МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ЗАПОРІЗЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

О. М. Артюх, О. В. Дударенко
В. В. Кузьмін, А. Ю. Сосик
А. В. Щербина

АВТОМАТИЗОВАНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ АВТОТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ТА ЗАСОБІВ ЇХ ДІАГНОСТУВАННЯ

Навчальний посібник

Запоріжжя • НУ «Запорізька політехніка» • 2021

УДК 004.SolidWorks:629.33(075.8)
А 22

Рекомендовано до друку Вченою радою
Національний університет «Запорізька політехніка»
(Протокол № 3 від 6.12.2021 р.)

Рецензенти:

Сахно В. П. – д.т.н., професор, академік Транспортної академії України, Заслужений працівник освіти України, завідувач кафедри «Автомобілі» Національного транспортного університету (м. Київ).

Панченко А. І. – д.т.н., професор, завідувач кафедри «Мехатронні системи та транспортні технології» Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного.

Воронін С. В. – д.т.н., професор, завідувач кафедри «Машинобудування та технічний сервіс машин» Українського державного університету залізничного транспорту.

А 22 Автоматизоване проектування елементів автотранспортних засобів та засобів їх діагностування : навч. посіб. / О. М. Артюх, О. В. Дударенко, В. В. Кузьмін та ін. Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2021. – 540 с.

ISBN 978-617-529-340-9

У даному навчальному посібнику розглянуті основні можливості сучасних систем проектування й виконання розрахунків, застосовуваних у машинобудуванні. Описані методи роботи в SolidWorks у плані проектування деталей, виконання складань і креслень. Спочатку розглянуте проектування простих об'єктів, потім елементів складальних одиниць, наприкінці показані принцип створення складних поверхонь в SolidWorks, якими є поверхні кузова автомобіля, а також можливість використання розрахункових модулів SolidWorks для дослідження аеродинаміки автомобіля. Посібник призначений для студентів які навчаються за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування.

УДК 004.SolidWorks:629.33(075.8)

ISBN 978-617-529-340-9

© Національний університет «Запорізька політехніка», 2021
© Артюх О. М., Дударенко О. В., Кузьмін В. В., Сосик А. Ю., Щербина А. В., 2021

ЗМІСТ

Вступ 8
1 Вступ до курсу 10
1.1 Процес автоматизованого проектування автомобіля 10
1.2 Етап «Формування вихідних даних» 13
1.3 Етап «Технічний опис продукту» 16
1.4 Етап «Розробка дизайн-проекту» 17
1.5 Етап «Формування детально-вузлового складу конструкції» 29
1.6 Етап «Розробка конструкторської документації» 30
1.7 Етап «Випробування конструкції» 36
1.8 Етап «Затвердження конструкції» 38
1.9 Етап «Серійне виробництво» 40
1.10 Етап «Припинення виробництва» 41
2 Функціональні можливості сучасних САПР використовуваних у машинобудуванні 43
2.1 Легкі САПР 46
2.2 САПР середнього рівня 48
2.3 Важкі САПР 50
2.4 Поняття векторної й растрової графіки 53
2.5 Одержання фотореалістичного зображення у 3D-графіці 57
3 Загальні принципи створення твердотільних моделей, ескізів та креслень у САПР 67
3.1 Перехід на тривимірне моделювання 69
3.2 Керування орієнтацією деталі 82
3.3 Загальні принципи моделювання деталей 85
3.4 Ескізи й операції 87
3.5 Основні терміни тривимірної моделі 89
3.6 Основа моделі 90
3.7 Створення 3D-моделі по її плоскому кресленню 91
4 Загальні принципи проведення інженерного аналізу проектованих конструкцій у САПР 94
4.1 Методи розв’язку рівнянь фізики в механічних САПР 102
4.2 Структурна механіка – лінійна задача

(COSMOSWorks) 103
4.3 Структурна механіка – нелінійна задача (COSMOSWorks) 106
4.4 Аерогідродинаміка й теплопередача 107
4.5 Проектування елементів механічних систем 111
4.6 Кінематика й динаміка 113
4.7 Листовий метал – розгорнення й заготовки 114
4.8 Світлотехнічний аналіз і проектування 115
5 Основні методи роботи у системі NX Siemens 117
5.1 Моделювання твердих тіл 120
5.2 Моделювання поверхонь 122
5.3 Моделювання в контексті 123
5.4 Робота з листовим металом 125
5.5 Синхронна технологія 126
5.6 Робота зі складаннями 128
5.7 Основи NX Advanced Simulation 130
5.8 Виконання креслень 132
5.9 Робота із шаблонами 135
5.10 Візуалізація 137
6 Робота у системі SolidWorks. Створення ескізів 140
6.1 Створення простого ескізу 151
6.2 Повне визначення ескізу 159
6.3 Використання дзеркального відбиття об’єктів 159
6.4 Використання команд отрисовки масивів 161
6.5 Використання сплайнів в ескізах 163
6.6 Тривимірні ескізи 164
7 Загальні принципи створення деталей 167
7.1 Основні способи побудови деталей 167
7.2 Додаткові можливості 169
7.3 Деталі – тіла обертання 170
7.4 Деталі складної конфігурації 177
7.5 Деталі на основі поверхонь 182
7.6 Додаткові можливості SolidWorks 193
8 Робота з конфігураціями деталей 206
8.1 Додавання (створення) нової конфігурації 206
8.1.1 Створення конфігурації вручну 207
8.1.2 Створення конфігурації за допомогою таблиці параметрів 208

8.2 Діалогове вікно «Змінити конфігурації» 209
8.3 Редагування конфігурацій 210
8.4 Редагування й видалення конфігурацій 211
8.5 Створення конфігурацій вручну 214
8.6 Створення конфігурацій за допомогою таблиці параметрів 222
8.7 Створення конфігурацій за допомогою діалогового вікна 225
8.8 Приклад № 3. Шайба 227
9 Створення деталей з листового матеріалу 234
9.1 Основні способи побудови деталей з листового матеріалу 234
9.2 Створення деталі з листового матеріалу 234
9.2.1 Створення деталей із плоского стану 234
9.2.2 Створення деталей з листового металу в зігнутому стані 239
9.3 Перетворення твердого тіла в деталь із листового матеріалу 242
9.4 Приклади деталей з листового матеріалу 244
9.5 Конструювання деталі із твердого тіла й перетворення в деталь із листового матеріалу 255
10 Робота зі зварними конструкціями 268
10.1 Основні принципи створення зварних конструкцій 268
10.2 Створення зварної конструкції із тривимірного ескізу 271
10.3 Створення власних профілів 278
10.4 Створення зварної конструкції за допомогою багатотільної деталі 285
10.5 Моделювання стикового зварного з'єднання 285
10.6 Моделювання напускного зварного з'єднання 289
10.7 Моделювання таврового зварного з'єднання 292
11 Створення складань деталей 298
11.1 Основні принципи створення складань 298
11.2 Побудова складання «знизу-нагору» 300
11.3 Побудова складання «зверху-униз» 306
11.4 Складання « знизу-нагору» 310
11.5 Складання « зверху-униз» 337
12 Робота з ливарними формами 350

12.1 Основні принципи створення ливарних форм 350
12.2 Оформлення порожнини ливарної форми 352
12.2.1 Створення багатотільної деталі. 353
12.2.2 Створення порожнини складної форми 355
12.2.3 Створення ливарних напівформ 358
12.3 Проста ливарна форма 359
12.4 Оформлення ливарної форми зі складним розніманням 365
12.5 Побудова тіла порожнини 366
12.6 Аналіз ухилів 368
12.7 Аналіз ухилів за допомогою інструмента Draftxpert 372
12.8 Завдання ухилу 374
12.9 Визначення виточення 374
12.10 Створення основи 377
12.11 Створення проміжного складання 377
12.12 Створення порожнини 378
12.13 Оформлення першої ливарної напівформи 380
12.14 Оформлення другої ливарної напівформи 383
12.15 Проектування ливарної форми 385
12.16 Створення моделі деталі 386
12.17 Створення поверхонь рознімання 389
12.18 Поділ інструментів 391
13 Оформлення креслень 397
13.1 Основні принципи оформлення креслень в SolidWorks 397
13.2 Установка шрифтів і шаблонів SolidWorks 398
13.3 Створення нового креслення 401
13.4 Створення головного виду 403
13.5 Створення проекційних видів 404
13.6 Переміщення видів 405
13.7 Зміна масштабу виду 408
13.8 Проставляння розмірів 409
13.9 Переміщення та копіювання розмірів 412
13.10 Зміна розмірів 414
13.11 Редагування основного напису 416
13.12 Створення додаткових видів 421
13.13 Створення допоміжного виду 427

13.14 Створення нового позначення 432
13.15 Створення місцевого виду 434
13.16 Створення обрізаного виду 435
13.17 Створення вириву 437
13.18 Створення другого аркуша креслення 439
13.19 Оформлення специфікації 441
14 Розробка зовнішніх форм кузова автомобіля 443
14.1 Підготовка вихідних матеріалів для майбутньої моделі 443
14.2 Проектування елементів моделі кузова автомобіля методом поверхневого моделювання 451
14.3 Проектування коліс автомобіля 495
14.4 Складання моделі «кузов–колеса–дорога» 502
15 Аеродинамічні дослідження моделі кузова автомобіля 506
15.1 Введення вихідних даних, настроювання розрахункових програм і послідовність аеродинамічних розрахунків 506
15.2 Аналіз графічних результатів дослідження 3D-моделі 517
15.3 Розрахунки коефіцієнта аеродинамічного опору Cx 523
15.4 Дослідження впливу елементів дизайну автомобіля на величину коефіцієнта аеродинамічного опору Cx 528
15.5 Дослідження впливу на аеродинаміку автомобіля руху повітря через підкапотний простір 529
Література 532

ВСТУП

Сьогодні визначальними факторами успіху в промисловому виробництві є зменшення часу виходу продукції на ринок, підвищення якості, зниження її вартості. Практична реалізація цих вимог вимагає модернізації проектно-технологічних і виробничих процесів.

Проектування є не що інше, як перетворення вихідного опису об'єкта, сформульованого в технічному завданні, в остаточний опис. Остаточний опис являє собою комплект технічної документації, необхідний для виробництва необхідного об'єкта в заданих виробничих умовах.

Таким чином, проектування – це перетворення вихідного опису об'єкта в остаточний опис, тобто процес перетворення інформації.

Для перетворення інформації давно почали застосовувати обчислювальну техніку. Найбільш потужним засобом перетворення інформації при проектуванні технічних об'єктів є системи автоматизованого проектування (САПР). Їхня інтеграція в єдину багатофункціональну систему, що охоплює всі цикли життя промислового виробу, дозволяє суттєво скоротити час перетворення інформації, відповідної до кожного циклу. До теперішнього часу системи САПР застосовувані в машинобудуванні, базуються на самих складних програмно-методичних комплексах і потужних технічних засобах.

Даний лекційний курс присвячений питанням впровадження в навчальний процес САПР SolidWorks, оскільки протягом останніх десяти років саме ця система впевнено присутня серед найбільш затребуваних САПР у машинобудуванні. Сфера його застосування безупинно розширюється за рахунок суміжних галузей: приладобудування, будівництва, розробки товарів побутового призначення.

Головна причина такої популярності SolidWorks – розвинена базова функціональність у сукупності із простим і зручним інтерфейсом, простотою конфігурування, прийнятною ціною й невисокими вимогами до апаратної частини комп'ютерів.

SolidWorks безупинно розвивається, причому рух відбувається й за рахунок розвитку наявних можливостей, і через

розширення кола розв'язуваних завдань: моделювання й проектування, оформлення документації, керування проектами, опис технологічних процесів, підготовка керуючих програм для устаткування із програмним керуванням тощо.

Про актуальність застосування в навчальному процесі саме САПР SolidWorks, говорить наявність у ній інтегрованих розрахункових модулів сімейства Simulation: власне сам Simulation (раніше – CosmosWorks); Flow Simulation (раніше – CosmosFloworks) і SolidWorks Motion (раніше CosmosMotion) – які дозволяють виконувати складні розрахунки й аналіз проектованих систем на всіх етапах створення автомобіля.

А застосування 3D-моделювання вже на початковому етапі проектування, при проведенні проектно-конструкторських і дослідницьких робіт, має незаперечні переваги перед плоским моделюванням (2D). Саме сприйняття інформації із тривимірного простору не тільки більш точне, але й значно полегшує розуміння студентом сутності проектної роботи.

У даному курсі лекцій також розглянуті основні можливості сучасних систем проектування й виконання розрахунків, застосовуваних у машинобудуванні. Описані методи роботи в SolidWorks у плані проектування деталей, виконання складань і креслень.

У лекційному курсі спочатку розглянуте проектування простих об'єктів, потім елементів складальних одиниць, на закінчення показані принцип створення складних поверхонь в SolidWorks, якими є поверхні кузова автомобіля, а також можливість використання розрахункових модулів SolidWorks для дослідження аеродинаміки автомобіля.

Завершальним етапом освоєння даного курсу є виконання курсової роботи, що дає студентові можливість самостійно застосувати отримані знання й навички при вирішенні конкретного проектного завдання по реальній тематиці.

1 ВСТУП ДО КУРСУ

1.1 Процес автоматизованого проектування автомобіля

Ідеологія розробки автомобіля обумовлена простою логічною схемою «формування замовлення – аналіз досяжності замовлення – реалізація технічних рішень – перевірка технічних рішень – виготовлення виробу – реалізація виробу».

Згідно із цією ідеологією процес розробки автомобіля умовно можна розділити на функціональні етапи, опис яких наведений нижче.

1. Етап «Формування вихідних даних». Здійснюють маркетингові дослідження, спрямовані на вивчення запитів споживачів, оцінку економічної доцільності розробки нової моделі автомобіля.

2. Етап «Технічний опис продукту». Забезпечують переклад запитів споживачів та інших вимог на мову технічних вимог до автомобіля, матеріалів, технології, ремонту, технічного обслуговування, утилізації.

3. Етап «Розробка дизайн-проекту». Виробляють принципові проектні рішення відносно компонування автомобіля, компонувальних схем його вузлів, ведуть пошук стилю дизайну екстер'єру та інтер'єру.

4. Етап «Формування детально-вузлового складу конструкції». Визначають перелік компонентів конструкції, встановлюють чіткі взаємопов'язані цілі проектно-конструкторських робіт для кожного з учасників процесу розробки на підставі вимог технічного завдання й загального компонування автомобіля.

5. Етап «Розробка конструкторської документації». Розробляють об'ємну віртуальну модель автомобіля та відповідний комплект конструкторської документації, які необхідні для відтворення віртуальних прототипів, а також виготовлення реальних прототипів, застосовуючи технології швидкого прототипування. Під об'ємною віртуальною моделлю об'єкта (об'єкт – це як автомобіль у зборі, так і вузли й деталі що входять у нього) мається на увазі його просторове графічне зображення, розроблене за допомогою комп'ютерних програм

для теоретичної перевірки проектних рішень.

6. Етап «Випробування конструкції». Проводять розрахункову оптимізацію по об'ємній віртуальній моделі автомобіля, випробовують виготовлені зразки з метою приведення конструкції автомобіля і його елементів до відповідності вимогам технічного завдання.

7. Етап «Затвердження конструкції». Документують за результатами приймальних випробувань повну відповідність автомобіля вимогам технічного завдання, даючи цим старт серійному виробництву готової продукції.

8. Етап «Серійне виробництво». Роблять готову продукцію; організують контрольні випробування першої партії автомобілів і комплектуючих виробів на відповідність технічним умовам і законодавчим вимогам; проводять передпродажну підготовку, технічне обслуговування й ремонт автомобілів у гарантійний та післягарантійний період експлуатації.

9. Етап «Припинення виробництва». Ухвалюють рішення щодо припинення виробництва автомобілів або переносу виробництва на інше підприємство; вказують строки й обсяги виробництва запасних частин; проводять заходи, пов'язані з утилізацією автомобілів.

На кожному етапі враховують вхідні дані, після проведення необхідного комплексу робіт формують вихідну інформацію, яка є вхідною інформацією для наступного етапу, і так до останнього етапу.

У свою чергу, усі етапи розробки автомобіля можна згрупувати по чотирьом основним фазам, що загалом описують увесь життєвий цикл автомобіля: ***концептування, проектування, конструювання, реалізація*** (рис. 1.1).

Концептування – пошук образа й технічного опису автомобіля, що задовольняють потреби потенційного споживача; добір автомобілів-аналогів; складання технічних вимог. Включає етапи «Формування вихідних даних» і «Технічний опис продукту».

Проектування – створення ескізного компонування (схеми місткості й схеми шасі); пророблення дизайну екстер'єру й інтер'єру; створення робочих макетів вузлів і демонстраційного макета автомобіля; виконання розрахункових робіт; розробка

загального компонування; складання технічного завдання, що групує технічні вимоги до автомобіля й технічні пропозиції по конструкції та складу. Включає етапи «Розробка дизайн-проекту» і «Формування детально-вузлового складу конструкції».



Рисунок 1.1 – Схема процесу розробки легкового автомобіля

Конструювання – розробка повного комплекту конструкторської документації та об'ємної віртуальної моделі автомобіля; виготовлення й випробування прототипів вузлів і повнокомплектного автомобіля; заходи щодо коректування конструкції в ході випробувань; робота з технологічними службами по підготовці виробництва. Містить етапи «Розробка конструкторської документації», «Випробування конструкції» і «Затвердження конструкції».

Реалізація – виробництво автомобілів на конвеєрі; просування готової продукції на автомобільному ринку; передпродажне й гарантійне обслуговування; зняття автомобіля з виробництва; утилізація автомобілів що відпрацювали термін експлуатації. Включає етапи «Серійне виробництво» і «Припинення виробництва».

Наведена на рис. 1.1 схема поділу процесу розробки легкового автомобіля на етапи носить досить загальний і умовний характер. Послідовність дій усередині цієї загальної схеми залежить багато в чому від системи організації праці на підприємстві, системи керування підприємством, установлених схем взаємодії між проектними й технологічними підрозділами, схем взаємодії з постачальниками комплектуючих виробів та ін.

Перераховані вище фактори в чималому ступені визначають строки постановки на виробництво готової продукції, її якість і конкурентоспроможність.

Розглянемо більш детально перераховані вище функціональні етапи процесу розробки нового автомобіля.

1.2 Етап «Формування вихідних даних»

Перед тим як ухвалити рішення щодо створення нового автомобіля, необхідно провести кропітку роботу з пошуку образа автомобіля, по підготовці техніко-економічних матеріалів, що підтверджують необхідність розробки нового автомобіля, який відповідатиме запитам споживачів.

У цій частині підготовчих робіт маркетингові й економічні дослідження превалюють над технічними. Економісти й маркетологи насамперед повинні з'ясувати, які ніші ринку треба заповнити, визначити обсяг попиту й конкурентну кон'юнктуру, купівельну спроможність майбутнього споживача, розташовувані ресурси в області необхідних стандартних і спеціальних матеріалів, розміри капіталовкладень, необхідних для організації нових видів виробництва або розширення старих, очікуваний прибуток і т.п.

Після таких розрахунків інженери можуть вивести приблизні технічні показники, які будуть основою майбутнього рішення про виробництво нової моделі автомобіля.

В умовах ринкової економіки будь-яке підприємство самостійно визначає свою маркетингову політику. В основному від цієї політики залежить позиціонування підприємства на тому або іншому ринку. Інакше кажучи, автомобільний завод визначає для себе коло ринків збуту, де він здатний (у силу своїх можливостей) здійснювати реалізацію своєї продукції й виживати в умовах конкурентної боротьби. Як показує практика, у

сучасному світі конкуренція в автомобілебудуванні дуже жорстка, монополістів у цій області практично немає.

Сучасний споживач при покупці автомобіля орієнтується не тільки на доступну ціну, але й на якість, дизайн, безпеку, комфортабельність, практичність, надійність, простоту обслуговування й багато інших характеристик. Завдання будь-якого підприємства – створення автомобіля, який максимально враховує всілякі критерії, що задовольняють функціональним і естетичним потребам покупця.

Запорукою успішної реалізації проекту по виробництву й впровадженню на ринок нової моделі автомобіля можуть стати грамотні маркетингові дослідження, результатом яких в остаточному підсумку буде отриманий прибуток від продажу вироблених автомобілів.

Маркетинг – це сукупність стратегічних, фінансових, організаційно-технічних і комерційних функцій по керуванню підприємством, вивченню ринку, розробці й виробництву продукції з урахуванням ринкового попиту, просуванню товарів споживачеві.



Рисунок 1.2 – Схема етапу «Формування вихідних даних»

Основною вхідною інформацією маркетингових досліджень є інформаційно-аналітичні дані про передбачувані ринки збуту, про автомобілі-аналоги і тенденції їхнього розвитку, а також дані про технологічні можливості підприємства й оцінки економічної

доцільності запуску виробництва нової моделі автомобіля (рис. 1.2). Допустимо, для реалізації сімейства легкових автомобілів заплановані такі ринки збуту, у яких основним середовищем експлуатації будуть не тільки дороги з якісним асфальтовим покриттям, але й сільська труднопрохідна місцевість.

Тоді виробник може включити в сімейство автомобілів повнопривідний варіант автомобіля 4х4 на базі, наприклад, передньопривідного варіанта 4х2.

Фактично прийдеться вирішувати завдання по уніфікації цих двох варіантів при розробці конструкції автомобіля. На рис. 1.3 показаний приклад подібної уніфікації, коли установкою додаткових вузлів трансмісії (карданна передача, передній і задній редуктори) отриманий повнопривідний варіант автомобіля з передньопривідного варіанта.

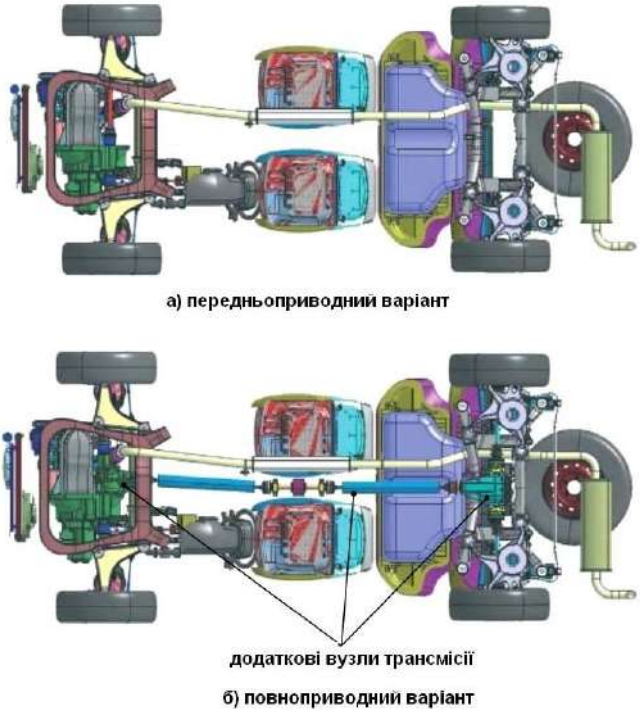


Рисунок 1.3 – Приклад уніфікації переднеприводного й повнопривідного варіантів легкового автомобіля

1.3 Етап «Технічний опис продукту»

В основі технічного опису продукту лежить визначення шляхів досягнення цільових показників, установлених маркетинговим замовленням. Ціль технічного опису – перевести загальні вимоги замовника (маркетингової служби) у формалізовані технічні вимоги до автомобіля, до системи виробництва, системи збуту, обслуговування й ремонту, системи утилізації (рис. 1.4).

Технічні вимоги до автомобіля встановлюють конструктивні параметри й показники експлуатаційних властивостей, що характеризують у сукупності технічні особливості як автомобіля в цілому, так його вузлів і систем.

