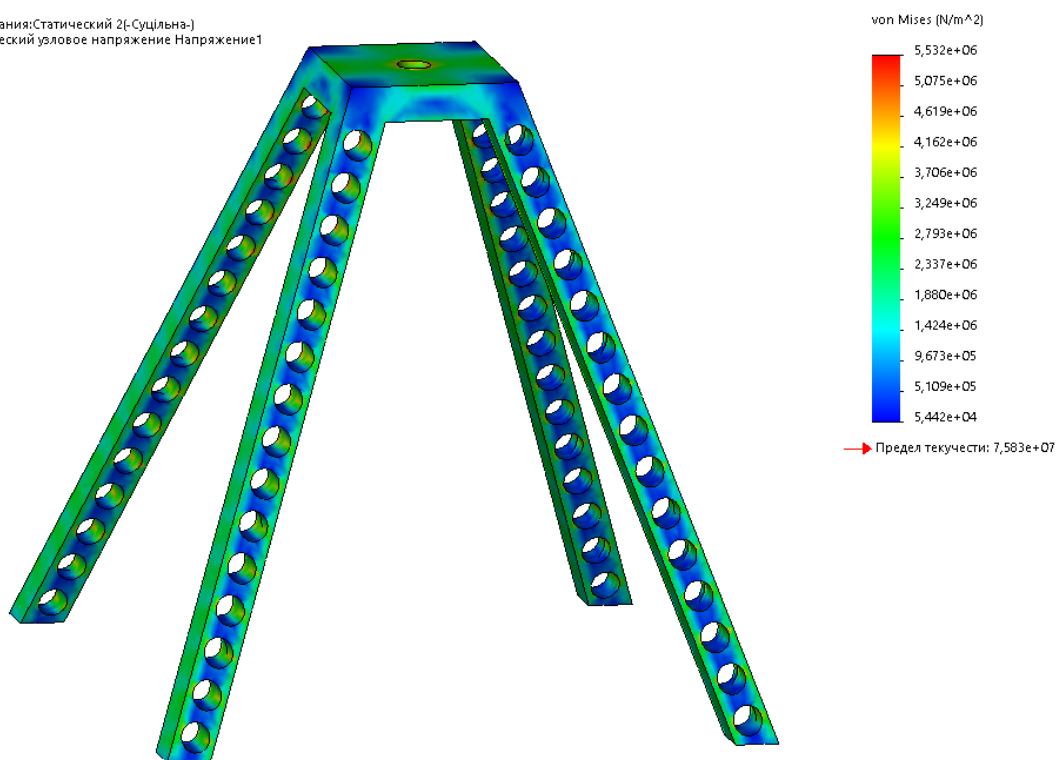


Рис. 75. Статичний розрахунок перфорованої опори на міцність.

Для початку спробуємо досягнути зменшення маси за рахунок перфорування ніжок опори. Маса запропонованої конструкції становитиме 153,07 г. За результатами статичного міцнісного розрахунку при аналогічному навантаженні 300Н максимальне напруження у опорі монолітної конструкції складатиме $5,5\text{E}+06$ Па при допустимому $7,6\text{E}+07$ Па. Як бачимо, максимальне напруження зросло на 28% при зменшенні маси на 31% при збереженні запасу міцності 13,7. Таким чином, є ще досить значний потенціал для зменшення маси.

Для таких випадків *SolidWorks* Simulation має досить потужний інструмент – дослідження топології (як правило, з метою подальшої оптимізації).