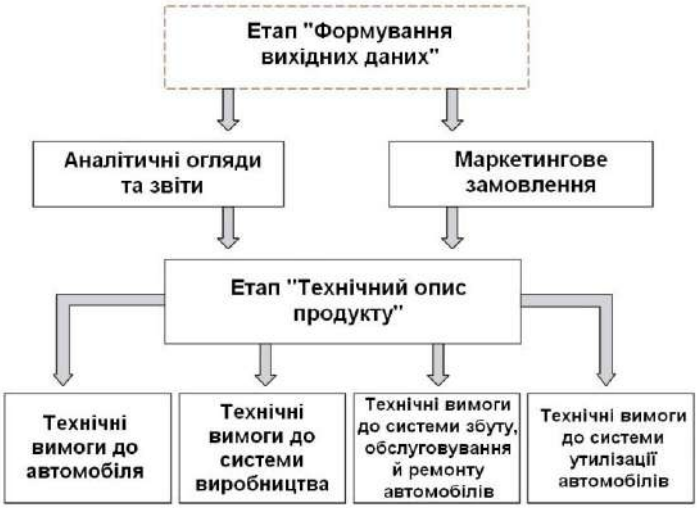


Рисунок 1.4 – Схема етапу
«Технічний опис продукту»

Технічні вимоги до системи виробництва встановлюють показники, які стосуються заходів щодо підготовки виробництва нового автомобіля, розробки технологічного устаткування, організації й охорони праці, забезпеченню екологічної безпеки виробництва.

Технічні вимоги до системи збуту, обслуговування й

ремонту автомобілів встановлюють показники, що стосуються правил реалізації готової продукції, модернізації системи передпродажного й гарантійного обслуговування, розвитку мереж станцій технічного обслуговування (СТО).

Технічні вимоги до системи утилізації автомобілів стосуються показників розвитку мереж пунктів приймання непридатних до експлуатації автомобілів, нормативів розбирання автомобілів, якості сортування матеріалів для вторинної переробки, екологічної безпеки утилізації матеріалів із вмістом шкідливих речовин.

1.4 Етап «Розробка дизайн-проекту»

На етапі «Розробка дизайн-проекту» (рис. 1.5) послідовно роблять наступне:

- виконують ескізне компонування автомобіля, створюючи схему місткості й схему шасі, причому обидві схеми необхідно розробляти одночасно, щоб забезпечити погодженість усіх геометричних параметрів автомобіля;
- паралельно роблять ескізні компонування знову розроблювальних вузлів для нового автомобіля;
- ґрунтуючись на результатах ескізного компонування автомобіля, оформляють стильове рішення образу екстер'єру та інтер'єру;
- затверджують стиль дизайну на основі ескізних замальовок або віртуальних моделей;
- створюють реальний макет зовнішньої форми автомобіля й посадковий макет внутрішнього простору в натуральну величину для оцінки ергономіки й загального сприйняття дизайну;
- виготовляють робочі макети окремих вузлів, технічні показники яких оцінюють на так званих ходових макетах автомобіля;
- виготовляють демонстраційний макет, що сполучає елементи екстер'єру, інтер'єру й робочі макети вузлів як для реальної візуальної оцінки результатів дизайн-проекту, так і для перевірки спільної працездатності оригінальних і діючих вузлів.



Рисунок 1.5 – Схема етапу
«Розробка дизайн-проекту»

Ескізне компонування – це первинне графічне пророблення конструкції автомобіля з дотриманням масштабних геометричних пропорцій. По її результатах видають перші графічно оформлені документи, які служать вихідною інформацією для наступних проектних робіт.

У роботі над компонуванням автомобіля конструктор враховує безліч обмежуючих факторів, у результаті чого створюється ряд компонувальних схем з різними комбінаціями положень вузлів і систем автомобіля вкупі з різними варіантами посадки водія й пасажирів.

По суті, у процесі ескізного компонування необхідно встановити, яка з можливих компонувальних схем є найбільш підходящою, яка забезпечить при позначених межах габаритних розмірів автомобіля досягнення заданих рівнів споживчих властивостей.

Для повноцінної роботи над компонуванням конструктор повинен з достатнім ступенем точності змоделювати геометричну конфігурацію необхідних вузлів і деталей, чітко позначаючи місця їх взаємного з'єднання.

Якщо необхідні вузли й деталі є вже діючими виробами, або

раніше спроектованими, то робота з ескізного компонування автомобіля значно полегшується. Якщо ж цих компонентів немає ні в тому, ні в іншому виді (передбачається оригінальна розробка), то потрібно проводити паралельне ескізне компонування по складанню їх власних компонувальних схем, базуючись на наявних аналогах.

У наш час, завдяки широкому розвитку комп'ютерних технологій, процес розробки автомобіля вже не обходиться без використання сучасних САПР (систем автоматизованого проектування). Сучасні виробники автомобілів і автокомпонентів, за допомогою САПР вже охоплюють весь комплекс проектно-конструкторських робіт а також процеси підготовки виробництва.

Велика кількість програмних продуктів з елементами САПР використовуваних у сучасному автомобілебудуванні, тісно пов'язані з використанням технологій віртуальної та доповненої реальності, заснованих на об'ємній графіці (3D), яка в свою чергу має значні переваги перед плоскою графікою (2D):

- сприйняття інформації у тривимірному зображенні більш точне (особливо це важливо при візуальному контролі компонування автомобіля, зокрема для виключення неприпустимого геометричного контакту різних вузлів і деталей);
- проектувати вироби зі складними формами (зовнішні панелі кузова, панель приладів рис. 1.6, оббивку інтер'єру тощо) вдається робити набагато швидше, легше та якісніше, а в кінцевому рахунку – значно дешевше.

Раніше домогтися такого рівня було майже неможливо, і все через недоліки сприйняття плоскої інформації. Всі такі трансформаційні процеси у сучасному проектуванні та наступному виробництві, можна помітити по тенденціях розвитку дизайну сучасних автомобілів.

Варто сказати й про спеціальні додатки САПР, які дозволяють:

- відтворювати кінематичне переміщення віртуального механізму для оцінки його працездатності, аналізу траєкторії руху вхідних деталей у процесі роботи механізму;

- проводити комплексний аналіз міцності виробів у статиці, динаміці й вирішувати інші інженерно-прикладні завдання, ґрунтуючись лише на віртуальній моделі без фізичного виготовлення зразків;
- вирішувати завдання, пов’язані із проектуванням технологічного оснащення, виготовленням макетів на основі віртуальної моделі виробу та ін.

Однак говорити про повну відмову від двомірного зображення не доводиться. Наприклад, це стосується створення креслень із використанням плоских видів і перетинів. 3D графічні програмні продукти містять креслярські додатки, що дозволяють проектувати тривимірне зображення на площину, для документального оформлення виробу (рис. 1.7).

Раніше, до впровадження комп’ютерних технологій, компонування розроблялися вручну на паперових носіях. Для зручності робіт використовувалася прозора калька.

Різні вузли й деталі вручну наносили на окремі кальки, які взаємно розташовували в потрібному положенні й копіювали на кальку основного компонування. При цьому будь-які зміни, які неминуче супроводжували компонувальний процес, вимагали значного часу на виправлення через застосування ручної праці.

Зараз же, завдяки САПР, досить змінити в програмі необхідний параметр, і вона сама в лічені секунди перебудовує будь-які схеми, що дає можливість розглянути велику кількість варіантів одночасно й вибрати з них найбільш оптимальний.

Результатами ескізного компонування є:

- схема місткості – це компонування, яке визначає основні геометричні параметри автомобіля; розміщення в салоні людей різної репрезентативності; основні вимоги до оглядовості, досяжності; розташування передніх і задніх сидінь; положення кермового колеса та інших органів керування; розміщення паливного бака й запасного колеса; габарити моторного й багажного відділень;
- схема шасі – це компонування, яке містить інформацію про розташування двигуна і його систем; трансмісію й привод на ведучі колеса; передню й задню підвіски, кермовий механізм та їхні кінематичні точки; робочий простір коліс.

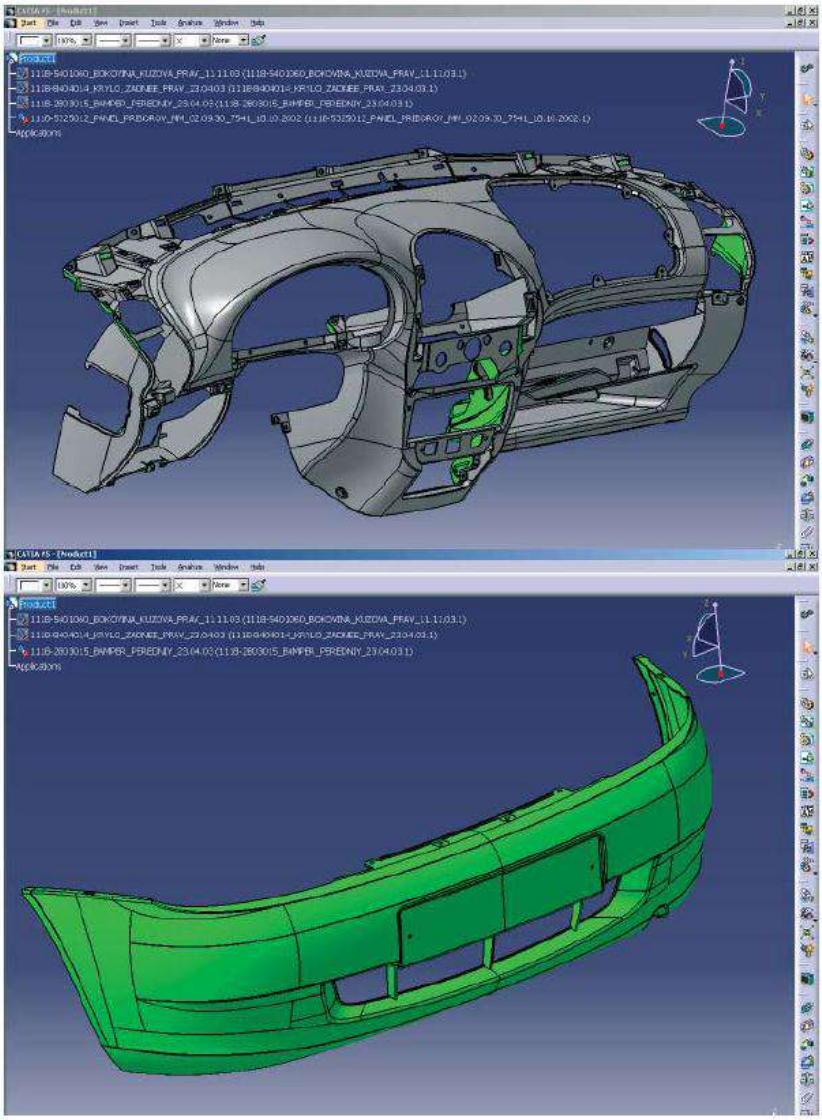


Рисунок 1.6 – Об’ємні віртуальні моделі панелі
приладів і бампера автомобіля, розроблені
за допомогою 3D-програмного продукту

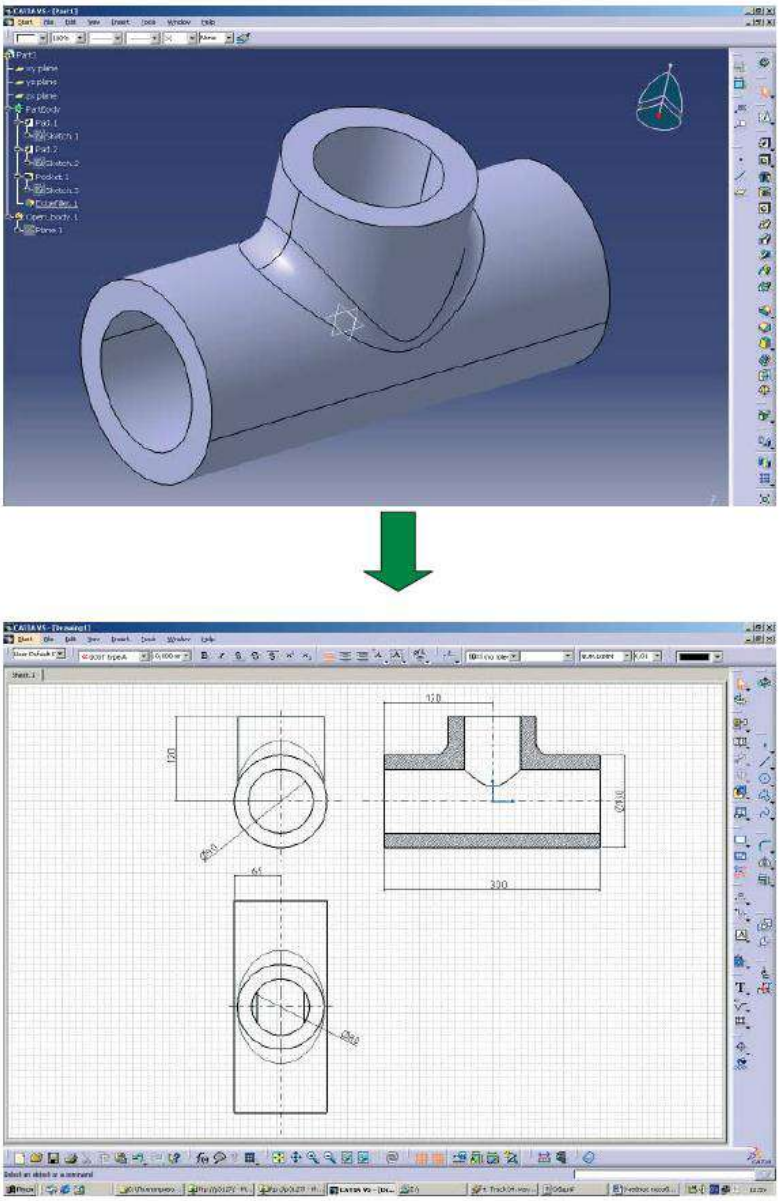


Рисунок 1.7 – Проектування об’ємної віртуальної моделі на площину креслення

Для загальної уяви про ескізне компонування автомобіля на рис. 1.8 показані її результати у вигляді об'ємної віртуальної моделі. На рис. 1.9 і 1.10 зображені схеми місткості й шасі, оформлені на основі цієї моделі.

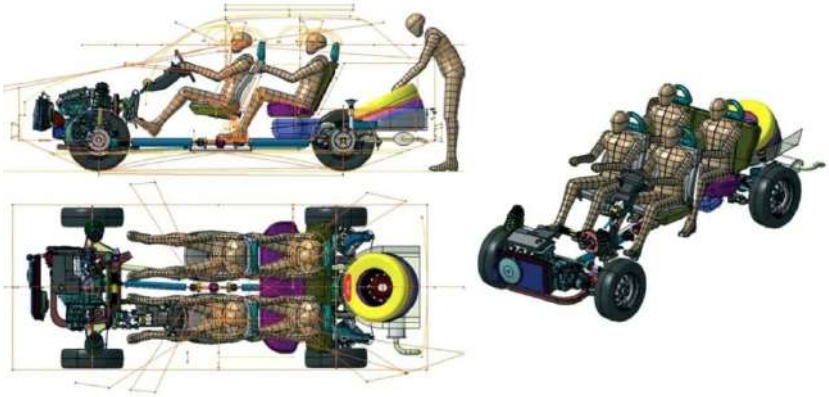


Рисунок 1.8 – Результати ескізного компонування, представлені у вигляді об'ємної віртуальної моделі

Усі розміри на схемах місткості й шасі проставляються щодо тривимірної системи координат при встановленому конструктивному навантаженню, за винятком розмірів, які виміряються щодо спорядженої маси або повної маси.

Тривимірна система координат автомобіля представлена наступними трьома базовими площинами (якщо не зазначено інше):

- вертикальною поперечною площиною «X», що проходить через вісь передніх коліс автомобіля;
- вертикальною поздовжньою площиною «Y» симетрії, що проходить через вісь, автомобіля;
- горизонтальною площиною «Z», що проходить через вісь передніх коліс автомобіля.

Негативні координати відлічуються від площини «X» уперед по ходу руху, уліво від площини «Y» і вниз від площини «Z» (рис. 1.9 і 1.10). При конструктивній масі автомобіля рівень землі щодо системи координат зображується паралельно площини «Z».

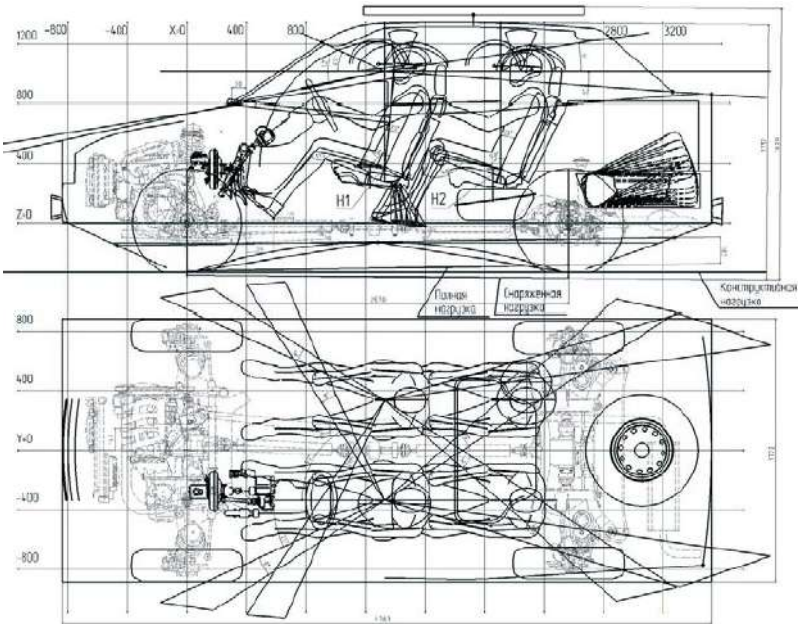


Рисунок 1.9 – Схема місткості автомобіля

Конструктивна маса автомобіля встановлюється розроблювачем. Як правило, це якесь проміжне значення маси між спорядженою й повною. Її вибирають виходячи із часткового завантаження автомобіля (найбільш частої в експлуатації), наприклад для п’ятимістного автомобіля може враховуватися маса водія, переднього й одного заднього пасажира.

Ескізне компонування автомобіля починають створювати з визначення положення людей для встановлення відповідних габаритів салону. Для цього служать моделі людини (манекени), що створюються по статистичних вимірах населення (рис. 1.11).

Результати вимірів населення ділять на перцентілі – рівні репрезентативності. До уваги звичайно приймають три стандартні групи зросту: малий – люди 5-го перцентіля (рівня репрезентативності), існує тільки 5% людей, зріст яких нижче цього значення; середній – люди 50-го перцентіля; великий – люди 95-го перцентіля, існує тільки 5% людей, зріст яких вище цього значення.

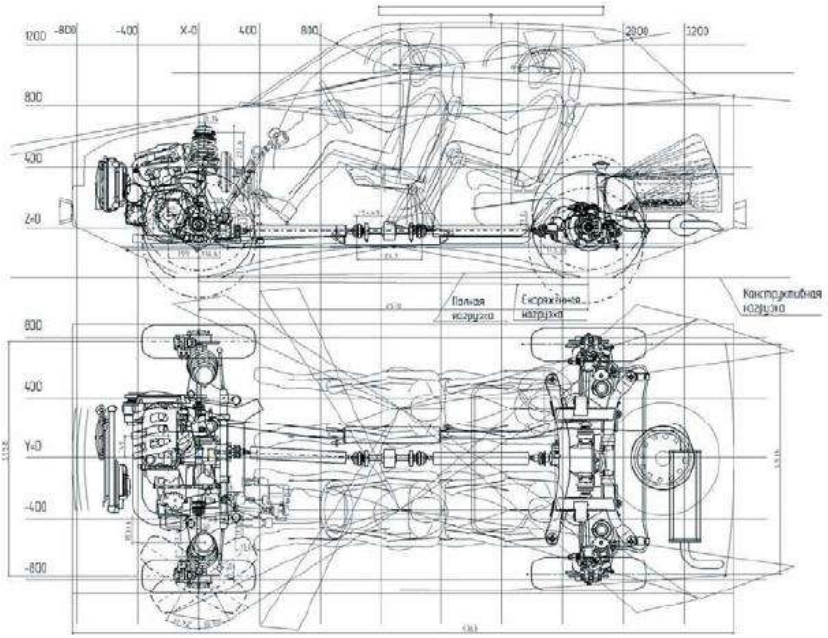


Рисунок 1.10 – Схема шасі автомобіля

Модель манекена 95-го перцентіля повинна братися за основу для визначення пози водія при відсунутому назад до межі сидіння, а модель манекена 5-го перцентіля, відповідно, при висунутому максимально вперед положенні сидіння. У такий спосіб досягається мінімальна зона регулювання положення сидіння. Для визначення положення заднього сидіння за основу ухвалюють звичайно групи зросту 50-го або 95-го перцентіля.

Залежно від обраної посадки манекенів, що задовольняють ергономічним вимогам, вибудовуються різні зони оглядовості й досяжності водія й пасажирів, визначаються положення основних органів керування, наноситься обмежувальний контур автомобіля, задаються границі моторного й багажного відділень. Після чого в зазначених межах розміщаються двигун, системи й вузли шасі.

Затверджене ескізне компонування автомобіля передається у відділ художнього моделювання для розробки дизайну-проекту.

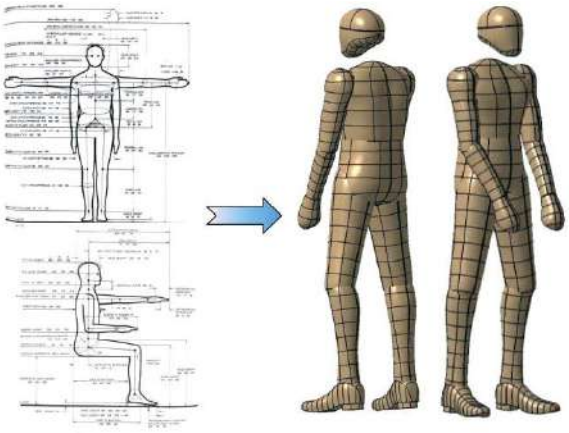


Рисунок 1.11 – Об’ємна віртуальна модель людини,
створена по статистичних вимірах населення

На компонування накладають різні варіанти виконання дизайну екстер’єру й інтер’єру, використовуючи елементи реалізму 3D-графіки за допомогою спеціалізованих комп’ютерних програм, як це показано на рис. 1.12.

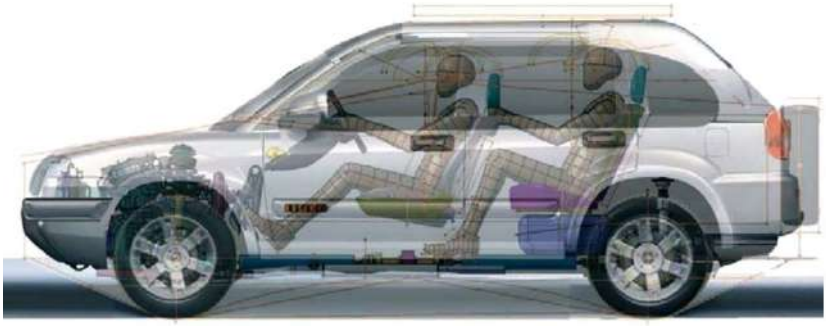


Рисунок 1.12 – Пошук форм дизайну екстер’єру
автомобіля по ескізному компонуванню

Із представлених варіантів затверджується найбільш підходящий і задовольняючий вимогам до дизайну й умовам, описаним у технічних вимогах.

Після затвердження стилю дизайну автомобіля приступають

до розробки макета зовнішніх форм у масштабі 1:1 зі спеціального пластиліну. Цей макет використовується для перевірки загального враження від автомобіля, уточнення зовнішніх форм за результатами продувки в аеродинамічній трубі, обмірювання (сканування) зовнішніх поверхонь кузова.

Зовнішня поверхня сканується за допомогою контрольно-вимірювальної машини у вигляді «хмари точок» (рис. 1.13) для відтворення віртуальної моделі в 3D-програмі, для роботи надалі над загальним компонуванням і створенням віртуальних моделей кузовних деталей.