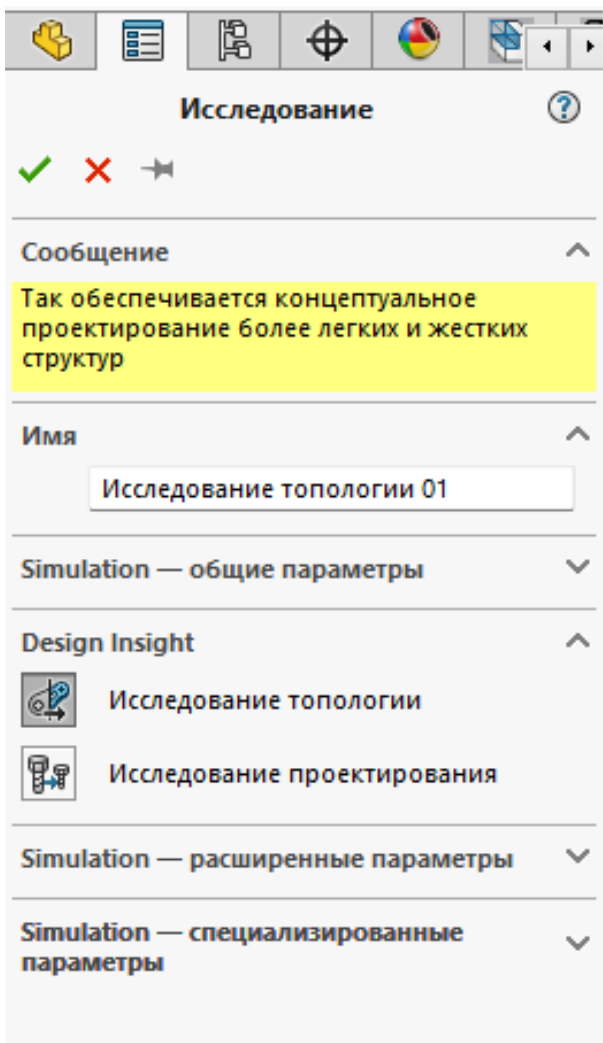


Рис. 76. Створення топологічного дослідження

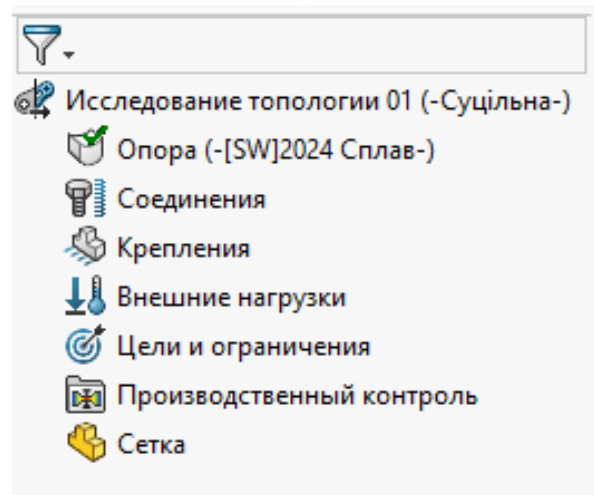


Рис. 77. Дерево формування топологічного дослідження

В процесі дослідження топології, як і при статичних розрахунках, необхідно уточнити матеріал (за необхідності), вказати з'єднання (теж за необхідності), задати кріплення, діючі зовнішні навантаження і сформувати сітку. Є й принципові відмінності від статичного розрахунку, обумовлені метою виконуваного дослідження. Це задання цілей і обмежень і встановлення вимог виробничого контролю.

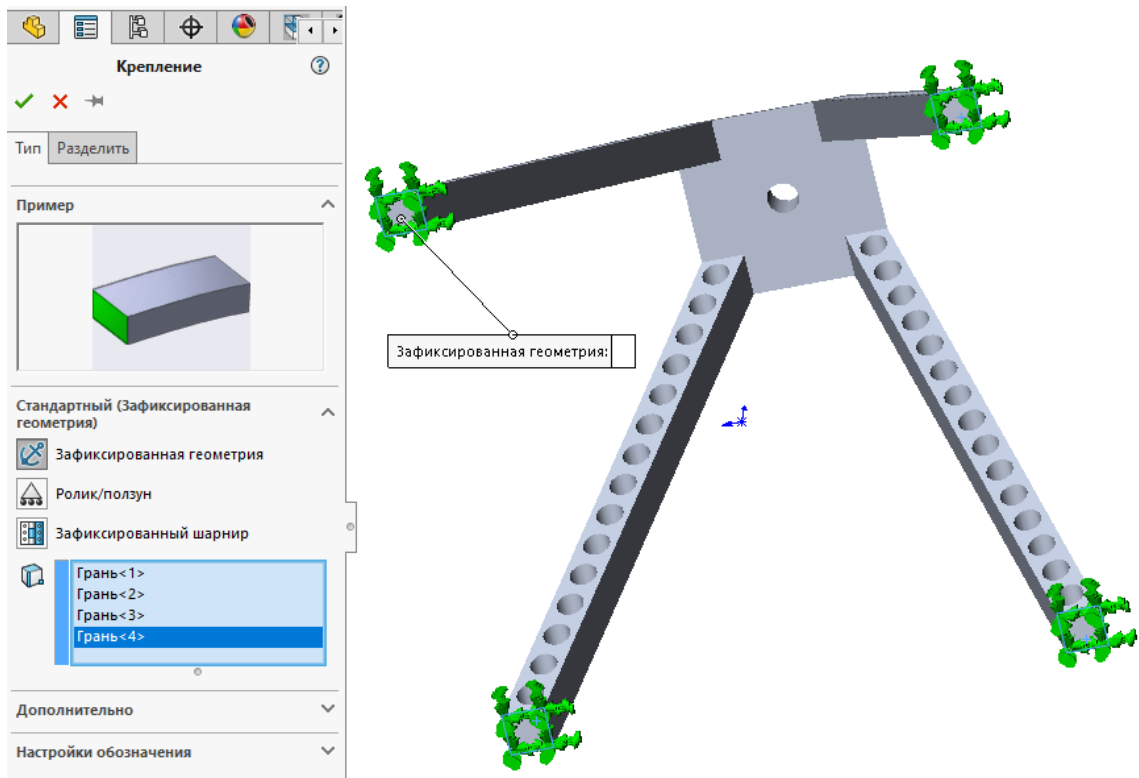


Рис. 78. Встановлення типу кріплення для ніжок опори.

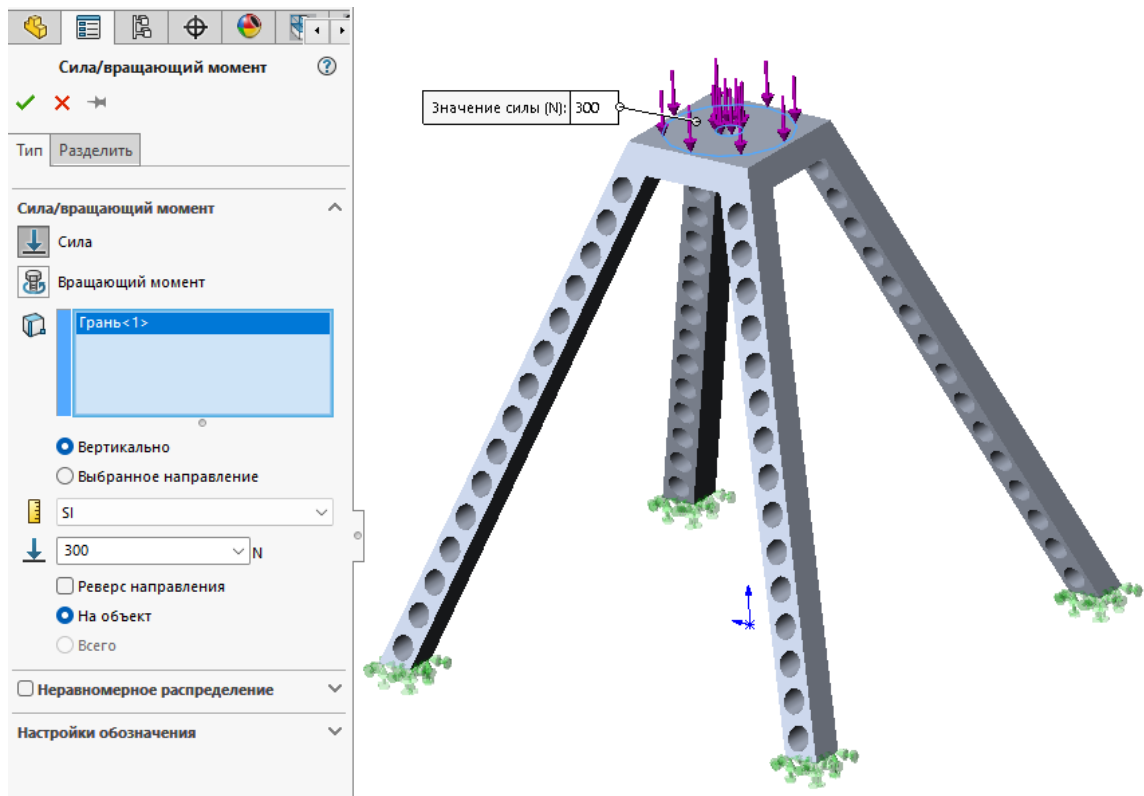


Рис. 79. Встановлення діючого зусилля на площадку опори.

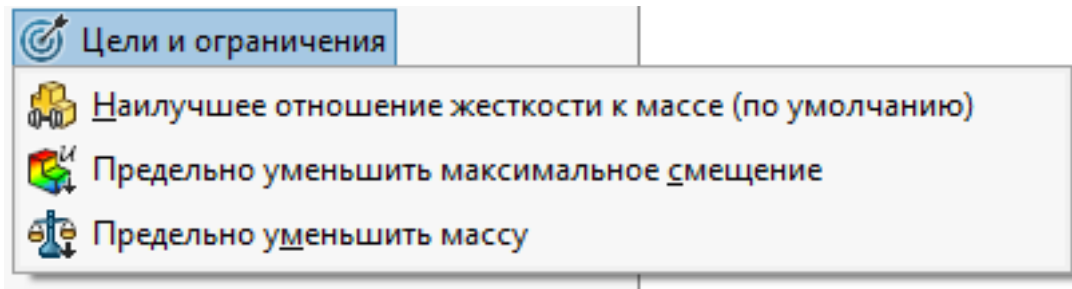


Рис. 80. Доступні при дослідженні топології цілі і обмеження

При формуванні цілей і обмежень доступними для дослідження опціями є: найкраще відношення жорсткості до маси, мінімізація максимального зміщення і граничне зменшення маси. У нашому випадку поставимо мету 40% зменшення маси при збереженні запасу міцності 1,25.