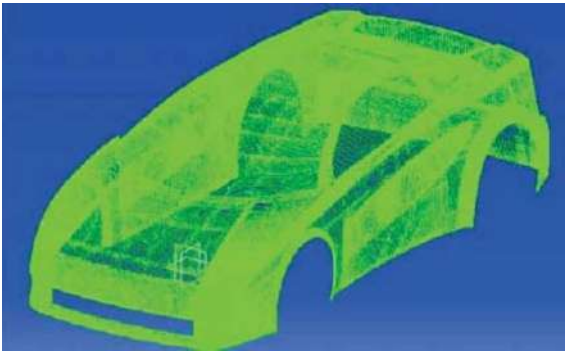


Рисунок 1.13 – Результат сканування
макета в 3D-програмі

Варто відзначити, що сучасні технології дизайн-проектування можуть обходитися й без створення пластилінового макета, дозволяючи прямо розробляти поверхню в 3D-програмі, віртуальна модель якої також може аналізуватися й за аеродинамічними показниками із застосуванням відповідних програмних продуктів.

Одночасно з макетом зовнішніх форм розробляється модель інтер'єру (посадковий макет) у масштабі 1:1 на основі дерев'яного або металевого каркаса салону, з установкою рульового керування, педалей, панелі приладів, важелів керування, сидінь, оббивок і т.п.

Для відтворення елементів структури салону використовують спеціальний пластилін, дерево, гіпс, тканини, поролон, частину існуючих вузлів, деталей та інші різні підручні матеріали. Усе це

виконується відповідно до ескізного компонування.

Посадковий макет призначений для остаточної оцінки пози водія, пасажирів і розміщення елементів інтер'єру. Для цього найкраще залучити групу експертів і провести серед них анкетування (опитування). Анкетування бажано проводити серед експертів різного рівня репрезентативності.

Аналогічним чином, як і у випадку з екстер'єром, з поверхонь елементів інтер'єру також знімають виміри «хмари точок» для розробки їх об'ємних віртуальних моделей.

Для перевірки технічних показників робочих макетів оригінальних вузлів їх установлюють і випробовують на ходових макетах. Базою для розробки ходових макетів можуть бути моделі автомобілів-аналогів, які найбільш близько підходять по геометричних параметрах і конструкції розроблювальному автомобілю.

На завершення дизайн-проекту створюють демонстраційний макет, на якому сполучають елементи екстер'єру та інтер'єру, а також макети оригінальних вузлів і агрегатів.

Демонстраційний макет також може бути виконаний на базі автомобіля-аналога. Для цього каркас кузова даного автомобіля приводять у відповідність із геометричними розмірами нового автомобіля. Потім на дороблений кузов поряд із запозиченими серійними деталями встановлюють робочі макети нових вузлів і агрегатів, накладають різні деталі екстер'єру та інтер'єру.

Для складання демонстраційного макета робочі макети вузлів, зовнішні панелі кузова, двері, фари, задні ліхтарі, панель приладів, оббивки, сидіння й т.п., тобто все те, що є знову розроблювальним і визначальним для дизайн-проекту нового автомобіля, виготовляють за допомогою так званої «обхідної технології», з використанням можливостей «швидкого прототипування».

Прототипування – це одержання виробів при відсутності основної технології їх виготовлення. Подібні вироби можуть створюватися в такий спосіб:

- доробкою існуючих підібраних по технічних характеристиках виробів;
- виготовлятися з використанням наявних універсальних пристосувань;

- виготовлятися на технологічному устаткуванні з ЧПУ (числовими програмними управлінням).

Створений демонстраційний ходовий макет дає повну уяву про вигляд майбутнього автомобіля, дозволяє «відчути» автомобіль «зсередини», а також провести ряд попередніх дорожніх випробувань визначення зручності користування автомобілем (вхід-вихід, обслуговування, користування багажним відділенням тощо).

1.5 Етап «Формування детально-вузлового складу конструкції»

Отримані на попередньому етапі принципові технічні рішення по компонуванню й дизайну автомобіля лягають в основу пропозицій по наповненню конструкції автомобіля деталями, вузлами та їхньому конструктивному виконанню (рис. 1.14). Вказані пропозиції включають у документ «Технічне завдання», який складається з раніше сформованого документа «Технічні вимоги до автомобіля» і розділу «Технічні пропозиції по конструкції автомобіля».



Рисунок 1.14 – Схема етапу «Формування детальне-вузлового складу конструкції»

Технічне завдання – це основний інженерний документ, який повинен містити всі вихідні дані для конструкторських підрозділів та постачальників комплектуючих виробів. Затверджене технічне завдання має на увазі, що всі параметри в ньому взаємозалежні й підтверджена їхня технічна досяжність.

Технічні пропозиції по конструкції автомобіля – це складова частина технічного завдання, необхідна для проведення загального компонування автомобіля, наступної розробки конструкції вузлів і деталей, функціонально-вартісного аналізу та інших техніко-економічних розрахунків. Нижче наведений зміст даних технічних пропозицій.

1.6 Етап «Розробка конструкторської документації»

На даному етапі (рис. 1.15) конструкторськими підрозділами розробляється повна й докладна об'ємна віртуальна модель автомобіля, а також відповідний комплект конструкторських документів.



Рисунок 1.15 – Схема етапу «Розробка конструкторської документації»

Об'ємна віртуальна модель автомобіля повинна включати об'ємні віртуальні моделі всього переліку використовуваних

деталей і вузлів, при цьому, на відміну від попередніх компонувальних моделей, вони повинні містити докладну геометрію конструкції з точним пророблення геометричних поверхонь, що враховують особливості технології виготовлення (рис. 1.16).

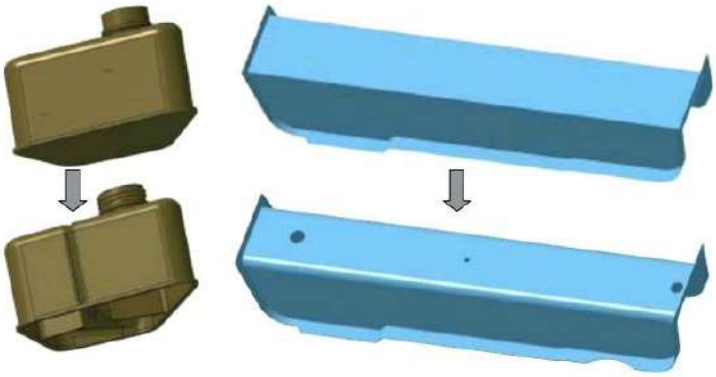


Рисунок 1.16 – Пророблення точної геометрії об’ємних віртуальних моделей деталей автомобіля

Розробка конструкції елементів автомобіля виконується строго у відповідності до виданих компонувальних паспортів і технічних завдань. Якщо постає питання про необхідність зміни параметрів і складу конструкції або геометрії вузлів і деталей (збільшення габаритних розмірів або зміна відносного положення, або введення додаткових елементів і т.п.), то проводяться заходи щодо контрольного компонування з метою перевірки й коректування займаного простору щодо навколишніх елементів в автомобілі.

Після чого виноситься рішення про прийнятність (неприйнятність) пропонованих змін, вносяться відповідні виправлення в компонувальні паспорти й при необхідності в технічне завдання.

Для досягнення необхідних показників надійності, довговічності, якості, а також скорочення маси й собівартості виробу в цілому конструктор при створенні об’ємних віртуальних моделей елементів автомобіля повинен:

- виконувати всілякі розрахункові аналізи із застосуванням

відповідних програмних додатків (на міцність, утому, твердість, зношування й т.п., рис. 1.17) для оптимізації конструкції й геометрії елементів;
- прагнути використовувати технічні рішення, що не ускладнюють технологію й трудомісткість виготовлення (складання) у рамках наявного технологічного устаткування;
- уміти застосовувати сучасні досягнення науки й техніки для вирішення поставлених технічних завдань.

Паралельно зі створенням об'ємної віртуальної моделі автомобіля розробляється комплект конструкторських документів відповідно до норм ЄСКД (Єдиної Системи Конструкторської Документації).

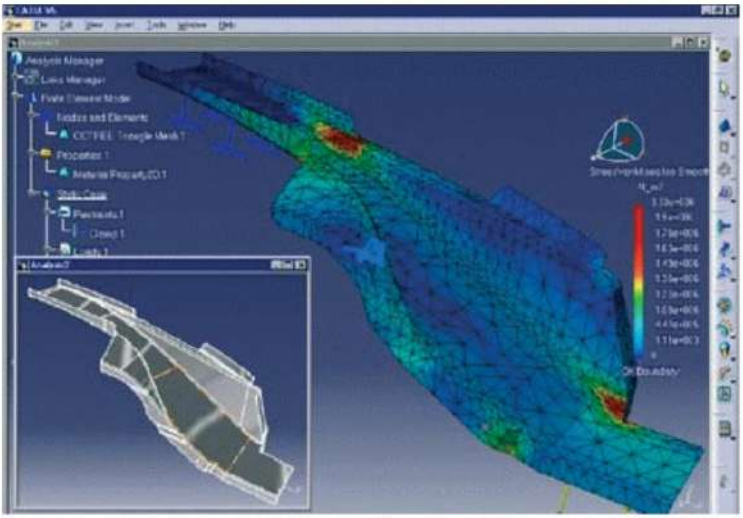
Під комплектом конструкторської документації автомобіля мається на увазі чотири види документів:
- повний перелік креслень;
- комплект відповідних специфікацій;
- технічні вимоги до комплектуючих виробів;
- ремонтно-експлуатаційні документи.

1. Креслення виконуються методом генерування проекційних видів і перетинів з об'ємних віртуальних моделей складових частин автомобіля. При цьому розрізняють три основні типи креслень: креслення на деталь, складальне креслення, монтажне креслення.

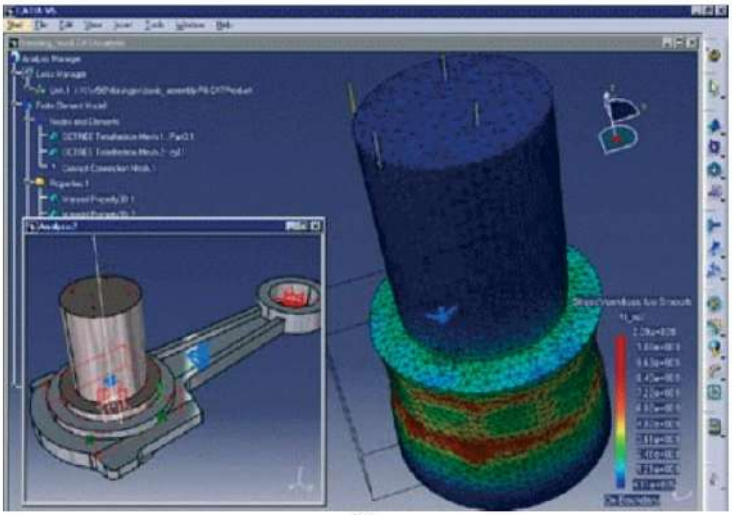
Креслення на деталь повинне містити повну інформацію про геометрію деталі й технологічні особливості її виготовлення, для того щоб технолог по ньому міг скласти технологічний маршрут операцій, а робітник виготовити готову деталь.

Інформація про геометрію деталі вважається повною, якщо на полі креслення наведена достатня кількість видів і перетинів, а також проставлені всі необхідні розміри, що дозволяють відтворити деталь із заданою точністю.

Технологічною інформацією, крім грамотно проставлених розмірних ланцюгів, є:
- допуски на розміри й геометричні взаємоположення (співвісність, паралельність, перпендикулярність і т.п.);
- розмірні й технологічні бази;



а)



б)

а – визначення небезпечних напружених ділянок лонжерона;
б – визначення небезпечних напружених і найбільш
зношуваних ділянок шатунної шийки

Рисунок 1.17 – Розрахунковий аналіз
методом кінцевих елементів

- значення припустимих штампувальних і ливарних кутів, облоя, виступів та ін.;
- маркування матеріалу деталі;
- значення шорсткості поверхонь із вказівкою на способи її досягнення (шліфування, полірування й т.п.);
- значення твердості із вказівкою на способи досягнення (цементація, загартування й т.п.);
- інші необхідні технологічні дані, що приводяться в технічних вимогах на полі креслення.

Складальне креслення виконується на вузли й складальні модулі з метою наочної уяви технології складання та її послідовності. Складальне креслення може виконуватися вже у випадку, коли як мінімум дві окремі деталі з'єднуються між собою за допомогою хоча б однієї технологічної складальної операції.

На полі креслення відображаються необхідна кількість видів і перетинів, номера позицій вхідних елементів, габаритні й складальні розміри, усілякі допуски й посадки на взаємне розташування вхідних елементів, різна технологічна інформація про процес складання. Наприкінці номера позначення складального виробу на кресленні проставляється буквене вираження «СБ».

Монтажне креслення містить вказівки по установці вузлів і систем автомобіля безпосередньо на його кузові або на каркасних елементах великих складальних модулів. Виконується аналогічно складальним кресленням. Але на відміну від складальних, на монтажних кресленнях графічна інформація повинна представлятися щодо системи координат автомобіля, а настановні розміри базуватися щодо відповідних координатних площин. Наприкінці номера позначення монтажного креслення проставляється буквене вираження «МК».

2. Специфікація повинна виконуватися на кожне монтажне й складальне креслення. У ній приводиться кількісний склад вхідних елементів. Під елементами тут маються на увазі складальні одиниці (дрібні підзборки із двох і більше деталей, функціональні вузли, складальні модулі), деталі, стандартні вироби (болти, гайки, шайби й т.п.).

Крім того, у специфікації вказуються номери позицій

елементів відповідно до проставлених позицій на монтажному або складальному кресленнях, формати креслень, цифрові позначення й найменування вхідних елементів.

Цифрове позначення деталей і складальних одиниць, кількість складальних і монтажних креслень, зміст інформації на кресленнях і специфікаціях – усе повинно відповідати структурній схемі описової специфікації автомобіля, що відбиває послідовність технології складання автомобіля за принципом знизу нагору – від окремих деталей до кінцевого виробу «Автомобіль у зборі» (рис. 1.18).

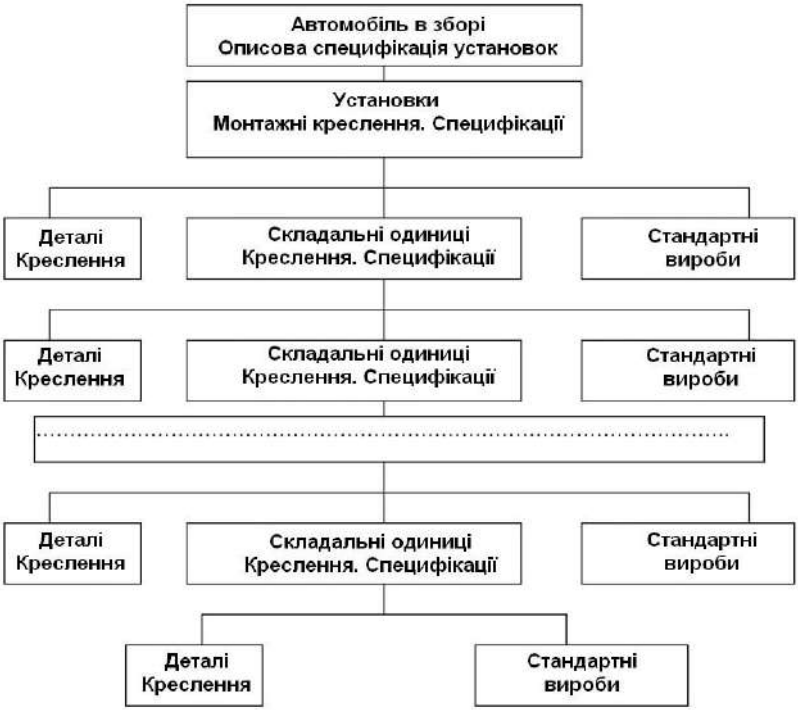


Рисунок 1.18 – Структурна схема рівнів виробів у складі описової специфікації «Автомобіль у зборі»

3. Технічні вимоги до комплектуючих виробів складаються для таких деталей і складальних одиниць, які планують

виготовляти не на власних площах, а на виробничій базі іншої організації (постачальника).

Комплект креслень і специфікацій на такі вироби може бути внутрішньою інформацією постачальника, що робить виріб, і може бути його комерційною таємницею. Тому в деяких випадках у якості графічної інформації для проведення проектно-конструкторських робіт підприємству–розроблювачеві автомобіля надається поверхнева математична модель без внутрішніх конструктивних подробиць.

4. Ремонтно-експлуатаційні документи складаються як на автомобіль в цілому, так і на деякий перелік використовуваних вузлів і агрегатів для забезпечення високих показників довговічності й надійності в процесі експлуатації автомобіля.

Тут приводяться технічні характеристики виробів, умови експлуатації, особливості технічного обслуговування й проведення ремонтних робіт, перелік рекомендованих до використання інструментів, експлуатаційних матеріалів та інша необхідна інформація, що стосується дотримання правил і вимог по обслуговуванню й експлуатації автомобіля.

Конструкторська документація може бути піддана коректуванню за результатами випробувань дослідних зразків автомобілів, проведених на наступних етапах робіт.

1.7 Етап «Випробування конструкції»

В ідеалі передбачається, що знання й досвід інженера достатні для того, щоб сконструювати виріб, відповідно до вимог технічного завдання, а аналіз і перевірки покликані лише підтвердити безпомилковість проектних і конструкторських рішень.

На практиці досягти цього дуже складно, і нерідко виявляються які-небудь невідповідності, особливо на перших дослідних зразках. Тому у випадку виявлення в процесі випробувань розбіжностей з вимогами технічного завдання, невідповідності конструкції повинні бути усунуті (рис. 1.19 і 1.20).

Випробування – це визначення значень параметрів конструкції й властивостей автомобіля, агрегатів, вузлів, систем, на відповідність установленим вимогам.

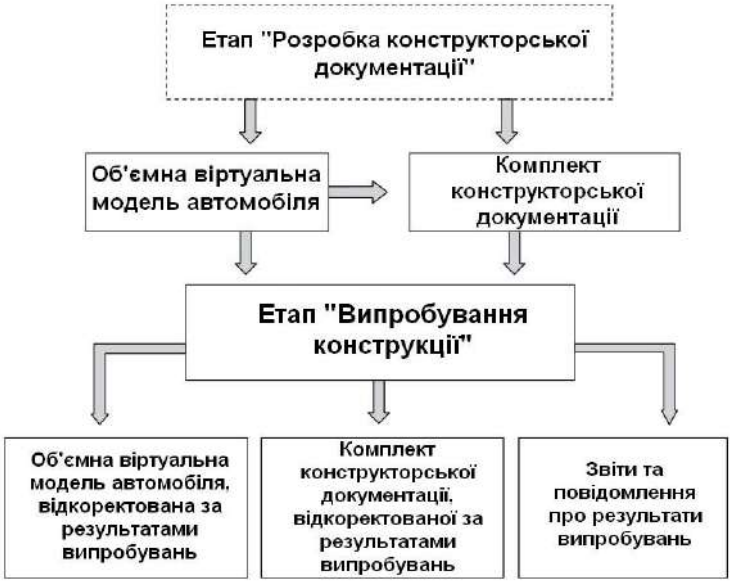


Рисунок 1.19 – Схема етапу «Випробування конструкції»



Рисунок 1.20 – Схема циклу усунення
невідповідностей конструкції

Процес випробувань завжди супроводжується необхідними уточненнями й коректуваннями регламентуючих документів, загального компонування, об'ємної віртуальної моделі автомобіля й відповідного комплекту конструкторської документації.

1.8 Етап «Затвердження конструкції»

Цей етап (рис. 1.21) характеризується проведенням приймальних випробувань. Дані випробування є заключними для конструкторських робіт, після чого відкоректовані об'ємна віртуальна модель автомобіля й комплект конструкторської документації, передаються в діюче виробництво, де приступають до початку складання автомобіля на конвеєрі.



Рисунок 1.21 – Схема етапу
«Затвердження конструкції»

На час приймальних випробувань уже повинна бути проведена частина основних робіт по підготовці серійного виробництва, й завершені випробування дослідних зразків попередніх серій.

Але перед тим як запустити автомобіль у повномасштабне серійне виробництво, необхідно відробити процес складання автомобіля, вузлів, систем і деталей у дослідно-промисловому

виробництві, де реалізується (на наявному або закупленому устаткуванні) виготовлення автомобілів дрібносерійними партіями.

Дослідно-промислове виробництво в мініатюрі повторює серійне виробництво, здійснюване на головному конвеєрі підприємства. Це і є відмінна риса дослідно-промислового виробництва від експериментального, де дослідні зразки (1-ї і 2-ї серій) в основному збираються й виготовляються фактично підручними засобами в одиничних екземплярах з використанням «обхідної технології» (швидкого прототипування).

Дрібносерійна партія зразків, зроблена в дослідно-промисловому виробництві, – це так звана пілотна партія (дослідні зразки 3-ї серії), яку піддають приймальним випробуванням, проведеним для остаточного узгодження й затвердження конструкції автомобіля.

На цій серії проводяться в повному обсязі всі стендові й дорожні (функціональні й ресурсні) випробування, а також перевірочні випробування на відповідність нормам законодавчих вимог.

На підставі актів і протоколів приймальних випробувань і технологічного узгодження вповноважена приймальна комісія на чолі з керівниками підприємства-розроблювача повинна затвердити готовність конструкції автомобіля для постановки на виробництво.

У випадку негативного рішення, відповідні конструкторські й іспитові підрозділи виробляють програму коректувальних заходів і погоджують програму подальших випробувань.

У випадку позитивного рішення, привласнюється літера схвалення «$Д_4$», після чого конструкторська документація та об’ємна віртуальна модель автомобіля, передаються в діюче виробництво.

Крім того, затверджуються й узгоджуються технічні умови на автомобіль. Варто відзначити, що до цього часу сторонні підприємства-виготовлювачі також повинні бути готові до випуску комплектуючих виробів для забезпечення заданої програми випуску автомобілів.

Технічні умови – це документ, що містить основні показники з технічного завдання, підтверджені й перевірені за

результатами раніше проведених циклів випробувань. Є регламентуючим документом технічної відповідності конструкції автомобіля, на підставі якого підприємству-виготовлювачеві можуть бути пред'явлені претензії у випадку невідповідності виробленої продукції, тим або іншим функціональним характеристикам і параметрам.

1.9 Етап «Серійне виробництво»

За результатами контрольних кваліфікаційних випробувань вносяться зміни в конструкторську документацію, якій привласнюється літера стадії розробки «А».

У випадку виявлення невідповідностей автомобіля в процесі заключних випробувань (невідповідності вже не допускаються), припиняють виробництво й проводять додаткові коригувальні дії по спеціальних програмах, у яких позначають причини виявлених недоліків, необхідні коректувальні заходи щодо усунення дефектів, заходи щодо модернізації або освоєння нового оснащення й устаткування, джерел фінансування робіт та ін.

Омологація – це процедура перевірки конструкції транспортного засобу на відповідність внутрішнім вимогам країни-виготовлювача, міжнародним вимогам, національним вимогам країн експорту, а також оформлення документів по присвоєнню знака офіційного затвердження й одержання сертифікатів омологації, що дають право на продаж конкретного типу автомобіля на ринку якої-небудь однієї країни або ряду країн.

У процесі серійного виробництва автомобілів, підприємство здійснює політику просування свого товару на заплановані ринки збуту: проводить рекламні кампанії; укладає договори з дилерами на поставку; розширює мережу пунктів продажу; проводить маркетингові дослідження з розширення попиту; веде аналітичні огляди по реалізації своєї продукції й продукції автомобілів-конкурентів (автомобілів-аналогів), а також їх порівняння за ціною, якістю й технічним рівнем тощо. На підставі звітів по аналітичних оглядах і одержуваного прибутку, підприємство може коректувати обсяг автомобілів, що випускаються, аж до припинення виробництва.