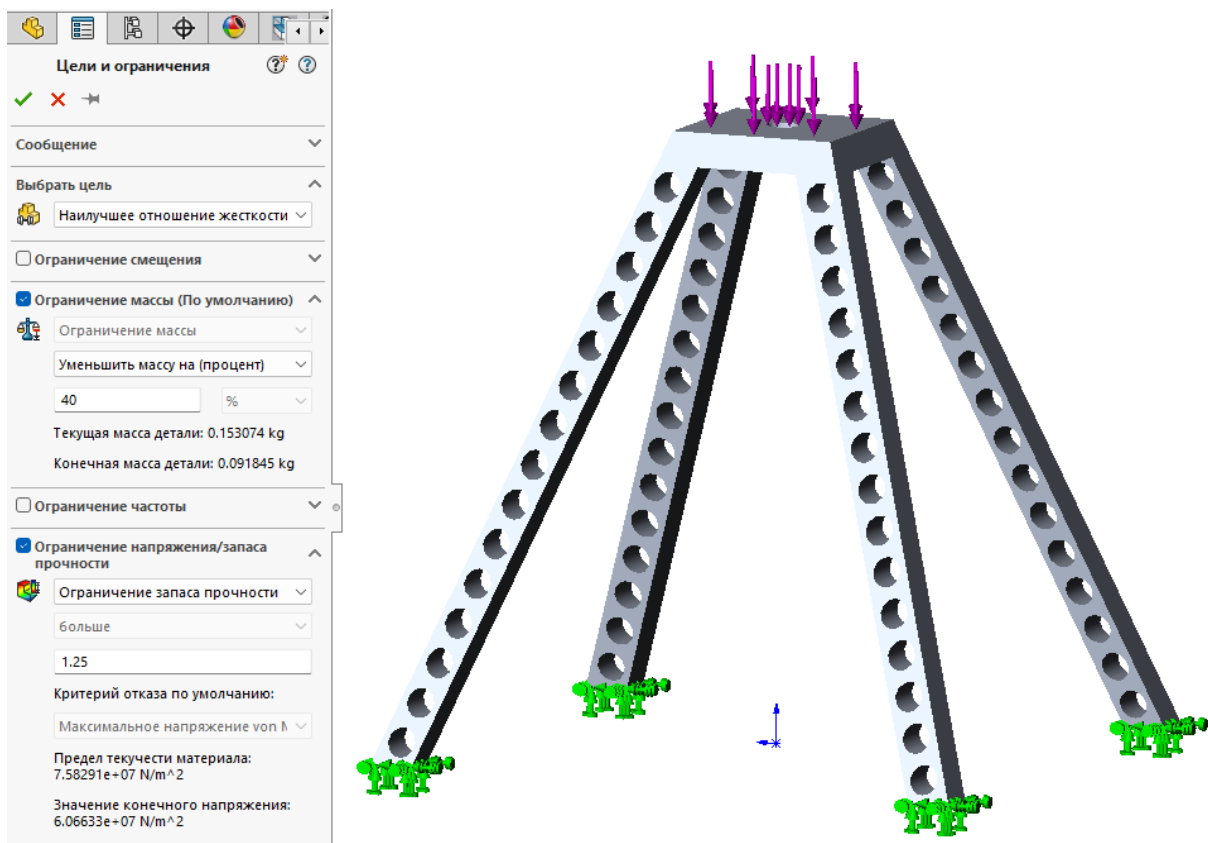


Рис. 81. Формування цілей і обмежень для дослідження топології опори з перфорованими ніжками.

Опції виробничого контролю дозволяють блокувати від оптимізації певні ділянки конструкції, обмежувати на потрібних ділянках значення їх мінімальної

і максимальної товщини, накладати пов'язані із вивільнення з прес-форм обмеження для пресованих елементів, а також керувати симетричністю оптимізованих елементів. До оптимізованого проекту можна застосувати половину, чверть або одну восьму площинної симетрії.

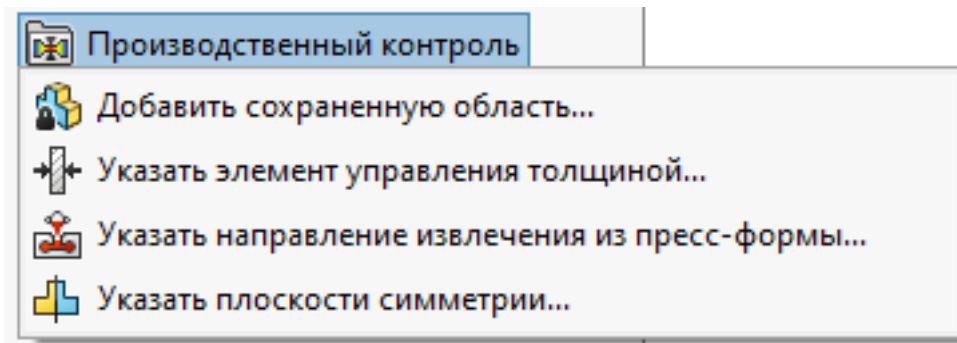


Рис. 82. Доступні опції виробничого контролю при дослідженні топології

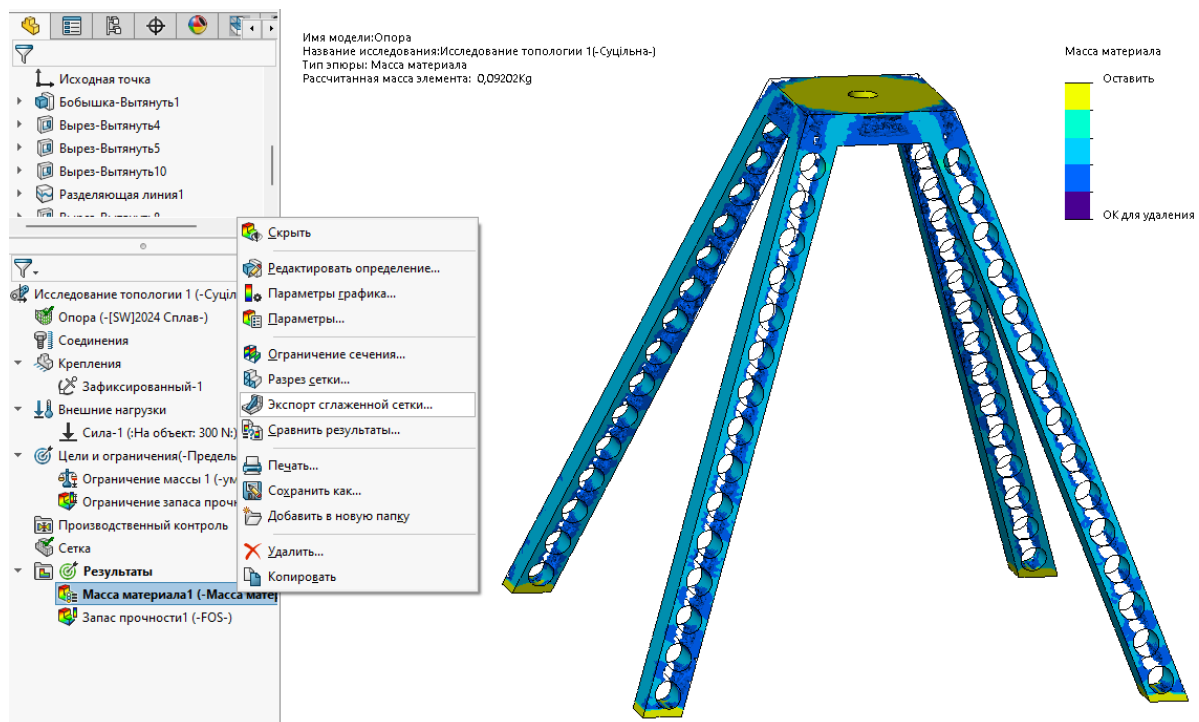


Рис. 83. Экспортирование детали в тело сетки за данными эпюры маси материала

Результатом розрахунків з дослідження топології у Solidworks Simulation є епюра маси матеріалу із пропозиціями щодо усунення частини матеріалу, а також епюри напружень, переміщень, деформацій тощо.

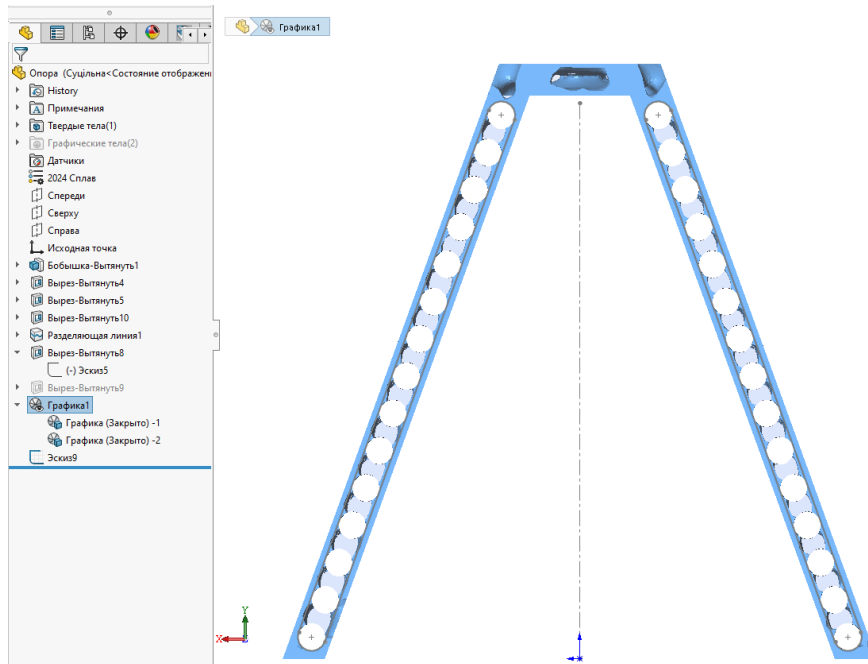


Рис. 84. Результат експортування деталі в тіло сітки, отриманої в процесі оптимізації топології.

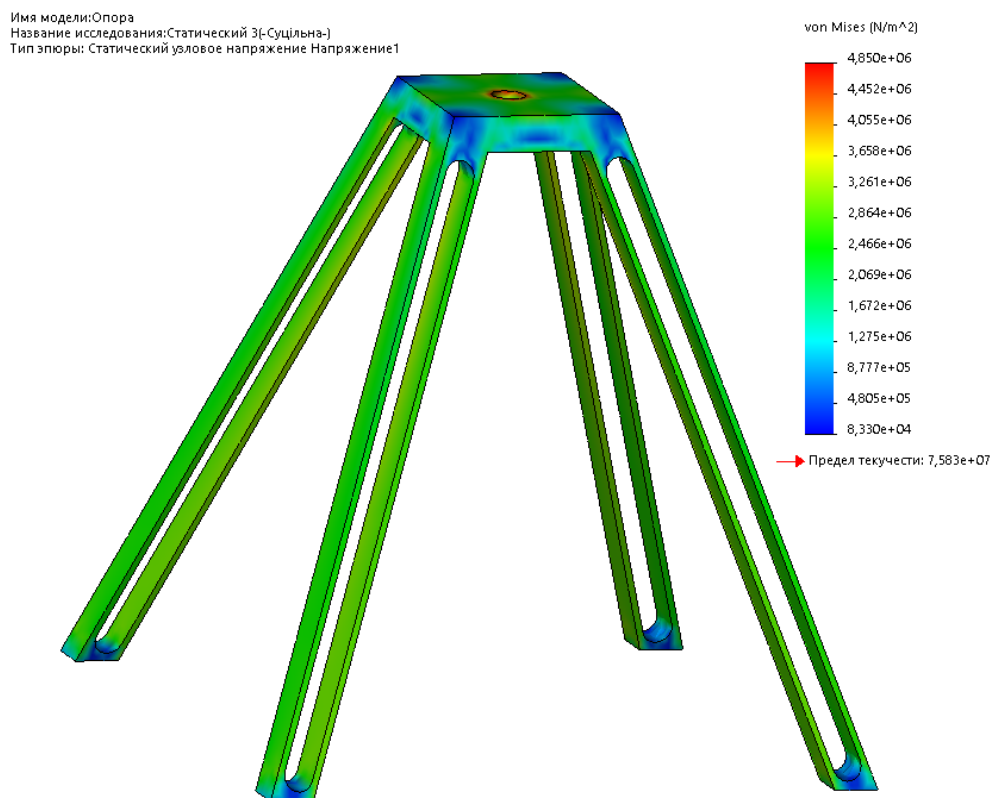


Рис. 85. Статичний розрахунок оптимізованої конструкції опори на міцність.

Для подальшої роботи експортуємо деталь в тіло сітки. Далі ми можемо використати сітку для роботи з геометрією виробу, зазвичай як шаблон для вибірки матеріалу. На цьому етапі зазвичай роблять вирізи, додають заокруглення і додаткові геометричні елементи, перевіряючи їх вплив на запас міцності.