1.10 Етап «Припинення виробництва»

Даний етап (рис. 1.22) визначає заключну стадію життєвого циклу автомобіля (сімейства автомобілів), коли підприємство закінчує його виробництво й реалізацію. Цьому рішенню передує процедура маркетингових досліджень, аналогічних тим, які представлені на першому етапі фази концептування.

По суті, маркетингові дослідження не припиняються протягом усього процесу розробки автомобіля. Маркетингові служби постійно відслідковують можливість і доцільність існування виробу в умовах сучасного світового розвитку автомобільної промисловості.



Рисунок 1.22 – Схема етапу
«Припинення виробництва»

Варто відзначити, що на підставі маркетингових досліджень може бути припинена також розробка конструкції ще до початку серійного виробництва по тим же перерахованим причинам.

Також можливе альтернативне рішення припиненню виробництва на підприємстві-розроблювачі – перенос виробництва на інше підприємство у випадку стійкого попиту на автомобілі. По досягнутих домовленостях підприємство-розроблювач може продовжувати виготовлення й поставку комплектуючих на підприємство, де буде здійснюватися виробництво готових партій автомобілів.

Наказ про припинення (перенос) виробництва автомобілів

випускається керівником підприємства, у ньому також вказують обсяги й строки виготовлення запасних частин для продажу й належного забезпечення ними вповноважених організацій технічного обслуговування й ремонту вже проданих автомобілів. На той час може бути розроблена конструкція й завершена підготовка технології складання вже нового сімейства автомобілів, яке займе місце знятого з виробництва сімейства.

Питання для самоперевірки

1. Назвіть функціональні етапи розробки нового автомобіля.
2. В чому полягає основне завдання дизайнера при розробці зовнішньої форми нового автомобіля?
3. Які функції бюро компонування?
4. Навіщо потрібна база даних автомобілів – аналогів?
5. Що таке технічні умови?
6. Які роботи виконуються на етапі доведення конструкції?
7. Що таке омологація і навіщо вона потрібна?
8. Які роботи виконують на етапі випробування конструкції?
9. Яка інформація є вхідною для маркетингових досліджень?
10. З яких робіт складається розробка дизайн-проекту?
11. Що таке ескізне компонування?
12. В чому переваги об’ємної графіки (3D) над плоскою (2D)?
13. Які роботи дозволяють робити спеціалізовані додатки САПР?
14. Що є результатом ескізного компонування?
15. Навіщо роблять макет зовнішніх форм автомобіля у масштабі 1:1?
16. З чого складається об’ємна віртуальна модель автомобіля?
17. Які види документів входять до складу конструкторської документації автомобіля?
18. Що таке швидке прототипування?
19. Навіщо потрібен етап випробування розробленої конструкції?
20. Коли може бути прийняте рішення про припинення виробництва?

2 ФУНКЦІОНАЛЬНІ МОЖЛИВОСТІ СУЧАСНИХ САПР ВИКОРИСТОВУВАНИХ У МАШИНОБУДУВАННІ

Автоматизувати виробництво людство прагнуло завжди. Але до середини 20-го століття це були спроби вдосконалення механізмів і технологій. Перші спроби використання систем автоматизації почалися після Другої Світової Війни. Назвати проривом застосування електронних пристроїв для потреб ВПК у США наприкінці 1940-х, початку 1950-х не можна.

Потужності обчислювальних машин були тоді недостатні. Серйозні успіхи прийшли тільки в 1970-ті роки, коли з'явилися електронні пристрої, здатні працювати з великим масивом інформації. Цей період прийнято називати першим етапом розвитку автоматизованих систем проектування. Була доведена ефективність використання ЕОМ у вирішенні виробничих завдань.

В 1980-ті почався другий етап електронної революції. До цього часу розмір обчислювальних пристроїв помітно зменшився, а швидкість роботи суттєво зросла. Серйозною причиною вибухового росту став випуск персональних комп'ютерів, за допомогою яких збільшилося коло користувачів.

Серед безлічі шляхів розвитку й декількох великих виробників став вимальовуватися лідер – компанія IBM. Архітектура пристроїв з мікропроцесором Intel x86 виявилася найбільш вдалою для використання в автоматизації проектування. Тоді ж почали зароджуватися CAD і CAM системи в машинобудуванні, наукомістких виробництвах.

Методи просторового моделювання дозволили прораховувати складні процеси, створювати основу технології програмування для верстатів з ЧПУ. До середини 1980-х намітився спад у розвитку популярності продуктів Apple, Motorola. Однак графічні станції під керуванням ОС Unix утримували лідерські позиції. Але вже на початку 1990-х програми на платформі Windows обігнали конкурентів.

Пропоновані системи для верстатів, устаткування були зручніші, продуктивніші й головне дешевші. Методи

просторового проектування виявилися затребувані в енергетиці, виробництві побутовій техніці, автомобілебудуванні, космонавтиці.

Активніше стала використовуватися технологія в машинобудуванні. Програми для токарських верстатів, підвищили якість продукції, скоротили час виробництва. Виникла необхідність створення окремих напрямків у цифровій графіці. Остаточно оформилися терміни CAD, CAM, CAE, їхнє призначення й особливості.

Існує ***кілька тлумачень терміна САПР***, які можна зустріти в різній літературі. САПР – це система автоматичного проектування. Поняття «автоматичний» тут має на увазі, що система функціонує самостійно, без участі людини.

Однак це не так: у САПР частина функцій виконує людина, а автоматичними є тільки окремі проектні операції й процедури. Термін «автоматизація» лише підкреслює обмежену участь людини в процесі проектування, а не повну його відсутність. Тому таке тлумачення САПР є невірним.

Сам термін САПР «Система автоматичного проектування» (в англійській нотації – CAD) з'явився наприкінці п'ятдесятих років XX ст. А вже перші CAD-системи з'явилися лише через десять років.

Прийняте на сьогодні у вітчизняній інженерній практиці визначення САПР (Система Автоматизованого Проектування) – означає комплекс засобів автоматизації проектування, взаємозалежних з необхідними підрозділами проектної організації або колективом фахівців (користувачем системи), що виконує автоматизоване проектування; тобто більш коротко й зрозуміло – поняття САПР містить у собі всі можливості програмного проектування.

Проектування – це процес створення опису, необхідного для побудови в заданих умовах ще не існуючого об'єкта.

Основна функція САПР – виконання автоматизованого проектування на всіх або окремих стадіях проектування об'єктів та їх складових частин. САПР поєднує технічні засоби, різні види забезпечення, параметри й характеристики яких вибирають, враховуючи особливості завдання інженерного проектування об'єктів.

Функціонування САПР визначає нову прогресивну технологію проектування, засновану на взаємодії людини та ЕОМ. Залежно від ступеня участі людини й використання ЕОМ розрізняють режими проектування. Однак все-таки зручніше користуватися англомовними версіями, що описують види й технології виконуваних робіт більш детально. Найбільш популярні терміни означають:

CAD системи – означає комп'ютерну підтримку проектування (Computer Aided Design). Програми з пакетом модулів для створення тривимірних об'єктів з деталізацією їх особливостей та можливістю одержання повного комплекту конструкторсько-проектної документації.

CAM системи – переводиться як комп'ютерна підтримка виробництва (Computer Aided Manufacturing). Це прикладні програми за допомогою яких прописують алгоритми роботи верстатів з ЧПУ. При цьому в якості основи використовується тривимірна модель (3D), зроблена у CAD-системі.

CAE системи – клас продуктів для комп'ютерної підтримки розрахунків та інженерного аналізу (Computer Aided Engineering). Поява можливості створювати твердотільну модель вимагала детального її опису, прогнозування експлуатаційних навантажень, включаючи вплив температури, опору середовища. Тому були розроблені спеціалізовані програми CAE, які сьогодні використовуються або як окремі вбудовані CAE-модулі у САПР, або як окремі розрахункові комплекси, такі як ANSYS, IDEA StatiCa, CalculiX, OpenFOAM, ELCUT тощо.

Автоматизовані системи проектування в процесі еволюції розділилася на окремі напрямки, у рамках яких вирішувалися вузькоспеціалізовані завдання. Розширювався й арсенал інструментів для досягнення мети. Тому сьогодні можна на кожному етапі виробництва вибрати систему, найбільш підходящу в конкретному випадку.

По традиційній класифікації всі САПР підрозділяють на три рівні:

- ***нижній, або легкий рівень.*** Представниками цього рівня є такі САПР, як AutoCAD, Caddy, CADMECH Desktop, Mastercam, T-flex, OmniCAD, Компас. Ціновий діапазон

цих САПР становить 500-2000 доларів за робоче місце;

- ***середній рівень.*** Представниками цього рівня є такі САПР, як Solid Edge, SolidWorks, Autodesk Inventor, Cimatron, Form-Z, CAD Solidmaster і, що усе ще продовжує розбудовуватися, Mechanical Desktop, Designspace. Ціновий діапазон цих САПР становить 2000-20 000 доларів за робоче місце;
- ***верхній, або важкий рівень.*** Представниками цього рівня є такі САПР, як ADAMS, ANSYS, CATIA, EUCLID3, Creo (Pro/ENGINEER), NX (Unigraphics). Ціна цих САПР становить більше 20 000 доларів за робоче місце.

2.1 Легкі САПР

Програми даної категорії служать для двовимірного креслення, тому їх звичайно називають електронною креслярською дошкою. До теперішнього часу вони поповнилися деякими тривимірними можливостями, але не мають засобів параметричного моделювання, які мають важкі й середні САПР.

Ці програми дозволяють скоротити час проектування й поліпшити якість документації тільки за рахунок усунення ручної праці. При цьому вони не захищають від помилок, характерних для ручного проектування – за допомогою кульмана, олівця й ластику. Відносно невисока й вартість таких програм, тому вони користуються попитом, незважаючи на нинішню економічну кризу.

Саме через їхню простоту й дешевину, «легкі» системи стали найпоширенішим продуктом автоматизації проектування, свого роду «робочою конячкою» світу САПР. І якщо ви не виконуєте складних проектів і вас не «підтискають» строки, то ваш вибір можна обмежити такими програмами.

AutoCAD – найпоширеніший продукт, виготовлений компанією Autodesk. Він являє собою автоматичну систему універсального проектування, яка містить у собі необхідні елементи дворівнего креслення й трирівневого моделювання.

Розроблена в 1982 році, автоматизована система AutoCAD заслужено одержала найширше поширення й популярність серед проектувальників всіляких галузей промислової індустрії. Одержавши безперечну перевагу перед іншими

автоматизованими системами через порівняно невисоку ціну, цей програмний продукт досить швидко одержав заслужену популярність.

AutoCAD не тільки впливає на час інженерно-проектних робіт, але й на якість цих робіт у плані неухильної точності. На основі проектних обстежуваних моделей можна швидко виконувати проекції, місцеві розрізи, а також створювати взаємозалежні блоки креслень і цілеспрямовано залежно від виконуваних завдань дистанційно ними управляти й групувати по відповідних до категорій, розділів основного проекту, архівувати інженерно-проектну документацію, а також вчасно організовувати співробітництво різних категорій фахівців. Крім того, програма унікальна тим, що на самих ранніх етапах проектних робіт може встановити неточності й вади, запобігаючи тим самим можливі наступні помилки.

У програмі AutoCAD використовується формат DWG, який сьогодні є стандартом при інженерному проектуванні в будь-якій галузі промисловості, але це – не єдино можливий варіант. Файловий формат pdf, наприклад, успішно використовується різними фахівцями при необхідності обміну даними.

Можливості програми AutoCAD, що постійно розширюються, свідчать про її актуальність і популярності. Зокрема з'явилася можливість виявляти й позначати параметричні внутрішні зв'язки між об'єктами, створювати, змінювати й редагувати об'єкти довільної форми.

Крім того, для деяких галузей промисловості створені спецпрограми AutoCAD: для дорожнього будівництва, галузі машинобудування, землевпорядження, будівельної архітектури, електротехніки. Для виконання інженерно-конструкторських робіт, не пов'язаних з 3D графікою, створена полегшена версія програмного продукту, яка використовується при створенні двомірних креслень (версія AutoCAD LT).

Програма Autodesk дозволяє організувати результативне співробітництво різних фахівців: інженерів, конструкторів, дизайнерів, технологів на самому первісному етапі процесу проектування, оскільки автоматизований продукт надає можливість працювати із цифровими прототипами.

AutoCAD Mechanical – системний продукт, заснований на

платформі AutoCAD, застосовується в промисловому виробництві і являє собою частину цифрових характеристик програми Autodesk. Зберігаючи отриманий раніше досвід і корисні наробітки з підготовленої раніше програми AutoCAD, цей системний продукт дозволяє суттєво прискорити процес виконання проектних робіт. Крім того, він є найбільш точним, оскільки містить у своїй бібліотеці всі необхідні параметри, задані вимогами ДСТУ.

2.2 САПР середнього рівня

Програми даної категорії дозволяють не тільки виключити помилки, можливі при проектуванні за допомогою програм «нижнього» рівня, але й виконати різні перевірочні розрахунки деталей і складань виробу, порахувати їх вагові характеристики та ін., що характерно для програм «важкого» рівня.

Усе це стає можливим завдяки переходу від двовимірного проектування до тривимірного, «об'ємного» моделювання. Застосування таких програм при розробці виробів середньої складності дозволяє значно скоротити час розробки й зменшити кількість помилок у конструкторській документації.

Такі пакети з'явилися у світі САПР зовсім недавно — у середині 1990-х років. До цього існувало тільки два полюси — на одному потужні (читай, «важкі») системи, що працюють на Unix-станціях (втім, тоді їх було набагато більше, чим зараз), а на іншому – прості (читай, «легкі») програми двовимірного креслення для персонального комп'ютера.

Але як тільки персональний комп'ютер здобув достатню потужність, а Windows стала багатозадачною і більш стійкою операційною системою, розроблювачі змогли створити системи автоматизованого проектування, які зайняли проміжне положення між «важкими» і «легкими» продуктами.

Від перших вони успадкували можливості тривимірного твердотільного й поверхневого моделювання, а від других — невисоку ціну, зручний графічний інтерфейс і орієнтацію на платформу Windows. Новинки зробили справжній переворот у світі САПР, дозволивши багатьом конструкторським і проектним організаціям перейти на тривимірне моделювання.

Важливу роль у становленні середнього класу зіграли два

ядра твердотільного параметричного моделювання – ACIS і Parasolid, які з'явилися на початку 90-х років і зараз використовуються в багатьох ведучих САПР. Геометричне ядро служить для точного математичного представлення тривимірної форми виробу й керування цією моделлю.

Отримані з його допомогою геометричні дані використовуються системами CAD, CAM і CAE для розробки конструктивних елементів, складань і виробів. У цей час Parasolid належить фірмі EDS, а ACIS — компанії Dassault, які продають ліцензії на їхнє використання всім бажаючим. Таких бажаючих чимало — ці ядра складають основу більше сотні САПР, а число проданих ліцензій перевалило за мільйон.

Успіх зрозумілий — адже використання готового ядра рятує розроблювачів системи від вирішення трудомістких завдань твердотільного моделювання й дозволяє зосередитися на користувацькому інтерфейсі та інших функціях. Втім, це не означає, що всі САПР середнього класу побудовані на базі цих механізмів. Багато компаній цінують незалежність і воліють розробляти власні «движки».

У числі лідерів «середнього» сегмента — система SolidWorks однойменної компанії (у цей час — вона підрозділ Dassault Systemes), пакет Solid Edge (розроблений фірмою Intergraph, тепер належить EDS), а також програма Inventor від Autodesk.

Крім них у даному сегменті працює безліч компаній, у тому числі й російських. Їхня популярність серед користувачів постійно росте, і завдяки цьому дана область динамічно розбудовується.

У результаті по функціональних можливостях середній клас поступово доганяє своїх більш дорогих конкурентів. Наприклад, будучи початково засобами твердотільного моделювання, ці системи в ході еволюції здобули функції поверхневого моделювання, підготовки виробництва, інженерного аналізу й навіть керування інженерними даними.

Однак далеко не всім користувачам потрібна така різноманітність можливостей. Очевидно, саме цим пояснюється те, що перехід із двовимірних систем на тривимірні ще не завершився, і багато користувачів дотепер віддають перевагу програмам легкого класу.

Solid Edge – це автоматизована система, призначена для геометричного проектування й моделювання деталей і збірних вузлових комплексів. Ця система дозволяє використовувати засоби й базові операції в самому широкому спектрі (на відміну від традиційних автоматичних систем CAD, які орієнтовані на розробку й проектування окремих деталей).

SolidWorks – це САПР, яка дозволяє проектувати інженерні об'єкти в трьох вимірах, функціонує під управлінням програми Microsoft Windows. Через свій простий інтерфейс програма стала досить популярною, фактично ця програма є альтернативним рішенням двомірних програмних забезпечень.

Вперше ця програма була створена в 1993 році й стала конкурентоспроможною в порівнянні з такими програмами, як AutoCAD, Solid Edge, SDRC I-DEAS, Pro/ENGINEER та ін.

Програмне забезпечення SolidWorks має інструменти для виконання тривимірного просторового моделювання, для виконання інженерних креслень і конструкторських складань, роботи зі звареними несучими конструкціями й листовими металевими продуктами, а також неоднорідними поверхнями різних довільних форм. Програма має у своєму розпорядженні можливість імпортування досить великого числа файлів 2D і 3D. З'явилася можливість програмування в Visual Basic і C++, а також передбачена програма аналізу за принципом кінцевих елементів початкового рівня Cosmos.

2.3 Важкі САПР

Програми даної категорії дозволяють реалізувати проект складного технічного пристрою, виконати необхідні розрахунки й перевірки й одержати на виході конструкторську, технологічну документацію й програми для верстатів із числовим програмним управлінням для виготовлення деталей. Такі програми є великоваговими й у ціновій категорії.

У цей час на ринку залишилося лише три САПР верхнього цінового класу — NX компанії Siemens, CATIA французької фірми Dassault Systemes (яка просуває її разом з IBM) і Creo (Pro/Engineer) від PTC (Parametric Technology Corp.).

Раніше потужних системи було більше, але після низки злиттів і поглинань компаній, кількість систем скоротилася.

Головна особливість «важких» САПР — великі функціональні можливості, висока продуктивність і стабільність роботи — усе це результат тривалого розвитку.

Усі названі програми включають засоби тривимірного твердотільного й поверхневого моделювання, а також модулі структурного аналізу й підготовки до виробництва, тобто є інтегрованими пакетами CAD/CAM/CAE.

Крім того, усі три постачальники пропонують для своїх САПР системи керування інженерними даними (PDM – Product Data Management), що дозволяють управляти всією конструкторсько-технологічною документацією й надавати додаткові дані, експортовані з інших корпоративних систем, з довідників і нормативних джерел.

Незважаючи на те, що важкі системи коштують значно дорожче своїх більш «легких» побратимів, витрати на їхнє придбання окупаються швидко, особливо коли мова йде про складне виробництво, наприклад, машинобудування, двигунобудування, авіаційної й аерокосмічної промисловості.

NX Siemens **–** це дуже потужна комплексна CAD/ CAM/ CAE/ PLM система, сьогодні широко використовувана в автомобільній і авіаційній промисловості. Архітектура програмного забезпечення NX була повністю перероблена, внаслідок цієї переробки стало можливим підключення багатьох спеціалізованих нових функцій I-DEAS.

Система автоматизованого проектування I-DEAS (Integrated Design and Engineering Analysis Software) – була одною з перших CAD систем твердотільного моделювання, розроблена Structural Dynamics Research Corporation в 1982 році і використовувалася в основному в автомобілебудуванні. Особливо популярною I-DEAS була у компаній Ford Motor Company і General Motors.

CATIA **–** це система автоматизованого проектування, яку виготовила фірма Dassault Systemes (Франція). Перша версія програми CATIA V1 була представлена в 1981 році. У сучасних умовах користувачі успішно застосовують дві версії програми (V5 і V6). Це – різні версії.

Вперше у 1993 році була представлена програма CATIA V4 і знайшла своє застосування в Unix-подібних системах. Програма CATIA V5 була випущена через 5 років, в 1998 році, і з’явилася

першою програмою, що працювала під управлінням програми Microsoft Windows. Програма V5 була створена на зовсім новій базі й сконцентрувала в собі всі наявні в цьому напрямку наробітки САПР початку 21 століття.

Для стимулювання більш активного переходу до програми CATIA V5, компанія Dassault Systemes приготувала й запропонувала концепцію PLM (Product Lifecycle Management), яка стала затребуваною всією індустрією САПР.

В 2008 році була створена версія програми CATIA V6 компанією Dassault Systemes, яка за задумом виробників повинна підтримувати програми моделювання всіх інженерних конструкцій і супутні процеси, що відбуваються з виробами.

Суть нової концепції, що одержала назву «PLM 2.0 на платформі V6» – у тривимірному моделюванні й можливості спільної роботи декількох співробітників одночасно. Різні фахівці, що перебувають у момент виконання роботи в різних точках планети, могли тепер спілкуватися за допомогою Web.

Безумовно, це стало великим проривом в машинобудівній індустрії, оскільки кожний зі співробітників, що працюють над проектом, міг у реальному часі безперешкодно оперувати реальними й віртуальними об’єктами, використовуючи нові можливості онлайнового спілкування й взаємодії.

Користувачі дали високу оцінку новому підходу у вирішенні конструкторських завдань. PLM-рішення програми V6 включають :

- систему CATIA для автоматизації проектування;
- для керування колективною роботою при вирішенні інженерних завдань передбачена програма ENOVIA;
- для розв’язку завдань системного аналізу – програма SIMULIA;
- для виробництва цифрового матеріалу – програма DELMIA.

Над програмою PALM V6 працюють кілька компаній. Зокрема, це філія ізраїльської фірми Dassault Systemes Israel (SMARTEAM).

Creo (колишній Pro/Engineer) **–** є системою високого класу й має у своєму розпорядженні можливості для інженерного

проектування зварених несучих конструкцій. Ця система містить модулі для базисного твердотільного моделювання й конструкторських збірних вузлів.

Одержати докладний і повний огляд можливостей всіляких систем CAD/CAM/CAE останніх версій, оцінити розподіл впливу учасників ринку систем САПР, причини переходу з однієї системи на іншу – можна безпосередньо на сайтах розробників САПР, або за допомогою спеціалізованих ресурсів у мережі Internet, таких як наприклад http://www.cad.dp.ua. На ньому зібрані не тільки огляди різних САПР, але й різні статті, поради й посилання на сайти розроблювачів даних систем.

Слід пам'ятати, що сьогодні всі компанії-розроблювачі САПР, на своїх сайтах викладають не тільки останні релізи своїх програм, але й різні довідкові матеріали по своїх програмних продуктах. Оскільки вони зацікавлені в усе більшому поширенні й використанні саме своїх версій САПР.

Так лідер ринку компанія Autodesk дає ліцензію для студентів на три роки при використанні своїх програм. По функціоналу «студентська» версія програми конструювання майже така ж, як дорога професійна версія, але коштує в рази дешевше.

Причому вартість базового пакета Autodesk для одного користувача (одне робоче місце) завелика навіть для діючого, високооплачуваного «західного» інженера. Тому САПР важкого рівня (CATIA, Creo, NX) закуповують тільки підприємства, при цьому у вартість ліцензії входить і навчання співробітників даної версії програми.

2.4 Поняття векторної й растрової графіки

Перш ніж розглядати можливості спеціалізованих програм моделювання, слід розібратися із самими базовими поняттями, на основі яких побудована робота всіх програм 2D і 3D моделювання – а саме поняття векторної й растрової графіки, хоча окремо називають ще й фрактальний тип відокремлення зображень, говорити про який ми не будемо.

Для роботи з будь-якими зображеннями на екрані комп'ютера необхідні спеціальні програми, які прийнято

називати графічними редакторами.

Графічний редактор – це спеціальна програма для створення, редагування й перегляду графічних зображень. Графічні редактори можна розділити на дві категорії – растрові й векторні, залежно від того з яким типом графіки вони працюють.