Виберемо матеріал між отворами перфорації, сформувавши пази вздовж ніжок, і виконаємо перевірковий статичний розрахунок для отриманої конструкції опори. В отриманій конструкції максимальне напруження є дещо меншим, ніж у вихідному перфорованому варіанті ($4,9 \text{ E}+06 \text{ Па}$), невеликі переміщення ($8,9 \text{ E}-03 \text{ мм}$) і незначні еквівалентні деформації ($4,2 \text{ E}-05$). Коефіцієнт запасу міцності у допрацьованої конструкції опори складає 15,6. Таким чином, конструктивне виконання опори з полегшеними ніжками, з механічної точки зору, працюватиме навіть краще, ніж попередній варіант з перфорацією. Маса оптимізованої опори складатиме 100,48 г, що на 34% менше від варіанту з перфорованими ніжками і на 55% менше від монолітного конструктивного рішення.

Глосарій

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): Одиничний 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.

Архітектура (architecture): Фундаментальна організація системи, втілена в її компонентах, взаємодіях цих компонентів один з одним і з середовищем, а також принципи, що визначають її побудову та розвиток.

Архітектурна концепція (design concept): Фундаментальна ідея, яка може бути використана для проектування системи.

Базова конфігурація (baseline): Специфікація або продукт, які були розглянуті та узгоджені зацікавленими сторонами, щоб згодом служити основою для подальшого розвитку, і які можуть бути змінені лише із використанням офіційних та контрольованих процедур змінами.

Базовий метод (base practice): Послідовність дій, постійне здійснення яких сприяє досягненню заданої мети процесу.

Базовий план виконання вартості (cost performance baseline): Особливий варіант поетапного бюджету, який використовується для порівняння фактичних витрат із запланованими витратами з метою визначення необхідності профілактичного або коригувального впливу для забезпечення досягнення цілей проекту.

Бюджет (budget): Затверджена оцінка вартості проекту чи будь-якого компонента структури.'

Бюджет після завершення робіт; ВАС (budget at completion): Сума всіх бюджетів роботи, яка має бути виконана за проектом, для за будь-якого компонента структури робіт або за будь-якою запланованою діяльністю. Загальна запланована вартість проекту.

Значима причетна сторона (relevant stakeholder): Зацікавлена сторона, яка визначена для участі у цій діяльності та включена до плану.

Варіація витрат; CV (cost variance): Показник результативності витрат на реалізацію проекту, що є різницею між плановою собівартістю і фактичними витратами.

Договір (contract): Юридично зобов'язуюча угода, яка обумовлює послуги та умови між усіма сторонами.

Життєвий цикл (life cycle): Розвиток системи, продукту, послуги, проекту або інших виготовлених людиною об'єктів, починаючи зі стадії розробки концепції та завершуючи припиненням застосування.

Зацікавлена сторона (interested party), стейкхолдер (stakeholder): Особа або організація, які можуть впливати на здійснення діяльності або прийняття рішення, піддаватися їхньому впливу або сприймати в якості останніх.

Замовник (в області інжинірингу) (client): Особа чи організація, яким потрібні інжинірингові послуги і які відповідають за складання та затвердження технічного завдання.

Закупівлі (procurement): Процес складання, управління та виконання договорів, які відносяться до постачання товарів, послуг, проектних та будівельних робіт або ліквідації обладнання чи будь-якого поєднання зазначеного .

Будівля (building): Будівельна споруда, яка забезпечує укриття для його мешканців або майна як одне з основних його призначень; зазвичай має частково або повністю закриту конструкцію і проектується як окрема будівля для перебування постійно на одному місці.

Витрати (вартість) життєвого циклу продукції (life cycle cost): Загальні витрати на розробку, виготовлення, тестування, збут, експлуатацію, сервісну підтримку, утилізацію продукції та підготовку персоналу.

Інвестиція (investment): Виділення людських, фінансових та інших ресурсів задля досягнення поставленої мети та отримання інших вигод .

Індекс виконання вартості; CPI (cost performance index): Показник ефективності проекту з витрат, виражається відношенням освоєного обсягу до фактичних витрат.

Інженерно-консультаційні послуги (engineering and consultancy services): Професійні послуги в галузі інженерної справи, науково-дослідної, проектно-конструкторської, розрахунково-аналітичного, фінансово-економічного, виробничо-технологічного, інформаційно-технічного, організаційно-управлінського та контрольного-наглядового характеру, результати яких призначені для реалізації у сфері інжинірингу.

Інженер-консультант (consulting engineer): Професійний інженер, який здійснює індивідуальну підприємницьку діяльність у галузі інженерно-консультаційних послуг.

Інжинірингова діяльність (engineering activity): Економічна (господарська) діяльність фізичних та юридичних осіб у галузі інжинірингу.

Інжинірингові послуги (engineering services): Інтелектуальні завдання, вирішувані під час одного чи всіх етапів життєвого циклу будь-якого продукту, процесу чи споруди що професіоналами відповідної спеціалізації.

Ініціатор (initiator): Особа чи організація, яка має як можливість, і повноваження розпочати проект.

Інфраструктура (infrastructure): Необхідні для обслуговування потреб будівельні споруди, пов'язані з розвитком або функціонуванням суспільства, включаючи, наприклад, автодороги або залізниці, водовідведення, системи водопроводу та каналізації, енергомережі та мережі передачі даних.

Компроміс (trade-off): Дії щодо прийняття рішень, у ході яких здійснюється вибір із різних вимог та альтернативних рішень виходячи із кінцевої вигоди правовласників.

Кінцевий споживач (end consumer): Покупець, який використовує придбану ним продукцію відповідно до її споживчих властивостей.