Векторна графіка – представляє собою набір геометричних примітивів, наприклад: точки, прямі, окружності, прямокутники.

Головна особливість векторної графіки в тому, що вся інформація про графічні об'єкти, зберігається в пам'яті комп'ютера у вигляді різних математичних формул. А це дає можливість зміни розмірів зображення без втрати якості картинки.

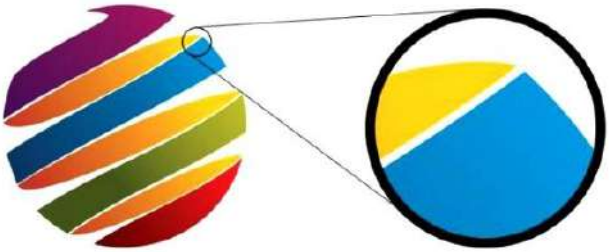


Рисунок 2.1 – Малюнок векторної графіки

При масштабуванні векторних зображень відбувається перерахування цих формул і такі візуальні елементи, як лінія, окружність або будь-яка інша геометрична фігура, залишаються незмінними. Такою ж залишається і якість картинки в цілому. Це значно спрощує роботу із графікою й підвищує якість кінцевого результату.

Крім того, розмір файлів, у яких утримуються векторні зображення, значно менший, чим файли з растровою графікою такої ж якості, навіть якщо мова йде про зображення значного розміру з гарною деталізацією.

Доповнює переваги векторної графіки робота як з окремими примітивними об'єктами, так і наявність можливості поєднувати їх у групи, зливати, обрізати й виконувати ще дуже велику кількість різних дій. Зображення при цьому є пошаровим, як і в будь-якому растровому редакторі, наприклад Adobe Photoshop.

Недоліки векторної графіки:

- відсутність можливості створювати реалістичну картинку, близьку по якості до світлини, це значно зменшує застосування векторної графіки;
- велика бібліотека фільтрів, які створюють найцікавіші ефекти при роботі з растровими картинками, у випадку роботи із векторними кривими стає абсолютно даремною;
- на відміну від растрових зображень, файли, що містять картинки у векторі, можна редагувати тільки в тій програмі, у якій вони були створені початково; але із цього правила є виключення, існують універсальні формати, вони змінюються в більшості векторних редакторів.

Самі популярні «векторні» програми – CorelDraw, Adobe Illustrator, Xara Designer, Adobe Fireworks, Inkscape, SK1.

Растрова графіка — завжди оперує матрицею пікселів. Кожному пікселю зіставляється значення яскравості, кольору, прозорості або комбінація цих значень.

У растровому виді представимо будь-яке зображення, однак цей спосіб зберігання має свої недоліки: більший об’єм пам’яті, необхідний для роботи із зображеннями, втрати при редагуванні. Растровими зображеннями є будь-які світлини, скановані картинки й зображення.

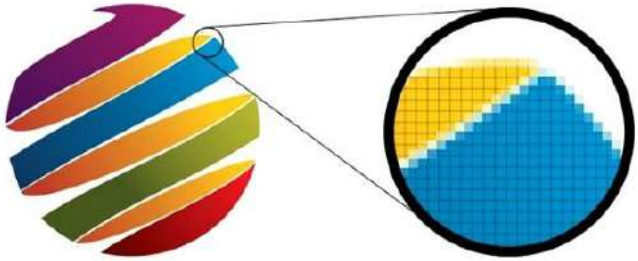


Рисунок 2.2 – Растрова графіка (при збільшенні стає видна матриця пікселів)

Звідси виникає таке поняття як «Розмір (Разрешение)» – це величина, що визначає кількість точок (елементів растрового

зображення) на одиницю площі (або одиницю довжини). Його прийнято вимірювати в пікселях (англ. pixel, pel – скорочення від pictures element).

Чим більше пікселів на одиницю площі містить зображення, тим більше воно детально. Максимальна деталізація растрового зображення задається при його створенні й не може бути збільшена. Якщо збільшується масштаб зображення, пікселі перетворюються в крупні зерна.

За допомогою інтерполяції ступінчастість можна згладити. Ступінь деталізації при цьому не зростає, тому що для забезпечення плавного переходу між вихідними пікселями просто додаються нові, значення яких обчислюється на підставі значень сусідніх пікселів вихідного зображення.

Кожний піксель растрового зображення — це об'єкт, що характеризується певним кольором, яскравістю й, можливо, прозорістю. Один піксель може зберігати інформацію тільки про один колір, який і асоціюється з ним (у деяких комп'ютерних системах колір і пікселі представлено у вигляді двох роздільних об'єктів, наприклад, у відеосистемі ZX Spectrum).

Більшість форматів графічних файлів дозволяють зберігати дані про бажаний масштаб при виводі на друк, тобто про бажаний дозвіл в dpi (англ. dots per inch – ця величина говорить про кількість точок на одиницю довжини: наприклад 300 dpi означає 300 точок на один дюйм). Це винятково довідкова величина. Як правило, для одержання роздруківки світлини, який призначений для розглядання з відстані порядку 40 – 45 сантиметрів, досить розміру 300 dpi.

Найбільш популярні графічні редактори, у яких використовується растрова графіка, це: Microsoft Paint, Adobe Photoshop, Corel Photo-Paint, Adobe Fireworks, GIMP і т.д.

Переваги растрової графіки.

Растрові редактори є найкращим засобом обробки світлин і малюнків, тому що забезпечують високу точність передачі градацій кольорів та півтонів.

Недоліки растрової графіки.

Зображення, створювані в растрових програмах, завжди займають багато пам'яті. Із цієї причини інформація у файлах растрового формату зберігається, як правило, у стислому виді.

Растрові зображення неможливо збільшувати для уточнення деталей. Тому що зображення складається із точок, то збільшення приводить до того, що точки стають крупніше, що візуально спотворює ілюстрацію. Цей ефект називається пікселізацією.

Векторний і растровий формат зображення відрізняються один від одного не тільки особливостями обробки й редагування. Застосування векторної графіки обмежене в основному областю поліграфії: логотипи, ілюстрації, технічні малюнки й схеми. Растрова ж графіка застосовується значно ширше.

2.5 Одержання фотореалістичного зображення у 3D-графіці

Усі програми САПР і 3D-графіки (Maya, 3ds Max, Zbrush, Cinema 4D, Lightwave, Rhinoceros тощо) початково працюють (створюють об'єкти) у векторному форматі. А потім, для одержання фотореалістичного зображення, у спеціальних модулях проводиться процес називаний растрируванням (растерізація).

Так наприклад в SolidWorks для додаткового зафарбовування в реальному часі, включаючи відкидання тіні й відбиття сцени, застосовується спеціальний інструмент Realview (рис. 2.3).

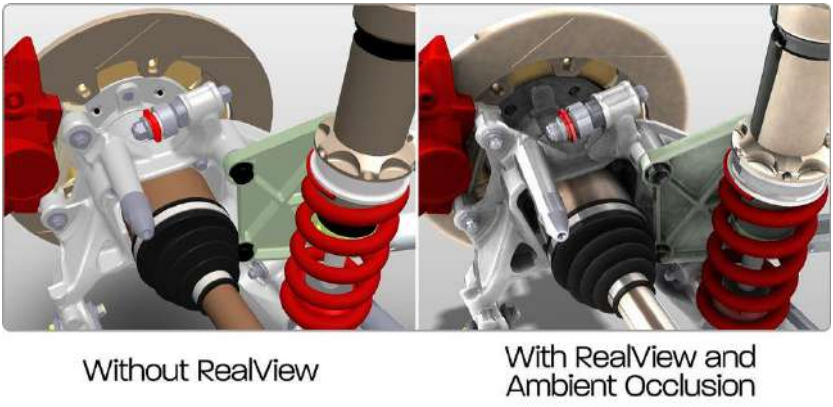


Рисунок 2.3 – Застосування інструмента
Realview в SolidWorks

Застосовуючи Realview під час моделювання, ви одержуєте

цілком реалістичне зображення моделі, або складання, на екрані комп'ютера, таке як у реалії, за допомогою натискання всього лише однієї кнопки, швидко й зручно.

Аналогічно, коли ви скануєте якесь креслення (малюнок, зображення), ви одержуєте растровий малюнок. Для подальшого використання відсканованого креслення в CAD-системі, необхідно провести його векторизацію – тобто перевести зображення з растрової форми у векторну – це процес, зворотний растеризації.

Основним інструментом усіх векторних редакторів є інструмент – Криві Бєзьє, він дозволяє створювати прямі, ламані й гладкі криві, що проходять через вузлові точки, з певними дотичними в цих точках.

Цей інструмент моделювання з'явився в арсеналі конструкторів досить давно. Вивченням принципів опису складних тривимірних об'єктів зайнялися ще в 50-х роках минулого століття.

Необхідність удосконалення процесу й інструментів моделювання була викликана потребою створення більш складних форм, чого досягти за допомогою лінійок, циркулів і лекал було неможливо. Крім того, математичні моделі були потрібні й для верстатів з ЧПУ.

Тому наприкінці 1950-х відразу дві французькі автомобільні компанії «Рено» і «Сітроен» паралельно запропонували способи математичного опису поверхонь. Працівники цих компаній П'єр Бєзьє й Поль де Кастельжо розробили процедуру опису поверхонь, створених із кривих, які можна контролювати в проміжних точках (рис. 2.4).

Незважаючи на те що Поль де Кастельжо із «Сітроен» розробив свій метод на пару років раніше (в 1959 році), криві й засновані на них поверхні одержали назву на честь П'єра Бєзьє, оскільки його дослідження було опубліковано в 1962 році, а інформація про Поля де Кастельжо з'явилася тільки в 1970-х.

Криві Бєзьє — це вдосконалені Ермітові криві. Якщо Ермітову криву не можна контролювати в проміжних точках, а задається тільки її поведінка на початку й кінці, то поведінку кривої Бєзьє можна контролювати на всіх ділянках за допомогою проміжних точок.



Рисунок 2.4 – Citroen та утворюючі форму криві



Рисунок 2.5 – Приклад Кривої Бєзьє у вікні
САПР під час моделювання

Ступінь кривої визначає кількість контрольних точок. Дві контрольні точки означають, що крива має перший ступінь і безперервна на одній ділянці, п’ять контрольних точок свідчать про четвертий ступінь на чотирьох безперервних ділянках.

Однак криві Бєзьє мають ряд обмежень. Зокрема, їх розрахунки ускладнюється з ростом кількості контрольних точок, що суттєво утрудняє застосування таких кривих. Саме тому розвиток математичного апарату для опису кривих і поверхонь не зупинився на роботах Бєзьє.

У якості альтернативи кривим Бєзьє прийшли **сплайни** –

складні криві, що складаються із простих сегментів, гладко сполучених один з одним. Як різновид сплайнів у комп'ютерному моделюванні закріпилися NURBS-поверхні, описані в 1975 році Кеноном Версприлом.

Ключова відмінність NURBS від кривих Бєзьє – можливість створення точки вставки (Knot), що розбиває складну криву на складові. Це дозволяє гладко з'єднати дві криві Бєзьє в одну NURBS-криву. При використанні таких кривих як каркасів створюються поверхні. Залежно від складності, поверхня може мати або криві, що просто граничать (у простому випадку), або деяке число проміжних кривих (рис. 2.6), які дозволяють управляти поверхнею на всіх ділянках.

Вказані інструменти моделювання Криві Бєзьє, NURBS-поверхні та сплайни – є основою сучасних систем поверхневого моделювання. Вони дозволяють не тільки створювати й контролювати складні поверхні, але й гладко з'єднувати їх між собою таким чином, щоб людське око не змогло відрізнити, де закінчується одна й починається інша поверхня.



Рисунок 2.6 – NURBS-поверхня

У більшості САПР та програм 3D графіки ці інструменти дозволяють з'єднувати криві й поверхні з безперервністю по розташуванню (G0), дотичній (G1) і кривизні (G2). І тільки Autodesk Alias створює ще більш гладкі з'єднання по G3 і G4.

У таких з'єднань також є свій математичний опис. Більш докладно довідатися про історію NURBS і ролі, які вони відіграють у сучасних САПР, можна у спеціалізованій літературі. А щоб наглядно зрозуміти математику цих кривих і сполучень,

треба запустити будь-яку САПР і розпочати роботу цими інструментами. Серед усіх спеціалізованих програм 3D-моделювання використовуваних у автомобілебудуванні при розробці дизайну нових автомобілів слід виділити ***Autodesk Alias Automotive.***

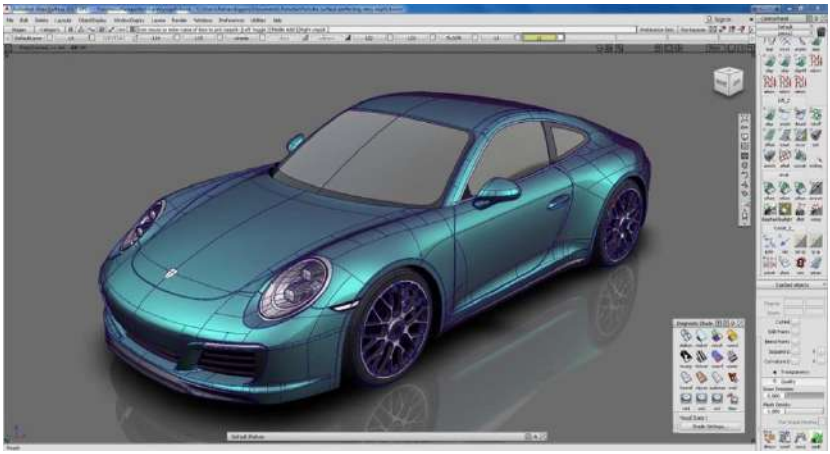


Рисунок 2.7 – Porsche 911 розроблений
у Autodesk Alias Automotive

Програму ***Alias Automotive*** сьогодні успішно використовують в усьому світі провідні автомобільні дизайн-студії, оскільки вона містить повний набір інструментів і рішень, необхідних для розрахунків і візуалізації всіляких форм і поверхонь.

Програмне забезпечення, у якому намагалися добитися математично точних поверхонь, з'явилося ще 30 років тому, але тільки зараз воно стало невід'ємною частиною дизайнерського пророоблення й конструкторської підготовки виробництва.

Лідером у цій області по праву вважається лінійка продуктів Alias від компанії Autodesk, але в СНД дані технології ще не одержали широкого поширення з ряду причин. Так, багато виробників не усвідомлюють, що, крім зовнішніх характеристик, математично точні поверхні допомагають досягти цілого ряду переваг по експлуатаційних характеристиках.

Наприклад, поверхні класу А (поверхні кузова автомобіля) мають більший коефіцієнт запасу міцності при статичних

навантаженнях, що, у свою чергу, дозволяє заощаджувати на матеріалі. А відсутність кваліфікованих фахівців гальмує впровадження подібного роду ПО на підприємствах та інтеграцію із уже звичними всім машинобудівними САПР. Autodesk Alias охоплює всі етапи дизайну виробу: створення начерків та ескізів, одержання тривимірної моделі виробу на їхній основі й фотореалістичну візуалізацію (рис. 2.8-2.11).

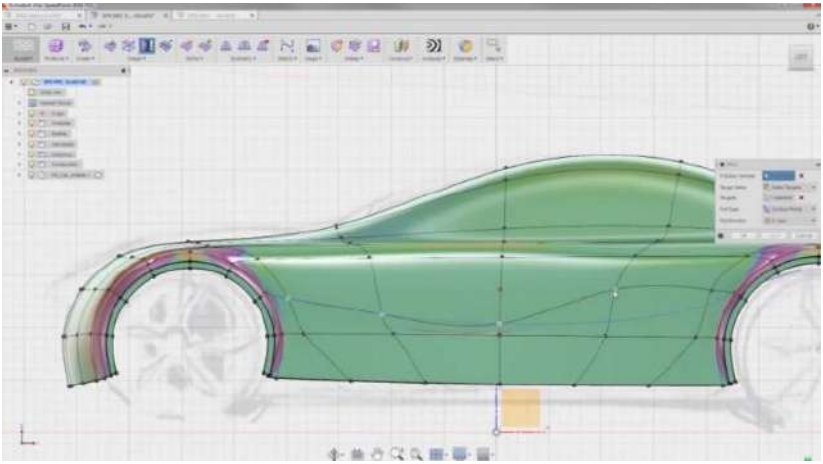


Рисунок 2.8 – Робота в полі ескізу у Alias Automotive

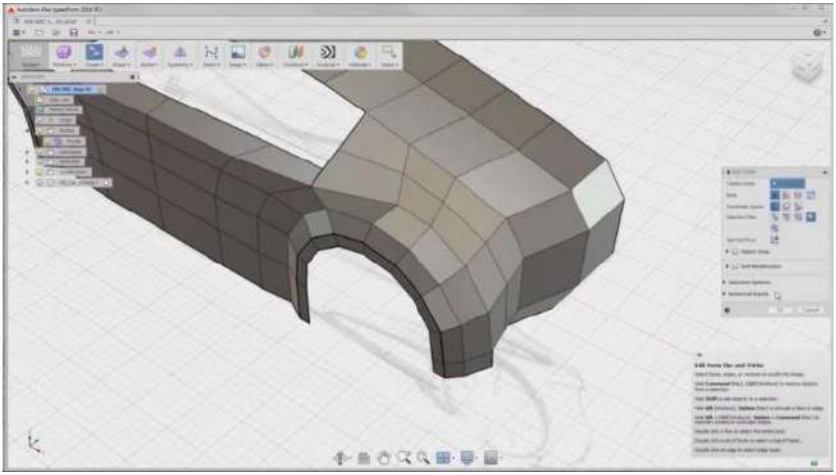


Рисунок 2.9 – Робота з NURBS-поверхнями у Alias Automotive

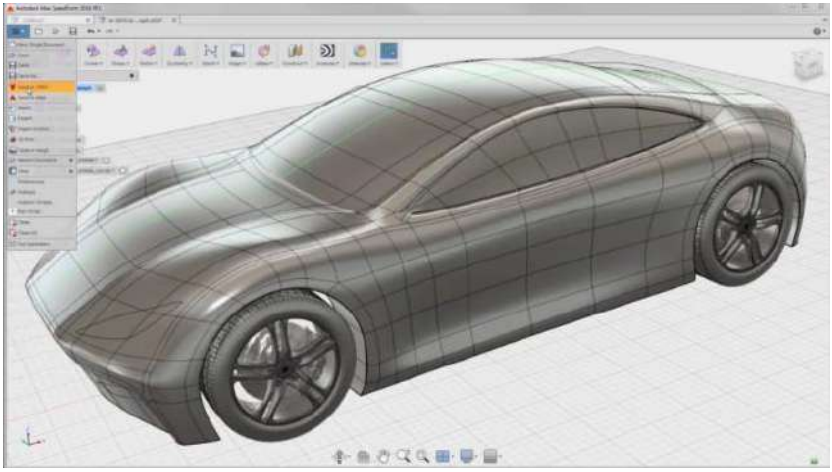


Рисунок 2.10 – Перетворення сітчастої моделі
у поверхневу в Alias Automotive



Рисунок 2.11 – Фотореалістична візуалізація
моделі Porsche 911 розробленої у Alias Automotive
із додаванням фону

Набір інструментів для створення ескізів дозволяє працювати з імпортованими зображеннями або створювати начерк з нуля. Autodesk Alias надає можливості повнофункціонального графічного редактора. Також Autodesk Alias дозволяє працювати за допомогою графічного планшета, що ще більше спрощує процес проробляння зовнішнього вигляду виробу.

На основі ескізів створюється тривимірна модель, яка

складається з безлічі «шматків» — патчей (patch), що представляють собою одиночні NURBS-поверхні, які «натягають» на NURBS-криві, як на каркаси.

Патчи сполучаються один з одним, утворюючи patch layout. Ту саму форму можна змоделювати по-різному, створюючи різні комбінації патчей. Те, яким образом з'єднані патчи, і характеризує якість поверхні. Autodesk Alias дозволяє створювати безперервність (continuity) від G0 до G4. Безперервність G3 і G4 забезпечують найбільш плавний перехід поверхонь.

З найперших кроків пророоблення концепції виробу Autodesk Alias надає великий набір як стандартних, так і зовсім унікальних інструментів, дозволяючи дизайнерам проектувати поверхні класу А в найкоротший термін.

Комбінування 2D- і 3D-геометрії дає можливість вільного редагування складних поверхонь, враховуючи функціональне призначення виробу. Autodesk Alias допомагає скоординувати роботу різних служб і відділів шляхом проставляння особливих позначок на моделі (рис. 2.12).

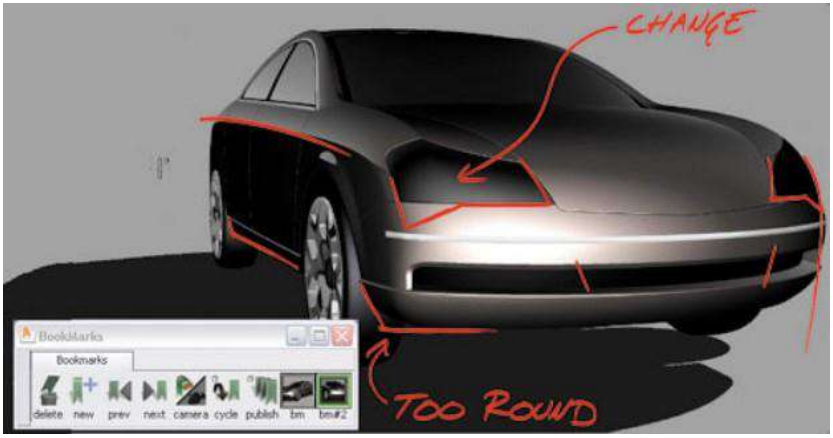


Рисунок 2.12 – Нанесення позначок
на моделі у Alias Automotive

Швидка й надійна передача даних в інші САПР можлива завдяки використанню нейтральних форматів (IGES і STEP), а

також транслятора даних Autodesk Directconnect, який дозволяє безперешкодно обмінюватися даними з різними САПР (CATIA V5/V6, NX, імпорт із SolidWorks, Creo).

Протягом усіх етапів проектування Autodesk Alias дає можливість стежити за всіма змінами моделі й представляти варіанти проектованого виробу у вигідному світлі завдяки вбудованим засобам візуалізації, які дозволяють створювати фотореалістичні зображення й відеоролики.

Величезна бібліотека шейдерів і настроювання висвітлення дозволяють виконувати всі роботи пов'язані з візуалізацією, безпосередньо в Autodesk Alias, а можливість експорту в Autodesk Showcase забезпечує можливість інтерактивної демонстрації виробу.

Autodesk Alias – це універсальний комплекс і головний інструмент сучасного промислового дизайну, що вирішує всі завдання моделювання: створення ескізу, проектування тривимірної моделі й візуалізацію концепції виробу. Сумісність із основними CAD-системами зводить до нуля ризик викривлення дизайнерського задуму при передачі моделі конструкторам.

Працювати в Autodesk Alias можна без знання основ CAD-проектування, що дозволяє залучати до розробки промислових виробів людей, що не мають спеціальної технічної освіти.

До складу сімейства входять Autodesk Sketchbook Designer, Autodesk Alias Design, Autodesk Alias Design for Inventor, Autodesk Alias Surface і Autodesk Alias Automotive, що дозволяє споживачеві вибрати продукт із необхідним для нього функціоналом.

Питання для самоперевірки

1. Яка основна мета використання систем САПР?
2. Як класифікуються системи САПР?
3. Коли з'явилися перші автоматизовані системи проектування?
4. Які основні функції CAM-систем?
5. Що таке хмарні САПР і які переваги їхнього використання?
6. Що таке твердотільне моделювання?
7. Яка основна функція САПР?
8. Що розуміють під проектуванням?
9. Які функції виконують системи CAE?