Контракт (contract): Взаємно зобов'язуюча угода, погоджена замовником та постачальником, яка зобов'язує постачальника надати, а замовника оплатити продукцію.

Договір з відшкодуванням витрат (cost-reimbursable contract): Тип контракту, яким замовник здійснює оплату постачальнику фактичних витрат (відшкодовує їх йому), плюс винагороду, яка зазвичай є прибутком продавця.

Контракт з оплатою витрат плюс заохочувальна винагорода [cost-plus-incentive-fee (CPIF) contract]: Тип контракту з відшкодуванням витрат, яким замовник відшкодовує постачальнику його допустимі витрати (визначення допустимих витрат дається у контракті), і постачальник заробляє свій прибуток якщо забезпечує встановлені критерії роботи.

Контракт з оплатою вартості плюс встановлений прибуток [cost-plus-fixed-fee (CPFF) contract]: Тип контракту з відшкодуванням витрат, яким замовник

відшкодовує постачальнику його допустимі витрати (визначення допустимих витрат дається у контракті) плюс фіксована сума прибутку (винагорода).

Контроль (control): В управлінні процесами та системами , відстежування параметрів процесу (системи) з метою порівняння з встановленими вимогами та прийняття рішення щодо коригуючої дії, коли фактичний стан не збігається з необхідним.

Конструкція (об'єкта) (design architecture): Компонування конструктивних елементів, що надає конструкторське рішення для продукту чи процесу життєвого циклу, призначене для задоволення функціональної архітектури та вихідних вимог.

Конструктивна характеристика (design characteristic): Конструктивні параметри чи відмінні характеристики, що стосуються вимірюваного опису товару чи процесу.

Конфігурація (configuration): Компонування системи чи компонента, обумовлена кількістю, природою і взаємозв'язками її складових елементів.

Концептуальна модель (conceptual model): Модель концепцій, суттєвих для певної сфери діяльності.

Критерії (criteria): Стандарти, правила чи тести, у яких базується певне судження чи рішення або з допомогою яких можна оцінити товар, послугу, результат чи процес.

Нагляд (supervision or oversight): Спостереження за здійсненням процесу з метою недопущення відхилень від встановлених вимог без права втручання в управління процесом.

Незалежна експертиза; IV&V (independent verification and validation): Верифікація та валідація, що здійснюються організацією, яка з технічної, управлінської та фінансової точок зору незалежна від організації-розробника.

Незалежний (independent): Здійснюваний організацією без контролю із боку постачальника, розробника, експлуатанта чи персоналу супроводу.

Зобов'язання (commitment): Дія, що веде до виникнення обов'язку однієї чи кількох учасників угоди дотримуватися правило чи виконувати контракт.

Обмеження (constraint): Стримуючий чинник чи вимога цього типу, які обмежують проектне рішення чи реалізацію процесу проектування систем і не можуть бути зміненими підприємством.

Організація (organization): Особа або група людей, пов'язані певними відносинами, які мають відповідальність, повноваження та виконують свої функції для досягнення їх цілей.

Освоєний обсяг; EV (earned value): Реально виконаний обсяг робіт, зазначений у бюджеті проекту, рівний добутку долі виконання обсягу робіт проекту та запланованого бюджету проекту.

Передача (handover): Етап, на якому право володіння на будівельні роботи передається замовнику без застережень або з застереженнями.

Повноваження (authority): Право використовувати ресурси проекту, витратити кошти, приймати рішення та видавати дозволи.

Споживач (customer): Особа чи організація, які можуть одержувати чи одержують продукцію чи послугу, призначені чи витребувані цією особою чи організацією.

Постачальник (supplier), провайдер (provider): Організація, яка надає продукцію чи послугу.

Претензія (complaint): Вираження організації невдоволеності її продукцією чи послугою, чи безпосередньо процесом управління претензіями у ситуаціях, де явно чи неявно очікується відповідь чи рішення.

Підприємство (enterprise): Частина організації, яка відповідає за придбання та постачання продукції та (або) послуг відповідно до угод.

Купуюча сторона (acquirer): Правовласник, який купує чи отримує продукт або послугу від постачальника.

Промисловий об'єкт (industrial facility): Стаціонарне обладнання та/або споруди, які використовуються у зв'язку з будь-яким технологічним процесом чи системою для промислового виробництва або випуску продукції, або як їхня частина.

Проектування в межах заданої вартості (design-to cost): Проектування продукції, собівартість виробництва якої не перевищує заданої величини, за умови, що показники якості продукції зберуться не нижчими від заданого мінімального значення.

Продуктивність (productivity): Відношення результату процесу до трудових затрат на здійснення процесу.

Прототип (prototype): Попередній тип, форма або варіант продукції, що є моделлю для наступних етапів або для остаточної повної версії продукту.

Розробка (development): Процес життєвого циклу, який включає в себе заходи щодо формуванні вимог, проектування, створення, випробування та постачання.

Реінжиніринг (reengineering): Оптимізація системи організації та управління господарським процесом, яка базується на принципах орієнтації на весь процес, на якісний стрибок, на ліквідацію закомплексованості в бізнесі, на використання суттєво ефективніших технологій.

Ризик (risk): Наслідок впливу невизначеності для досягнення поставленої мети.

Системний інжиніринг (systems engineering): Міждисциплінарний методичний підхід, який регулює загальну технічну та організаційну діяльність з перетворення набору потреб клієнтів, їх очікувань та обмежень у продукцію та підтримання цього рішення протягом усього життєвого циклу.

Специфікація (specification): Документ, що викладає у повному, точному та контрольованому вигляді вимоги, структуру, режим роботи або інші

характеристики системи, компонента, продукту, результату чи послуги, а також часто процедури для визначення того, чи виконуються ці вимоги.

Вимоги замовника (customer requirement): Результат виявлення, узагальнення та вирішення прийнятним для замовника чином конфліктів між потребами, очікуваннями, обмеженнями та взаємовідносинами відповідних причетних сторін.

Затвердження (approval): Письмове повідомлення з боку уповноваженого представника про те, що подана інформація про задоволення вимог є повною.

Затвердження замовником (client approval): Рішення замовника продовжити, змінити чи припинити виконання проекту з урахуванням оцінки результатів етапу (підетапу).

Учасник (actor): Роль, відповідно до якої певна дійова особа бере участь у даній дії, процесі або проекті.

Функціональність (functionality): Здатність послуги або продукту забезпечувати функції, що відповідають встановленим і передбачуваним потребам, при їх використанні в певних умовах.

Ефективність (efficiency): Зв'язок між досягнутим результатом та використаними ресурсами.

ЕРС-контракт [Engineering, Procurement and Construction (EPC) contract]: Тип контракту, у якому підрядник бере на себе повну відповідальність за проектування, будівництво та введення в експлуатацію об'єкта.

ЕРСМ-контракт [Engineering, Procurement and Construction Management (EPCM) contract]: Тип контракту, у якому підрядник здійснює менеджмент процесів проектування, забезпечення будівництва та будівництва, здійснюваного іншими підрядниками.

Література

1. Інжиніринг. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Інжиніринг> (дата звернення: 12.10.2021)
2. 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.
3. Воровецкий А.В. Введение в промышленный инжиниринг. Проектирование объектов нефтегазовых предприятий – LAP Lambert Academic Publishing, 2017. – 117 с.
4. Інноваційний інженіринг : навч.–метод. посіб./ Паска М.З., ДрачукУ.Р., Ромашко І.С., Галух Б.І., Басараб І.М. – Львів: ЛНУВМ та БТ імені С.З. Гжицького, 2016.– 82с.
5. Кузьмін О.В. Інжинірингу ресторанному бізнесі : навчальний посібник / О.В. Кузьмін, О.В. Чемакіна, Л.М. Акімова, А.М. Куц, І.Л. Корецька, А.О. Кузьмін. – Херсон ОЛДІ–ПЛЮС, 2019. – 488 с.
6. Верхівкер Я.Г. Технологічний інжиніринг підприємств харчової галузі : навч. посіб. / Я.Г. Верхівкер, О.С. Бессараб, Ті. Нікітчина ; за ред. Я.Г. Верхівкера; Одес. нац. акад. харч, технологій, І Іац. ун–т харч, технологій – Одеса : Освіта України, 2017. – 144 с
7. Концепция подготовки инженеров в виртуальных технологиях SolidWorks: Учебно–методическое пособие / Г.Г. Пивняк, В.П. Франчук, К.С. Заболотный, Е.В. Панченко. – Днепропетровск: Национальный горный университет, 2008. – 36 с.
8. Чайковська М. П. Інноваційний менеджмент: Навчальний посібник / М.П.Чайковська –Одеса: Одеський національний університет імені І.І.Мечникова, 2015. –382с.
9. Tran Paul. Solidworks 2020 Basic Tools: Getting Started with Parts, Assemblies and Drawings. SDC Publications, 2020. – 681 p.

10. Almatarr T. Learn SolidWorks 2022. 2nd Edition. – Packt, 2022. – 676 p.
11. Planchard David C. Engineering Graphics with SolidWorks 2021 – New York: SDC Publication, 2021. – 586 p.
12. Sham Tickoo. SOLIDWORKS 2018 for Designers, 16th Edition – Schererville: CADCIM Technologies – 2018.– 1987 p.
13. Verma G, Weber M. SolidWorks 2017 Black Book. CADCAMCAE Works, 2017. – 518 p.
14. Zeid I., Brown N. Mastering SolidWorks: The Design Approach. 3rd edition. – Pearson Education, Inc., 2021. – 560 p.
15. Keska Pawel. SolidWorks 2021: Part Modeling, Assemblies, and Drawings. CADvantage, 2021. – 1586 p.
16. 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)
17. Dassault Systemes. Theoretical Manual SolidWorks Simulation. Dassault Systemes, 2015. – 114 p.
18. Kurowski P.M. Engineering Analysis with Solidworks Simulation 2018. USA: SDC Publications, 2018. – 597 p.
19. Petrova R.V. Introduction to Static Analysis Using SolidWorks Simulation. CRC Press, 2015. – 348 p.
20. Weber M., Verma G. SolidWorks Simulation 2017 Black Book. CADCAMCAE Works, 2016. – 362 p.

В.Я. Ворощук, Т.М. Вітенько

ІНЖИНІРИНГ ТА 3D МОДЕЛЮВАННЯ В СЕРЕДОВИЩІ SOLIDWORKS

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

Ворощук В.Я., Вітенько. Т.М. Інжиніринг та 3D моделювання в середовищі Solidworks: навч. посібник. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2023. 164с.

ISBN 978-617-7875-69-6

Підписано до друку 14.9.2023. Формат 60×90, 1/16.
Друк лазерний. Папір офсетний. Гарнітура TimesNewRoman.
Умовно-друк. арк. 6,3. Наклад – 100 прим.
Замовлення № 26102024

Друк ФОП Паляниця В. А.
Свідоцтво ДК №4870 від 20.03.2015 р.
м. Тернопіль, вул. Б. Хмельницького, 9а, оф.38.
тел. (0352) 528–777.