10. Які функції САПР легкого рівня?
11. До якого рівня відносять САПР CATIA, NX, Creo?
12. Що таке графічний редактор?
13. Що таке векторна графіка та які її переваги й недоліки?
14. Що таке растрова графіка та які її переваги й недоліки?
15. Навіщо потрібна векторизація?
16. Для чого потрібен інструмент Крива Бєзьє?
17. Що таке сплайн?
18. Розкажіть про використання поверхонь типу NURBS.
19. Назвіть спеціалізовані програми 3D-моделювання використовувані у автомобілебудуванні.
20. Що таке візуалізація і для чого вона потрібна?
21. Який процес зворотній векторизації і навіщо він потрібен?
22. Які переваги САПР середнього рівня?
23. Яка головна особливість важких САПР?

3 ЗАГАЛЬНІ ПРИНЦИПИ СТВОРЕННЯ ТВЕРДОТІЛЬНИХ МОДЕЛЕЙ, ЕСКІЗІВ ТА КРЕСЛЕНЬ У САПР

Перш ніж приступити до побудови тривимірних моделей, давайте спробуємо відповістити на запитання: а навіщо нам це потрібно? Оскільки в наш час, в не найкращі для нашої економіки часи, ще майже половина користувачів САПР засновують свою роботу на двомірних, тобто плоских технологіях.

Тому є кілька причин, і головна серед них не стільки людська інертність в освоєнні нових технологій, скільки вартість ліцензій сучасних систем САПР.

Отже це означає, що використовувані ними системи (наприклад той же AutoCAD), працюють у режимі «електронного кульмана». У цьому випадку електронне креслення складається з окремих геометричних примітивів (відрізків, окружностей, дуг тощо).

При введенні геометричних об'єктів, що складають креслену деталь, конструктор може використовувати знання й навички, набуті при кресленні на кульмані, з використанням олівця та лінійок, тому що логіка креслення в обох випадках має багато спільного.

Незважаючи на те, що 2D-системи дозволяють цілком успішно вирішувати поставлені перед більшістю користувачів завдання, у міру розвитку нових технологій усе ясніше проявляються серйозні обмеження, властиві плоскому проектуванню.

Основний недолік 2D-систем полягає в тому, при створенні плоского креслення конструкторові доводиться мислити не в термінах проектованої деталі – основа, отвір, ребро жорсткості, а в термінах традиційного набору геометричних примітивів – відрізок, дуга, окружність і т.д.

Наприклад, для побудови тонкостінної трубки на зображенні деталі Патрубок, показаної на рис. 3.1, конструктор повинен розкласти її на окремі відрізки й дуги й побудувати проекції цих елементів на всіх необхідних видах деталі. Ця робота вже досить рутинна і не несе в собі творчого початку.

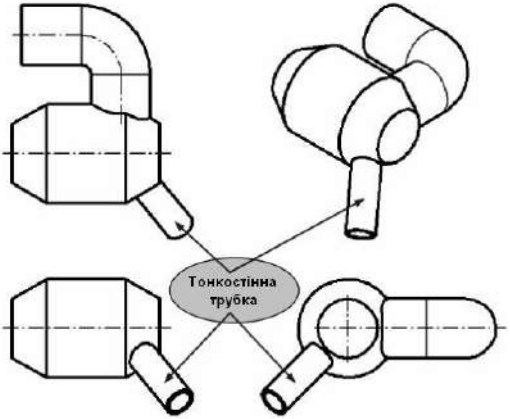


Рисунок 3.1 – Патрубок

Якщо виникає необхідність внести в деталь будь-які зміни, то їх необхідно заново відобразити на всіх видах деталі, що знову пов’язано з великими витратами часу.

Частково цю проблему можна вирішити за рахунок створення параметричних плоских креслень. Однак не всі сучасні 2Dсистемы мають такі можливостями. До того ж створення складного параметричного креслення є далеко не простим завданням.

Обмеження 2Dсистем особливо наочно проявляються, коли поверхня деталі має складну форму (рис. 3.2), або коли необхідно побудувати аксонометричну проекцію (рис. 3.3).

Значна трудомісткість побудови складних поверхонь і аксонометричних проекцій може змусити конструктора відмовитися від їхнього зображення або спростити форму деталі. У першому випадку це утрудняє розуміння проекту, у другому – знижує привабливість виробу з погляду споживача.

Список обмежень двомірного проектування можна продовжити й далі. У нього можна включити складність розуміння взаємного положення й взаємодії деталей у складальних одиницях, складність або неможливість передачі даних у системи інженерного аналізу й підготовки керуючих програм для верстатів із числовим програмним управлінням (ЧПУ).



Рисунок 3.2 – Приклад складної форми

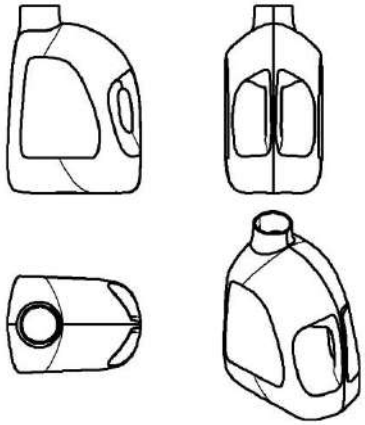


Рисунок 3.3 – Побудова видів та аксонометрії

Наведені вище приклади дозволяють зробити висновок, що використання тільки лише двомірних систем як засобу проектування й підготовки креслень породжує серйозні проблеми й сповільнює випуск нових виробів.

3.1 Перехід на тривимірне моделювання

Сучасні 3D-системи мають досить ефективні засоби моделювання.

Вони дозволяють створювати тривимірні моделі самих складних деталей і складань.

Використовуючи наочні методи створення об’ємних елементів, конструктор оперує простими й природніми поняттями: основа, бобишка, ребро жорсткості, отвір, фаска, оболонка (рис. 3.4).



Рисунок 3.4 – Основні елементи 3D-моделі деталі

При цьому процес проектування часто відтворює технологічний процес виготовлення деталі. У процесі побудови тривимірних моделей складальних одиниць конструктор має можливість тимчасово відключати відображення будь-яких елементів моделі.

Це особливо зручно, якщо модель містить у собі корпусні деталі, у яких розміщені інші компоненти виробу. На рис. 3.5 ліворуч показана модель складальної одиниці «Вентиль», виконана в системі КОМПАС. Праворуч показана частина тієї самої моделі, але з «погашеною» деталлю «Корпус».

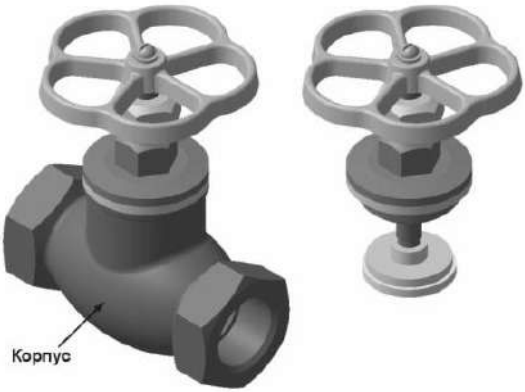


Рисунок 3.5 – Складання «Вентиль» в зборі
розроблений в системі Компас

У будь-який момент, безпосередньо на екрані монітора, конструктор може виконати розріз моделі стандартними або додатковими площинами проекцій, або побудувати свій, самий неймовірний розріз. На рис. 3.6 ліворуч «Вентиль» розсічений фронтальною площиною проекцій. Праворуч те ж складання розрізане ескізом, що представляють собою ламану лінію із двох перпендикулярних відрізків.

Після побудови 3D-моделі деталі або складання, або безпосередньо в ході побудови, конструктор може одержати її креслення, уникши в такий спосіб рутинного створення видів засобами плоского креслення. Для цього потрібно лише вказати необхідні види, провести лінії розрізів або перетинів.

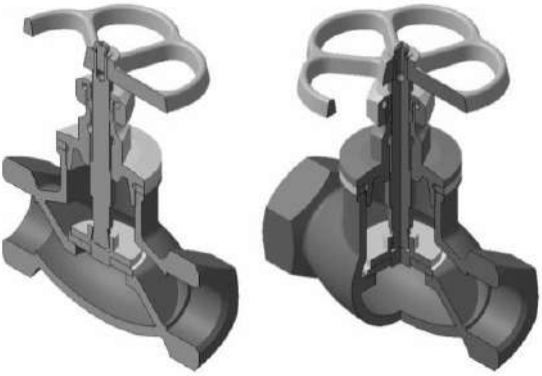


Рисунок 3.6 – Перетин вентиля
фронтальною та ламаною площинами

Плоске креслення буде створено автоматично та з абсолютною точністю, незалежно від складності моделі. Отриманий у такий спосіб документ можна допрацьовувати вбудованими в систему засобами 2D-креслення: проставити додаткові розміри, позначення позицій, заповнити основний напис або підготувати специфікацію (рис. 3.7).

У всіх сучасних 3D-системах об'ємні моделі й плоскі креслення асоційовані між собою. Це означає, що будь-яка зміна, внесене в модель, буде негайно й точно відбите на всіх видах креслення. Кожна сучасна 3D-система має у своєму розпорядженні потужні засоби редагування моделі. Можливості таких систем дозволяють задавати параметричні зв'язки та асоціації як між окремими елементами деталей, так і між деталями в складальних одиницях. Це дозволяє швидко вносити зміни в проект, створювати різні варіанти як окремих деталей, так і всього виробу в цілому.

На рис. 3.8 показано два варіанти деталі «Кронштейн», що відрізняються розмірами своєї основи. Для побудови другого варіанта досить змінити значення розміру, що визначає довжину основи. Після цього система перебудує модель зі збереженням загальної топології деталі: хомут для кріплення підшипника пов'язаний з лівою гранню деталі, а три кріпильні отвори – із правою.

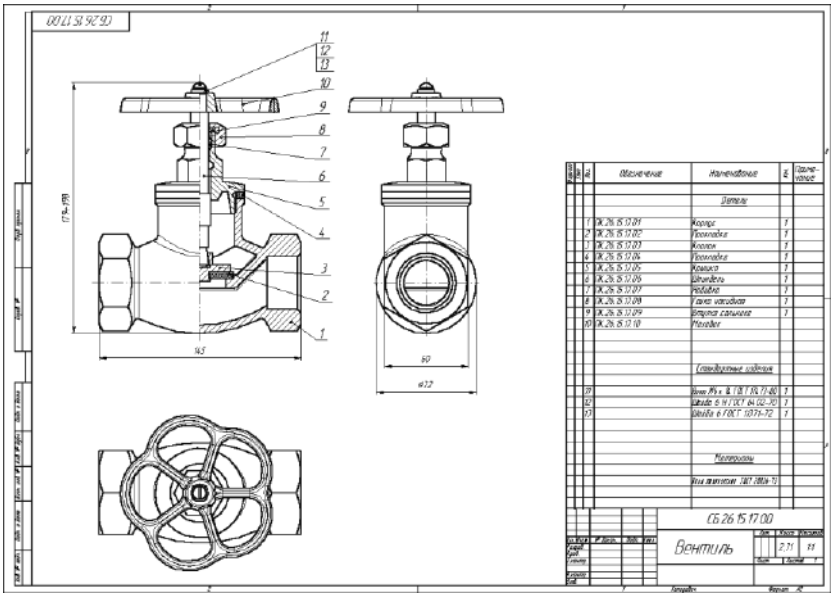


Рисунок 3.7 – Автоматично створене
креслення зі специфікацією

Три деталі, показані на рис. 3.9 – це насправді три різні конфігурації однієї й тієї ж моделі «Хрестовина», що відрізняються своїми параметрами. Таким чином, для одержання всіх типорозмірів родинних деталей, що випускаються або використовуваних на підприємстві, часто досить побудови однієї єдиної моделі. По тривимірній моделі деталі система легко визначає її фізичні характеристики: площа поверхні, об’єм, координати центру ваги і т.д.. Якщо користувач визначає властивості матеріалу, то автоматично обчислюється маса.

Це стосується як деталей, так і складань будь-якої складності. На рис. 3.10 показана модель складальної одиниці «Блок напрямний», виконаної в системі КОМПАС.

А вже на рис. 3.11 ви бачите інформаційне вікно з результатами розрахунків масових та інерційних характеристик складання з урахуванням ваги кожної із вхідних у неї деталей.

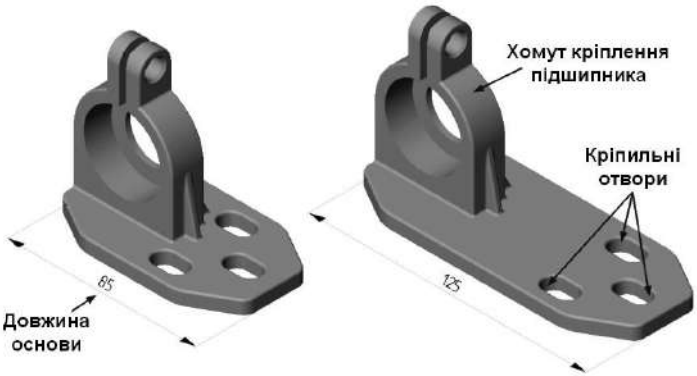


Рисунок 3.8 – Варіанти деталі «Кронштейн»

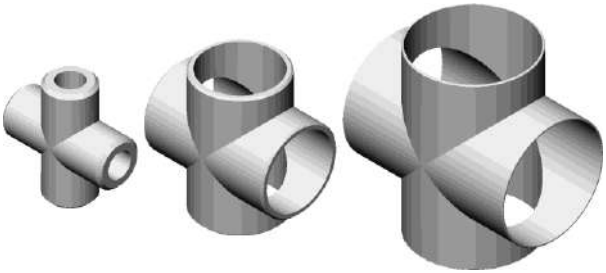


Рисунок 3.9 – Конфігурації деталі «Хрестовина»

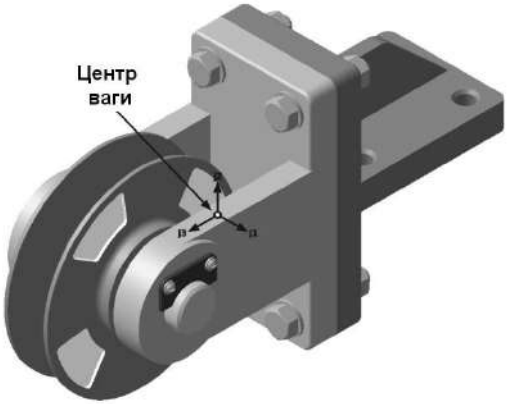


Рисунок 3.10 – Центр ваги складання
«Блок напрямний»

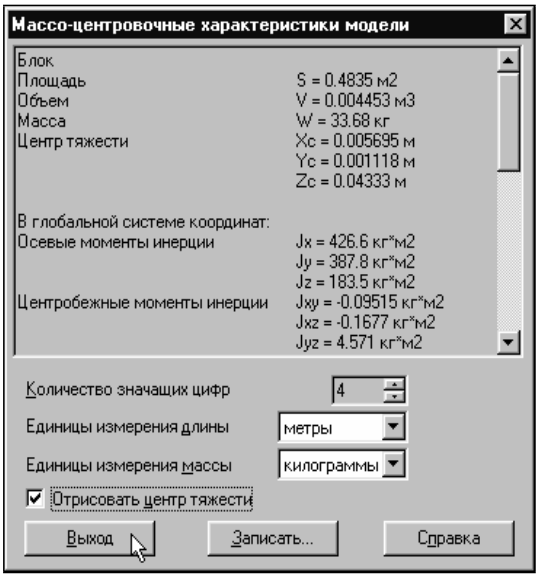


Рисунок 3.11 – Результати розрахунків масових
та інерційних характеристик складання

Деякі сучасні 3D-системи забезпечуються вбудованими модулями, що розширюють їхні можливості: створення ливарних форм, робота з деталями з листового металу, проектування трубопроводів і т.д. На рис. 3.12 показана деталь «Коробка», спроектована в системі SolidWorks. Деталь виготовлена методом гнуття зі сталевого листа.

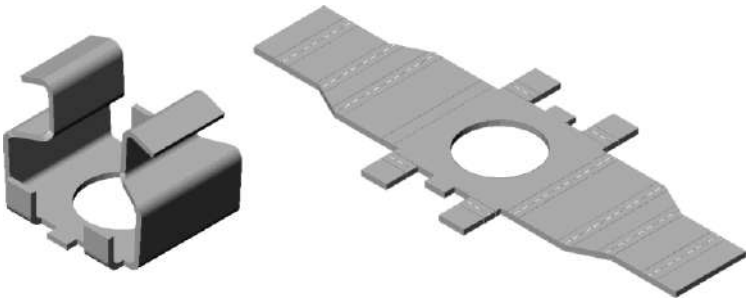


Рисунок 3.12 – Деталь «Коробка»
спроектована в системі SolidWorks

Праворуч показане плоске розгорнення цієї деталі, автоматично побудоване системою з урахуванням допусків згину. На зображенні розгорнення добре видні лінії згину й границі областей гнуття.

На рис. 3.13 показана деталь «Кришка», спроектована в системі КОМПАС. Деталь виготовляється методом лиття із пластмаси. Для виготовлення такої деталі необхідне спеціальне технологічне оснащення – прес-форма, яка складається з матриці (формотворного елемента, що визначає зовнішню форму деталі) і пуансона (формотворного елемента, що визначає внутрішню форму деталі).



Рисунок 3.13 – Деталь «Кришка»
спроектована в системі КОМПАС

На рис. 3.14 показані ці елементи, спроектовані в системі КОМПАС на основі геометрії деталі «Кришка». Твердотільні моделі пуансона й матриці можуть бути передані безпосередньо в технологічну систему для підготовки керуючих програм для верстата з ЧПУ й наступного виготовлення в металі.

На рис. 3.15 деталь «Кришка» показана в оточенні матриці й пуансона для більш наочної уяви їх форми та взаємного положення. Тривимірні твердотільні моделі містять у собі всю геометричну інформацію, необхідну для роботи систем інженерного аналізу.

У цьому полягає одна з головних переваг 3D-моделювання. Така модель може бути передана в будь-яку систему інженерних розрахунків для виконання її аналізу: розрахунків напруг і

деформацій, частотного аналізу для визначення власних частот і форм коливань, теплових розрахунків і пов'язаних з ними температурних деформацій і напруг.

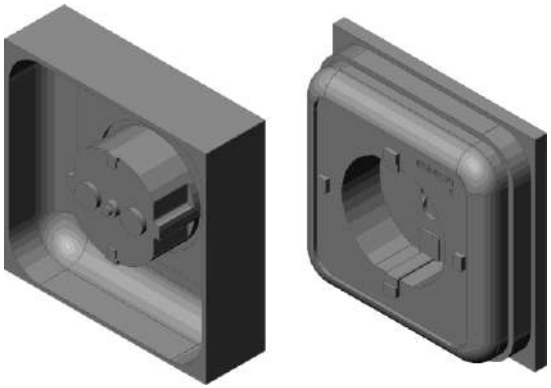


Рисунок 3.14 – Прес-форма «Кришки»

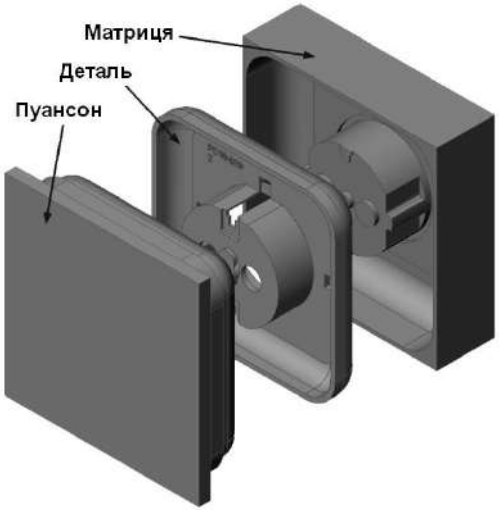


Рисунок 3.15 – Оснащення для
виготовлення деталі з пластмаси

Робота подібних систем заснована на використанні методу кінцевих елементів, при якому тривимірна модель розбивається

на елементарні об’ємні елементи різної форми, одержувані при нанесенні на тверде тіло сітки кінцевих елементів. Розбивка моделі на сітку кінцевих елементів дозволяє з високим ступенем точності відтворити реальну твердотільну геометрію деталі або вузла й забезпечує високу точність рішень.

Багато із сучасних систем інженерних розрахунків не вимагають від конструктора докладного знання теорії, на якій базуються розрахунки методом кінцевих елементів.

Маючи у своєму розпорядженні тривимірну модель деталі, користувач повинен вибрати необхідний йому вид розрахунків, визначити характер закріплення й зовнішні навантаження, що діють на деталь, а також вибрати з бібліотеки матеріал, з якого вона буде виготовлятися.

На рис. 3.16 показана деталь «Важіль», спроектована в системі SolidWorks. Матеріал деталі – алюмінієвий сплав.

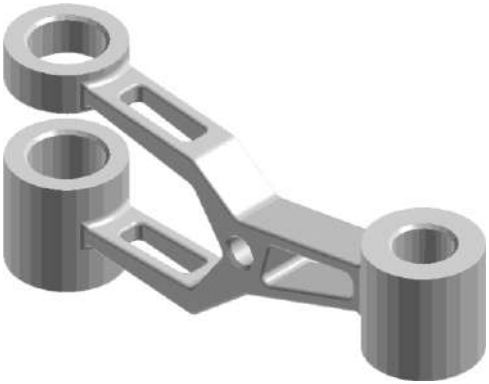


Рисунок 3.16 – Деталь «Важіль»
спроектована в системі SolidWorks

Далі дана модель була передана в систему інженерних розрахунків Designspace для виконання її аналізу методом кінцевих елементів. На рис. 3.17 показаний результат розбивки моделі на сітку кінцевих елементів. На рис. 3.19 показані напрямок і величина прикладених зусиль, а також навантажені й опорні поверхні деталі.

З малюнка ясно, що на модель діють дві сили, вектори яких

рівномірно розподілені по навантаженій циліндричній грані в правій частині деталі. Дві циліндричні грані в лівій частині деталі є опорними (фіксованими).

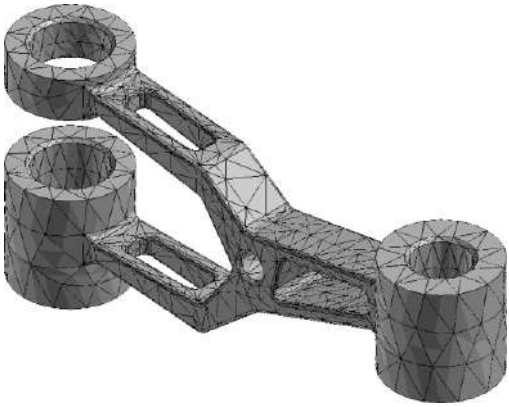


Рисунок 3.17 – Результат розбивки моделі
на сітку кінцевих елементів

Далі показані результати розрахунків для даної геометрії деталі, її матеріалу, опорних елементів і прикладених навантажень. На рис. 3.19 показаний розподіл еквівалентних напруг у моделі. На рис. 3.20 показаний результат оцінки коефіцієнта безпеки по еквівалентних напругах.



Рисунок 3.18 – Напрямок і величина
прикладених зусиль

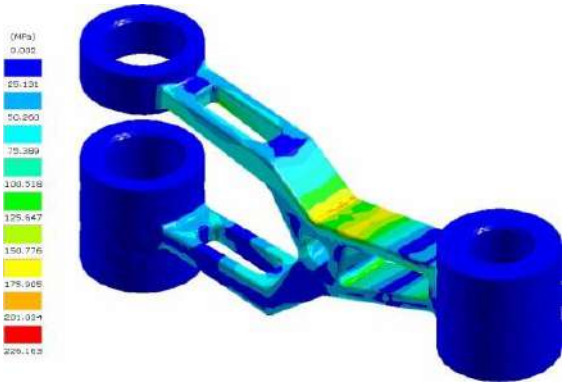


Рисунок 3.19 – Розподіл еквівалентних напруг у моделі



Рисунок 3.20 – Результат оцінки коефіцієнта безпеки

На рис. 3.21 показаний результат розрахунків деформації моделі. Спеціальним значком (синього кольору), у правій частині деталі позначена ділянка, що зазнає максимальної деформації.

Якщо модель являє собою складальну модель якого-небудь механізму, то для неї може бути виконаний кінематичний аналіз із визначенням координат, швидкостей, прискорень і сил взаємодії окремих її ланок. На основі заданих параметрів деякі системи дозволяють згенерувати avi-файл, який можна переглянути за допомогою стандартних засобів Windows.

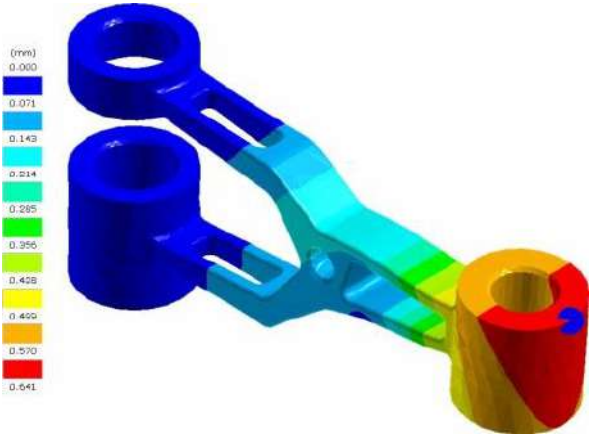


Рисунок 3.21 – Результат розрахунків деформації моделі

Тривимірна модель є набагато більш наочним представленням виробу, ніж її плоске креслення. Крім створення будь-якої аксонометричної проекції, 3D-системи дозволяють легко будувати рознесені види виробу, за допомогою яких можна демонструвати порядок складання, розбирання або технічного обслуговування виробу.

Така можливість може бути дуже корисною при підготовці технічної документації й рекламних матеріалів. На рис. 3.22 ліворуч показана складальна одиниця «Кран кульовий», виконана в системі КОМПАС.

Праворуч показаний рознесений вид тієї ж моделі. Рознесені види й анімаційні ролики можуть бути використані як наочні приладдя при підготовці виробництва, при навчанні й перепідготовці персоналу, що займається технічним обслуговуванням продукції, що випускається, а також у відділі маркетингу для демонстрації замовникові можливостей і характеристик пропонованої продукції ще до випуску перших дослідних зразків.

Спеціальні підсистеми створення фотореалістичних зображень на основі твердотільних моделей, дозволяють нанести на поверхню змодельованих деталей і вузлів різні текстури.

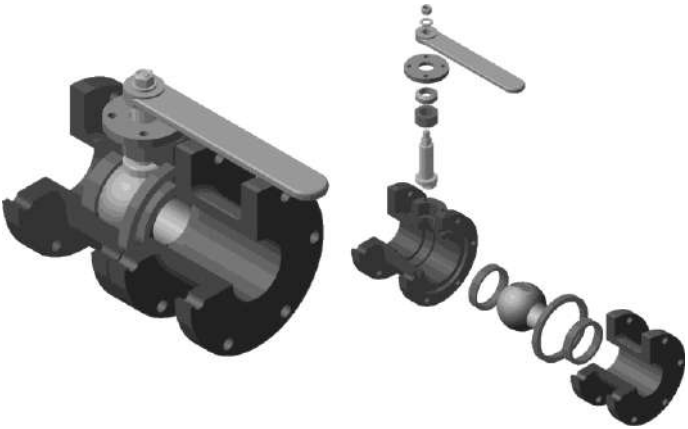


Рисунок 3.22 – Складальна одиниця «Кран кульовий»,
виконана в системі КОМПАС

На рис. 3.23 ліворуч показана твердотільна модель шатуна, спроектована в системі SolidWorks. Праворуч показана та ж модель із нанесеною на неї текстурою грубого чавунного виливка.



Рисунок 3.23 – Твердотільна модель
шатуна (SolidWorks)

Крім того подібні системи дозволяють вибрати фонове зображення, на якому розміщена модель. Види текстур й фонові зображення вибираються з готових стандартних бібліотек, у яких можуть бути присутні різні сорти каменю, конструкційні матеріали, дерево й багато чого іншого.

При необхідності бібліотеки можуть бути доповнені користувачем самостійно. На основі інформації про розставлені джерела світла генеруються тіні й півтіні, що надають надзвичайну правдоподібність комп'ютерному зображенню ще не існуючої реально конструкції.

Про переваги тривимірного моделювання можна говорити й далі, але й наведених фактів досить, щоб переконатися в його перевагах. Чому ж багато фахівців використовують лише добре зарекомендували себе, але, вже поступово втрачаючи актуальність 2D-системи? Ми вже говорили про дві основні причини, які звичайно згадують користувачі: висока вартість 3D-систем і складність їхнього освоєння.

3.2 Керування орієнтацією деталі

При роботі над 3D-моделлю постійно виникає необхідність переглядати її з різних сторін. Для цього в будь-якій системі моделювання передбачені різні способи керування орієнтацією деталі – за допомогою миші або клавіатури використовуючи комбінації системних клавіш «Ctrl-», «Alt-», «Shift-» та стрілок, або використовуючи відповідні настроювання меню програми.

Наприклад, в системі Компас, якщо Вам необхідно повернути 3D-модель у площині екрана, то потрібно переміщати курсор з натиснутою лівою кнопкою миші, одночасно втримуючи натиснутою кнопку <Alt> на клавіатурі.

Будь-яку модель можна розташувати в просторі таким чином, що одна із трьох стандартних площин проекцій буде паралельна площині екрана (рис. 3.24). При цьому можна одержати будь-яку стандартну проекцію деталі, що відповідає її видам на аркуші креслення (рис. 3.25).

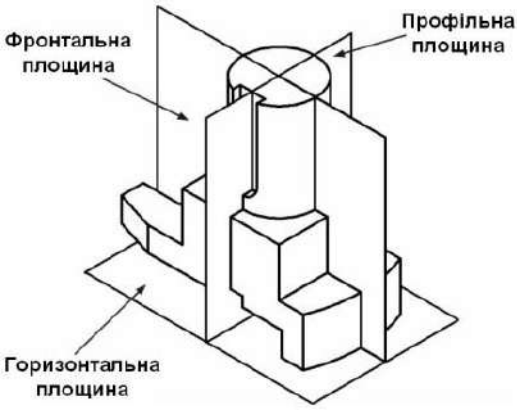


Рисунок 3.24 – Стандартні площини проекцій

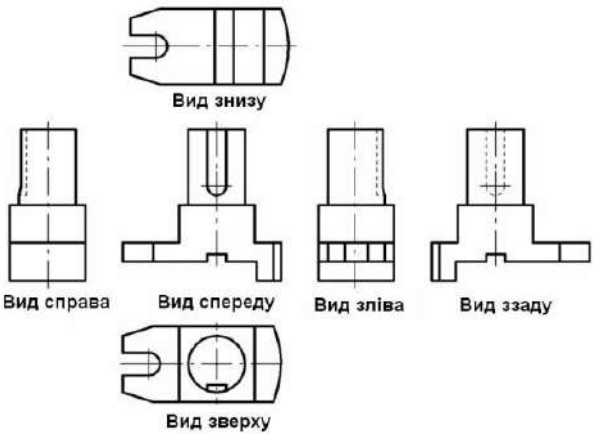


Рисунок 3.25 – Стандартні проекції деталі

Для одержання потрібної стандартної проекції деталі з використанням стандартних орієнтацій, треба розкрити в програмі список видів натисканням миші на кнопці **«Список видов»** у рядку поточного стану. Далі виберіть назву стандартної проекції зі списку видів (рис. 3.26). Після цього обрана проекція буде відображена в полі **«Текущая ориентация изображения»**, а зображення на екрані буде перебудовано відповідно до зазначеного напрямку погляду.

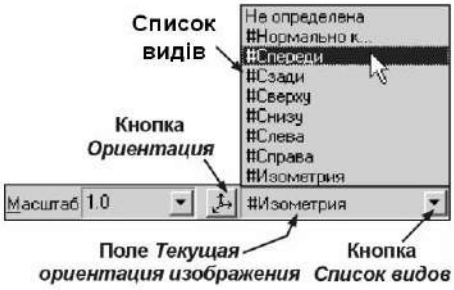


Рисунок 3.26 – Список видів проекції 3D-деталі

Іноді під час моделювання потрібно, щоб паралельно площині екрана виявилася не одна зі стандартних площин

проекцій, а певна плоска грань деталі, або побудована користувачем допоміжна площина. Для одержання такої орієнтації необхідно вказати клацанням миші потрібний плоский об'єкт у моделі (рис. 3.27), а потім вибрати зі списку видів рядок **«Нормально к …»**.



Рисунок 3.27 – Вибір орієнтації
3D-моделі користувачем

Ви можете розширити список стандартних видів, запам'ятавши поточну орієнтацію моделі під будь-яким власним іменем, а потім вертатися до неї в будь-який момент, вибравши її ім'я зі списку. Це можна зробити за допомогою системного діалогового вікна **«Ориентация вида»** (рис. 3.28).



Рисунок 3.28 – Створення власного виду
3D-моделі на екрані

Ви можете не тільки створювати новий вид, але й вибирати будь-який з вже існуючих. Для цього клацанням миші потрібно

вибрати потрібний вид у списку й нажати кнопку **«Установить».** Крім того користувацький вид, що став непотрібним, можна вилучити зі списку за допомогою кнопки **«Удалить».**

3.3 Загальні принципи моделювання деталей

Процедури моделювання, які надають у розпорядження користувача сучасні тривимірні системи, настільки прості й наочні, що просто прирікають будь-кого на успіх. Єдиний спосіб розвіяти всі сумніви – це спробувати самостійно побудувати кілька 3D-моделей, починаючи з найпростіших і поступово переходячи до більш складних.

Починаючи з найперших елементарних кроків, Ви самі зможете переконатися, що для успішної роботи в абсолютно будь-якій системі, від Компаса до CATIA – не треба робити інтелектуальних подвигів на щоденній основі! Головне що від Вас вимагається – це всього лише зробити перший крок, тобто взяти і почати процес моделювання.

А для цього необхідно усвідомити і запам'ятати одну просту річ – ***у всіх сучасних системах тривимірного моделювання побудова твердотільної моделі виконується по загальному принципу***, який полягає в послідовному виконанні операцій об'єднання, віднімання й перетинання над об'ємними елементами (призмами, циліндрами, пірамідами, конусами і т.д.).

Розглянемо найпростіший приклад побудови 3D-моделі деталі, зі вказаною вище послідовністю операцій. На початку створюється прямокутна призма (рис. 3.29), що лежить в основі деталі (1).

Потім до моделі додається циліндрична бобишка шляхом об'єднання призми із циліндром (2). До створеного в результаті тіла, додається усічена піраміда (3). Нарешті, у моделі виконується побудова отвору шляхом віднімання з неї циліндра (4).

Як створюються об'ємні елементи. Для створення об'ємних елементів використовується переміщення плоских фігур у просторі. У процесі переміщення ці фігури обмежують частину простору, яка й визначає форму елемента.

Нижче показано кілька типових переміщень плоских фігур і отримані в результаті об'ємні елементи різної форми.

Переміщення прямокутника в напрямку, перпендикулярному його площині, приведе до формування призми, яку можна розглядати як прямокутну пластину певної товщини.

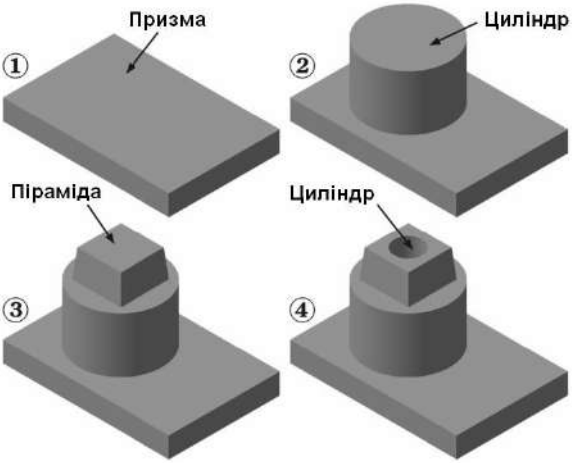


Рисунок 3.29 – Побудова простої 3D-моделі деталі



Рисунок 3.30 – Створення прямокутної пластини



Рисунок 3.31 – Створення валу

У результаті повороту ламаної лінії на 360° навколо осі, що лежить у площині ламаної, буде сформований об’ємний елемент.

Цей елемент буде являти собою вал, що складається із циліндричних і конічних ділянок. Якщо окружність перемістити

уздовж напрямної кривої, то отримаємо об'ємний елемент, що являє собою круглий стрижень певного діаметру й форми (рис. 3.32).

3.4 Ескізи й операції

Плоска фігура, у результаті переміщення якої утворюється об'ємне тіло, називається ескізом, а саме переміщення – операцією. Ескіз може розташовуватися в одній зі стандартних площин проекцій, на плоскій грані існуючого тіла або на допоміжній площині, положення якої визначено користувачем.

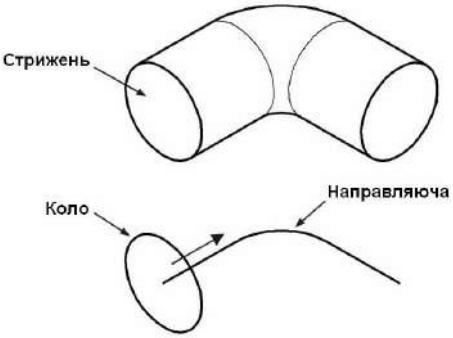


Рисунок 3.32 – Створення зігнутого стрижня

Ескізи зображуються засобами плоского креслення й складаються з окремих графічних примітивів: відрізків, дуг, окружностей, ламаних ліній і т.д. При цьому доступні всі команди побудови й редагування зображення, засоби створення параметричних залежностей і різні сервісні можливості.

В ескіз можна скопіювати зображення зі створеного раніше креслення або фрагмента. Це дозволяє при створенні тривимірної моделі використовувати існуючі плоскі креслення.

Різні системи мають у своєму розпорядженні різний набір інструментів для побудови об'ємних елементів. Однак деякі базові типи операцій присутні практично у всіх системах. До цих основних операцій можна віднести наступні:

- ***операція видавлювання*** – видавлювання ескізу в напрямку, перпендикулярному площині ескізу;
- ***операція обертання*** – обертання ескізу навколо осі, що лежить у площині ескізу;
- ***кінематична операція*** – переміщення ескізу уздовж напрямної;
- ***операція по перетинах*** – побудова об'ємного елемента по декільком ескізам, які розглядаються як перетин

елемента в декількох паралельних площинах.

Кожна операція має додаткові можливості (опції), які дозволяють змінювати або уточнювати правила побудови об’ємного елемента. Наприклад, якщо в операції видавлювання прямокутника додатково задати величину й напрямок ухилу, то замість призми буде побудована усічена піраміда.

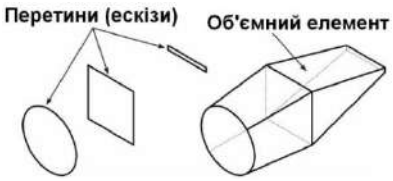


Рисунок 3.33 – Операція по перетинах

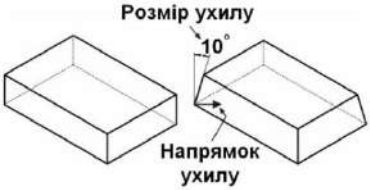


Рисунок 3.34 – Побудова усіченої піраміди

Таким чином, процес створення тривимірної моделі полягає в багаторазовому додаванні або видаленні додаткових об’ємів. Кожний з них являє собою елемент, утворений за допомогою операцій над плоскими ескізами.

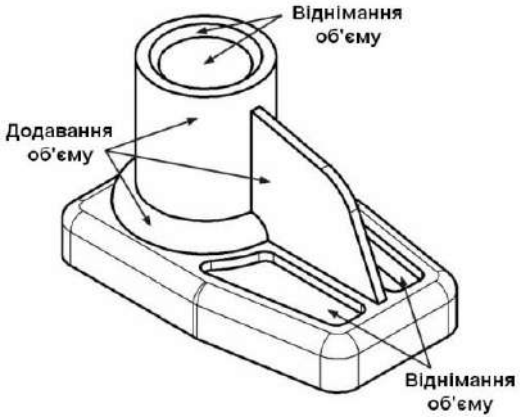


Рисунок 3.35 – Створення тривимірної моделі

Але із цього правила є виключення. Наприклад, такі елементи, як фаски або скруглення не мають потреби в створенні ескізів. При виборі операції потрібно в першу чергу визначити,

чи буде створюваний елемент відніматися з наявного на даний момент тіла, або додаватися до нього. Прикладами видалення об'єму з деталі можуть бути різні отвори, проточки, канавки, пази, а прикладами додавання об'єму – бобишки, виступи, ребра.

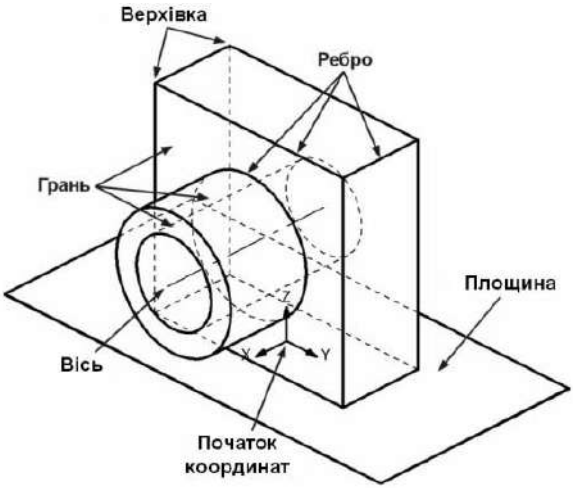


Рисунок 3.36 – Основні елементи 3D-моделі

3.5 Основні терміни тривимірної моделі

Об'ємні елементи, з яких складається тривимірна модель, утворюють у ній грані, ребра й вершини. Коротка характеристика цих елементів наведена в табл.3.1.

Таблиця 3.1 – Основні терміни тривимірної моделі

Грань	Гладка (необов'язково плоска) частина поверхні деталі. Гладка поверхня деталі може складатися з декількох граней
Ребро	Пряма або крива, що розділяє дві суміжні грані
Вершина	Точка на кінці ребра
Тіло деталі	Замкнена й безперервна область простору, обмежена гранями деталі. Вважається, що ця область заповнена однорідним матеріалом, з якого виготовлена деталь

Крім того в моделі можуть бути присутні додаткові елементи: символ початку координат, площини та осі.

3.6 Основа моделі

Побудова деталі починається зі створення її основи – першого формотворного елемента. Основа є в будь-якій деталі й вона завжди одна. Зрозуміло, що створення основи завжди пов'язане з додаванням матеріалу, адже до його появи віднімати матеріал просто нема із чого.

У якості основи можна використовувати кожний із чотирьох основних типів формотворних елементів: елемент видавлювання, елемент обертання, кінематичний елемент і елемент по перетинах. На початку створення моделі завжди постає питання про те, який з її елементів використовувати як основу.

Для цього бажано хоча б приблизно представляти конструкцію майбутньої деталі. Найчастіше в якості основи слід використовувати той елемент деталі, до якого зручніше додавати всі інші елементи. Часто такий підхід повністю або частково повторює технологічний процес виготовлення деталі.

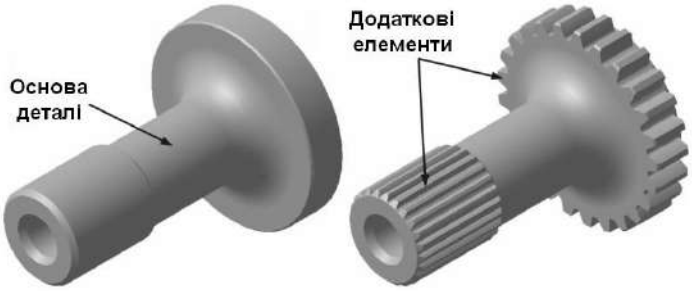


Рисунок 3.37 – Додавання до основи
додаткових елементів

У якості основи можна розглядати елемент деталі, щодо якого задані положення, розміри або форма більшості інших елементів. У деяких випадках у якості основи слід розглядати найбільш складний елемент деталі, який можна побудувати однією командою або до якого згодом потрібно додати мінімальну кількість інших елементів. Зокрема, цілком можлива така ситуація, коли деталь повністю або в значній мірі складається з одної основи.



Рисунок 3.38 – Основа із заданим
положенням інших елементів

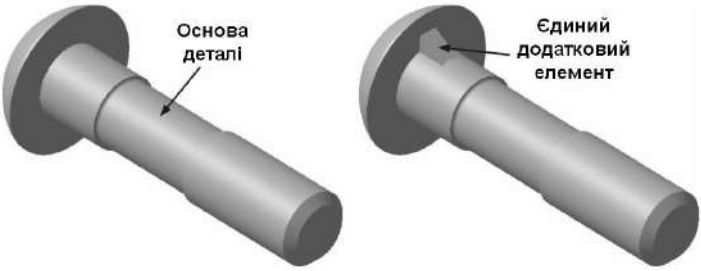


Рисунок 3.39 – Додавання мінімальної
кількості елементів

3.7 Створення 3D-моделі по її плоскому кресленню

Зазвичай при використанні систем тривимірного моделювання спочатку створюється модель деталі, а потім її плоске зображення – робоче креслення.

Однак може знадобитися вирішити зворотне завдання: побудувати тривимірну модель деталі по її раніше розробленому кресленню. Таке завдання виникає тоді, коли в знову проектованих засобами 3D-моделювання виробах потрібно скористатися 2D-кресленнями раніше розроблених деталей.

В такому разі беруть вже існуюче 2D-креслення (рис. 3.40), в електронному форматі, або сканують креслення на паперовому носії та виконують його векторизацію, і вже потім відкривають в 3D-програмі для побудови 3D-моделі.

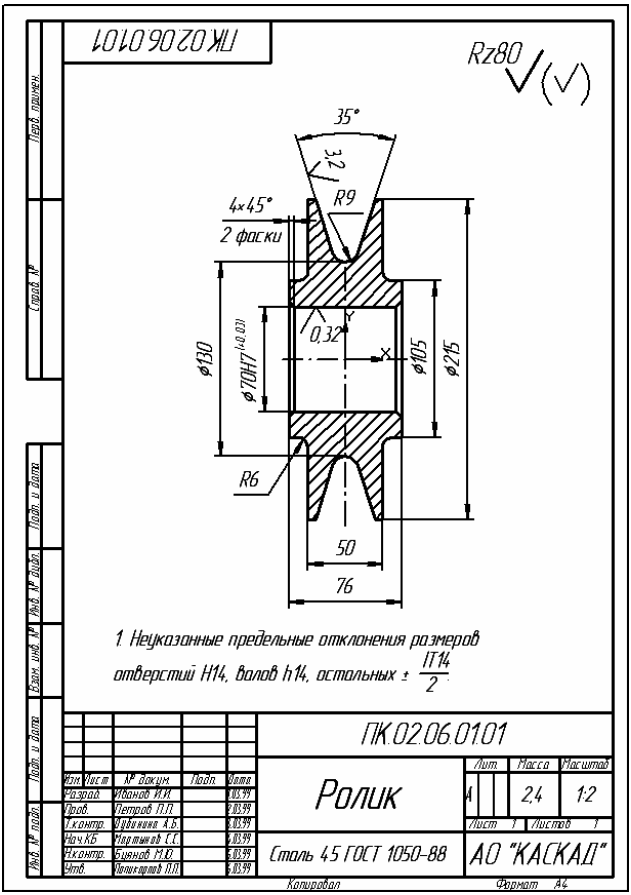


Рисунок 3.40 – Приклад вихідного креслення
для побудови 3D-деталі

Коли вже э якісне електронне 2D-креслення, яке містить усю геометрію, необхідну для побудови тривимірної моделі цієї деталі, то на створення 3D-моделі вже буде потрібно не більше хвилини!

Отже необхідно на електронному 2D-кресленні, січною рамкою виділити необхідну для побудови геометрію (рис. 3.41) та скопіювати її в поле ескізу майбутньої 3D-моделі.

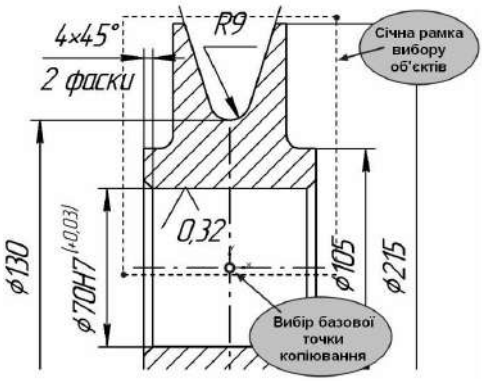


Рисунок 3.41 – Виділення необхідної геометрії січною рамкою



Рисунок 3.42 – Готова 3D-модель

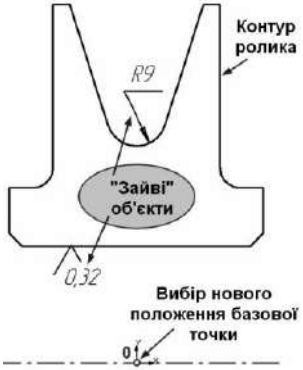


Рисунок 3.43 – Видалення зайвої геометрії

Після копіювання геометрії січною рамкою, разом з геометричними об'єктами в ескізі виявляться й деякі допоміжні об'єкти (розміри, позначення шорсткості поверхонь і т.д.). Всі ці об'єкти треба вилучити (рис. 3.43) – вони не будуть враховуватися при побудові об'ємних елементів, а будуть тільки захаращувати ескіз. І нарешті використовуючи тип операції «Обертання» – будуємо 3D-модель ролика, рис. 3.42. Готовій моделі призначаємо тип матеріалу «Сталь 45.»

Питання для самоперевірки

1. Які основні обмеження двомірного проектування?
2. Розкажіть загальні принципи створення 3D-деталей.
3. Що таке каркасна модель деталі?
4. В чому полягає особливість поверхневого моделювання?
5. Що таке параметризація?
6. Назвіть основні операції побудови 3D-деталей.
7. Назвіть основні терміни тривимірної моделі.

4 ЗАГАЛЬНІ ПРИНЦИПИ ПРОВЕДЕННЯ ІНЖЕНЕРНОГО АНАЛІЗУ ПРОЕКТОВАНИХ КОНСТРУКЦІЙ У САПР

Зазвичай для попередньої оцінки міцності/працездатності конструкції інженер-конструктор застосовує інженерні підходи, засновані на представленні конструкції у вигляді простих вузлів і елементів, для яких існують аналітичні оцінки пошуку напружено-деформованого стану.

До таких оцінок можна віднести використання найпростіших формул для пошуку напруг у балках при їхньому розтягуванні, вигині або крутінні, пошуку відносного подовження, моментів інерції, сил реакції тощо.

Інженер-конструктор змушений працювати з великою кількістю спеціалізованої літератури для пошуку необхідних виражень і законів. Дані підходи мають істотні обмеження при їхнім застосуванні до реальних складних конструкцій і сьогодні використовуються усе менше й менше в сучасних високотехнологічних виробництвах і конструкторських бюро.

При використанні систем чисельного аналізу, інженер одержує можливість моделювати конструкції й машини будь-якої складності з кожним необхідним (раціональним) ступенем деталізації. Для цього він використовує модулі CAE – тобто це інструменти для аналізу реального розподілу напруг і деформацій у конструкції, які дають інженерові можливість працювати з різними додатками, залишаючись у єдиному середовищі проектування (CAD-середовищі).

Зокрема в системі середнього рівня **SolidWorks**, це **розрахункові модулі сімейства Simulation**: власне це сам Simulation (раніше він мав назву CosmosWorks), Flow Simulation (раніше – CosmosFloWorks) і SolidWorks Motion (раніше CosmosMotion).

У системі високого рівня **NX**, яка на сьогодні стає стандартом в автомобільному проектуванні, це **модуль Advanced Simulation** побудований на базі промислового вирішувача Nastran. Причому в САПР NX, розроблювачами від самого початку була передбачена масштабованість модуля Advanced

Simulation. Такий підхід у розробці системи дозволяє вирішувати як дуже прості, так і самі складні завдання з різних областей механіки деформованого твердого тіла, механіки рідин і газів, механіки теплопереносу та ін.

Але, яка б складна система САПР не застосовувалася для проектування, сама процедура виконання інженерного аналізу (CAE) розробленої конструкції залишається однаковою, і схематично її можна представити у вигляді декількох етапів (рис. 4.1).

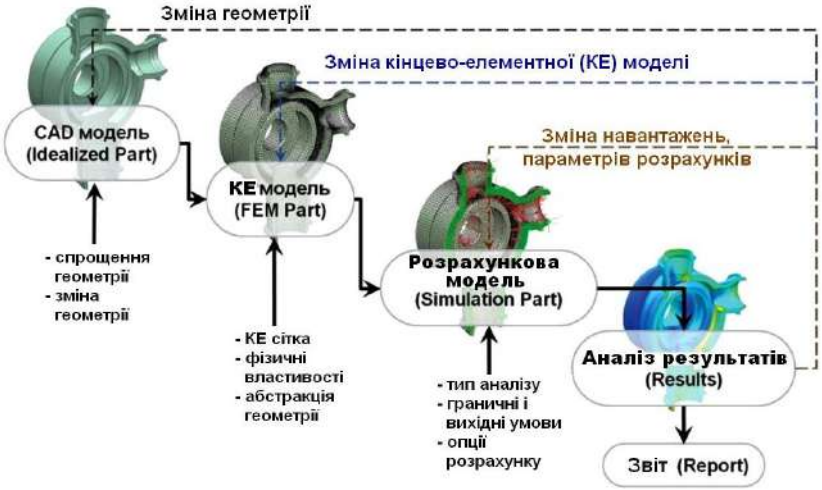


Рисунок 4.1 – Процес інженерного аналізу розробленої конструкції

Окремо слід зауважити, що **при виконанні будь-яких кінцево-елементних розрахунків в САПР, необхідно чітко розуміти фізику розглянутого процесу**, тому що програмний продукт використовує тільки дані введені інженером-конструктором, та внутрішні вирішувачі (математичні алгоритми). У випадку некоректно поставленої користувачем задачі, отримане кінцеве рішення буде неточним або й взагалі невірним! Отже треба розуміти не тільки креслення, 3D-моделювання, але й такі науки як математика, фізика, конструкційні матеріали, опір матеріалів. Згідно наведеної вище схеми (рис. 4.1), розглянемо більш детально процедуру

виконання інженерного аналізу (розрахунку) розроблюваних конструкцій методом кінцевих елементів.

При цьому в ході створення моделі й виконання розрахунків створюються файли, які містять певні типи даних про розрахункову модель. Для ефективної роботи в САПР, необхідно чітко розрізняти, які дані зберігаються в певному файлі і який файл повинен бути активним при створенні й роботі з розрахунковою моделлю.

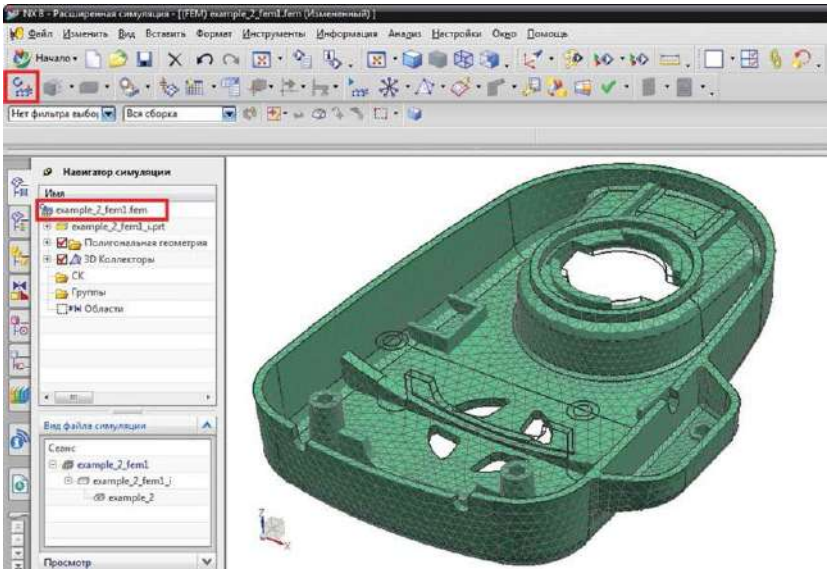


Рисунок 4.2 – Загальний вигляд кінцево-елементної сітки розроблюваної CAD-моделі деталі

Нижче приводиться опис кожного етапу створення розрахункової моделі.

1. Створення ідеалізованої геометричної моделі (Idealized Part). Для ефективного застосування методу кінцевих елементів (КЕ), повинна бути побудована коректна й максимально проста геометрична модель. Для цього необхідно провести ідеалізацію (спрощення) вихідної геометрії майстер-моделі. Тобто рекомендується виключити всі геометричні елементи, які

приводять до ускладнення розрахункової моделі (технологічні отвори, скруглення, фаски), але істотно не впливають на очікувані результати виконуваних розрахунків. Якщо у вихідній геометрії присутні видимі поверхневі дефекти, то слід перебудувати відповідні геометричні елементи, для цього в САПР є відповідні інструменти.

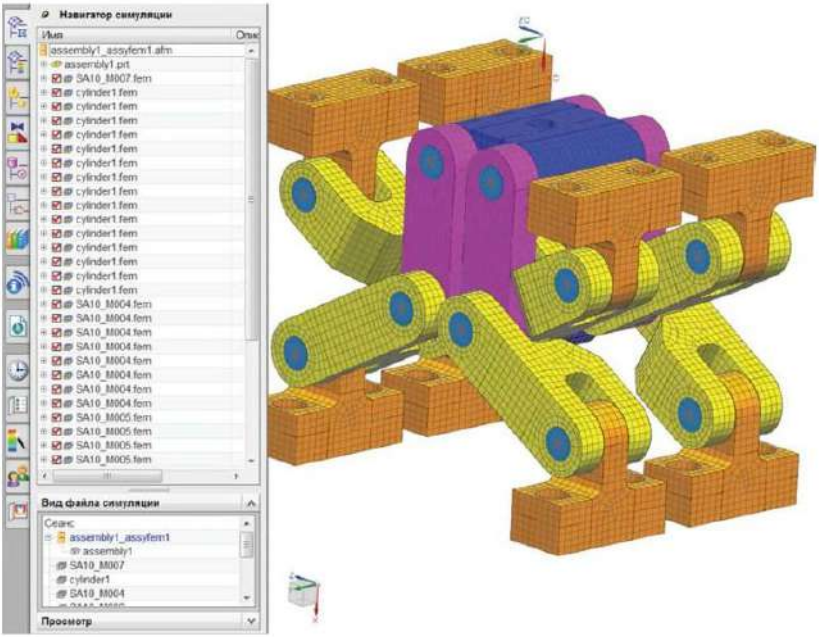


Рисунок 4.3 – Приклад кінцево-елементної сітки CAD-моделі складання

Виконання ідеалізації геометрії (тобто зміна геометрії або спрощення) реалізується без зміни майстер-моделі. Система автоматично створює ідеалізовану геометричну модель, для якої створюється спеціальний файл КЕ моделі.

2. Створення КЕ-моделі (FEM Part). Для кінцево-елементної моделі (КЕ-моделі), створюється спеціальний файл, який наприклад може мати розширення «*.fem». Крім побудови безпосередньо КЕ сітки, у даному файлі задаються й зберігаються фізичні властивості частин моделі, такі як властивості матеріалів

або параметри оболонкових і стрижневих елементів.

Геометрія в створеному файлі FEM є полігональною, тобто складається з фасетів, вершин і ребер. Надалі саме полігональна геометрія використовується для завдання спеціалізованих правил генерації сітки, таких як кількість або розмір елементів на геометричному об’єкті, абстракція геометрії.

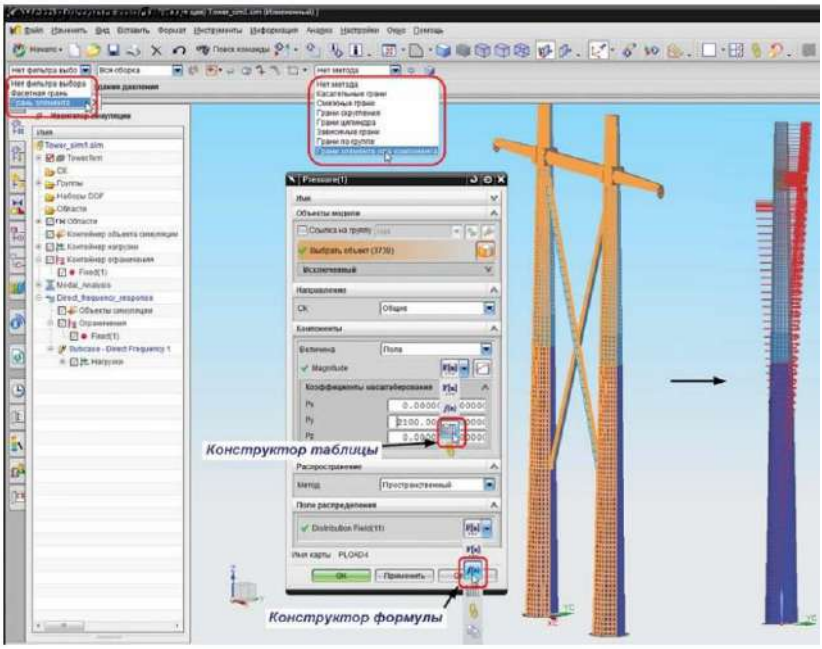


Рисунок 4.4 – Приклад завдання навантажень та граничних умов кінцево-елементної моделі

При цьому файл FEM асоціативно пов’язаний з ідеалізованою геометрією, тобто може бути оновлений автоматично у випадку внесення змін у вихідну або ідеалізовану геометрію.

Спеціальні CAE-модулі дозволяють проводити чисельне моделювання не тільки для окремих елементів конструкцій, але й для декількох деталей, об’єднаних у єдине складання. У цьому випадку структура розрахункового складання (Assembly FEM або AFEM) небагато відрізняється від структури розрахункової

моделі. В залежності від типу САПР, для створення кінцево-елементної моделі складання, попередньо створюються КЕ моделі кожної з деталей, а потім створюється КЕ модель складання AFEM, де всі КЕ моделі деталей поєднуються в єдине складання.

При цьому позиціонування КЕ моделей окремих деталей відносно одне одного в складанні, відбувається автоматично відповідно до їхнього вихідного положення в CAD-складанні. У разі відсутності вихідного CAD-складання, можна використовувати спеціальні інструменти для позиціонування КЕ моделей окремих деталей вручну.

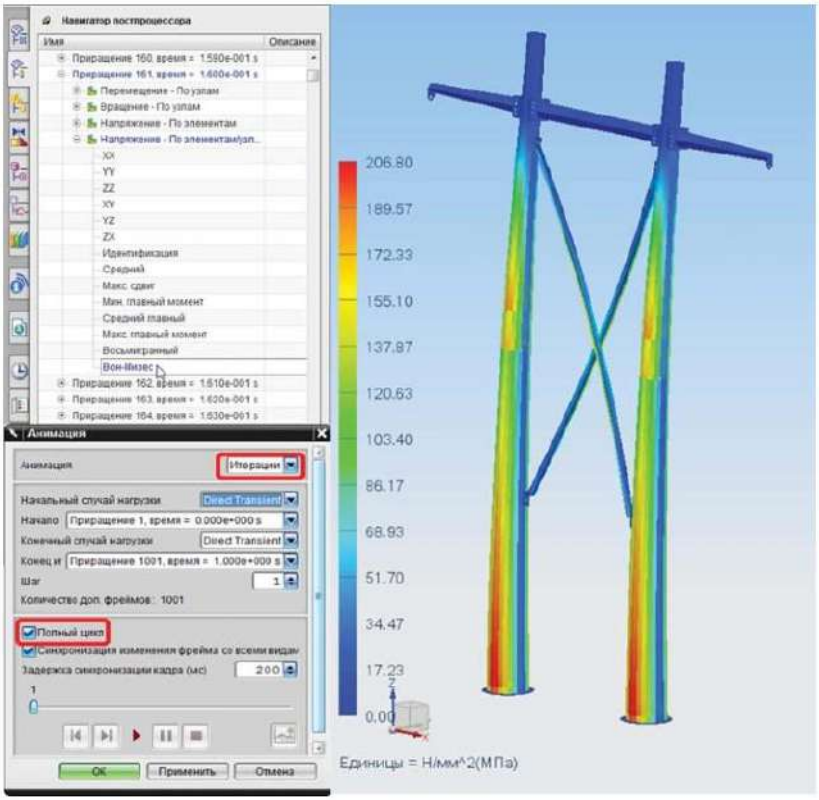


Рисунок 4.5 – Приклад отриманих результатів розрахунків для аналізу

3. Створення розрахункової моделі (Simulation Part). Спеціальний SIM файл – містить інформацію про постановку розрахункового завдання. Тобто на даному етапі для розробленої КЕ моделі визначаються граничні й початкові умови, умови можливої контактної взаємодії, один або кілька типів аналізу, а також опції вирішувача.

Створений файл симуляції з розширенням «*.sim» містить усі параметри й властивості поведінки конструкції, розрахункових випадків, настроювання вирішувача, такі як тип рішення, крок розрахунку, об'єкти симуляції (контактні граничні умови та ін.), навантаження, обмеження, фізичні властивості, створені при перезаписі таблиць фізичних властивостей. Існує можливість створювати кілька файлів симуляції SIM, асоціативно пов'язаних з одним файлом FEM.

4. Чисельне рішення завдання (Solution). Цей етап не вимагає особистої участі інженера, але звичайно супроводжується так званим моніторингом ходу рішення.

Для виявлення проблем з розрахунком, на ранньому етапі необхідно стежити за збіжністю вирішувача, за збіжністю контактного алгоритму, за нелінійною або нестаціонарною історією розрахунку. У випадку виявлення розбіжності розрахунку або інших проблем, завдання можна перервати й внести корективи у файли FEM або SIM.

5. Аналіз отриманих результатів (Results). Після одержання коректних результатів, які записуються у спеціальний файл (наприклад для вирішувача NX Nastran – файл OP2), вони аналізуються, будуються необхідні графіки й діаграми розподілу напружень, складається звіт.

Далі на цій лекції ми коротко розглянемо особливості використання системи SolidWorks як універсального середовища моделювання та аналізу.

SolidWorks спочатку створювався як система твердотільного параметричного моделювання. Програма містить всю необхідну номенклатуру інструментів, причому деякі можливості вкрай ефективні для розробки об'єктів, орієнтованих на подальше використання програм розрахунку. Це проектування виробів з листового матеріалу, зварні деталі. Вони дозволяють отримати моделі, вельми близькі до вимог даних інструментів.

Підмножина функцій, орієнтованих на роботу з криволінійними об'єктами: інструменти сплайнів, команди створення тіл, що мають криволінійні поверхні, процедури забезпечення гладкості, побудови сполучень, дозволяють – в абсолютній більшості випадків – з прийнятною точністю готувати моделі для аерогідродинамічного аналізу або світлотехніки (в задачах розрахунку на міцність якість представлення поверхні менш важливий фактор).

У середу проектування SolidWorks також вбудований модуль інженерного аналізу, що дозволяє виконувати структурний і тепловий аналіз, аналізувати кінематику і динаміку, розраховувати аерогідродинаміку і теплоперенос, виконувати світлотехнічний аналіз, проектування відбивачів; для моделювання елементів трансмісій призначений модуль GearTrax.

Навіть перерахувати всі можливості SolidWorks, які можуть бути корисні при створенні розрахункових моделей, дуже важко. Тому краще всього звернутися до документації програми самої останньої версії, оскільки в кожен новий реліз програми, розробники крім виправлення помилок в минулих релізах, додають нові функції.

SolidWorks володіє найрізноманітнішими можливостями для створення і модифікації збірок. Розрахункові додатки, відповідно, цю функціональність враховують. Як і для моделей твердотільних і поверхневих деталей, відповідальність за коректну підготовку вихідних даних для збірок покладається на CAD-систему.

Це означає, що взаємне положення деталей, як в сенсі геометрії, так і в тому, що стосується призначення параметрів їх взаємодії у фізичній моделі, має визначатися за допомогою сполучень. В явному вигляді вони ні в одну програму, за винятком COSMOSMotion, не транслюються. Розрахункові модулі мають справу виключно з геометрією, але не з семантикою.

COSMOSMotion в даному ряду є винятком. Його математичний апарат допускає відсутність в моделі збірки зв'язку між деталями, але при цьому операції, по суті ідентичні тим, які виконуються в SolidWorks, доведеться виробляти в

процесі формування механізму. Після запуску розрахунку програма повинна буде «зібрати» збірку відповідно до логіки, визначеної в з'єднаннях COSMOSMotion.

4.1 Методи розв'язку рівнянь фізики в механічних САПР

Фізичні процеси, що характеризують напружено-деформований стан твердих тіл, рух і теплообмін текучого середовища, моделюються за допомогою рівнянь.

При математичному моделюванні різних фізичних процесів в середовищі SolidWorks, для вирішення рівнянь напружено-деформованого стану твердих тіл – в COSMOSWorks, і для вирішення рівнянь руху і теплообміну текучого середовища – в COSMOSFloWorks, використовуються два методи: метод скінченних елементів і метод кінцевих об'ємів.

Метод скінченних елементів (МСЕ) – в даний час є стандартом при вирішенні задач механіки твердого тіла за допомогою чисельних алгоритмів. Популярний свого часу метод кінцевих різниць, а також претендувавший на універсальність метод граничних елементів (граничних інтегральних рівнянь) зараз займають досить вузькі ніші, обмежені дослідними або спеціальними завданнями.

МСЕ зайняв лідируюче положення завдяки можливості моделювати широке коло об'єктів і явищ. Абсолютна більшість конструктивних елементів, вузлів і конструкцій, виготовлених з найрізноманітніших матеріалів, що мають різну природу, можуть бути розраховані за допомогою МСЕ.

При цьому, зрозуміло, потрібно враховувати неминучі при будь-якій чисельній апроксимації умовності і похибки. Тому питання відповідності між розрахунковою моделлю і реальністю є, мабуть, основним при використанні програм аналізу.

Незважаючи на те, що такі програми мають більш-менш докладну документацію, вони все одно залишаються певною мірою чорними ящиками. Це означає певну непередбачуваність результатів, а також деяке «свавілля» в їх інтерпретації.

Отже, **якість висновків**, прийнятих на основі результатів, **цілком залежить від рівня кваліфікації** того, хто проводить розрахунок, а також, стосовно розрахунку на міцність,

принципового знайомства з основами МСЕ. На цю тему опубліковано чимала кількість спеціалізованої літератури.

Метод кінцевих об'ємів є спрощеним, а отже, більш швидкодіючим, варіантом методу скінченних елементів (хоча розробники методу скінченних об'ємів його таким не вважали, він був розроблений як альтернатива методу скінченних різниць, а застосування методу скінченних елементів для газогідродинамічних розрахунків було розпочато пізніше), а консервативні схеми методу скінченних різниць є варіантами методу скінченних об'ємів на регулярній розрахункової сітці, пов'язаної з використовуваною системою координат.

Ми розглядаємо ці методи стосовно завдань механіки деформованого твердого тіла, і в даному курсі лекцій не передбачено поглиблене вивчення математичної складової цих методів рішення. Оскільки метою інженерної діяльності є створення «найкращих» конструкцій. А вона досягається, взагалі кажучи, за допомогою декількох інструментів.

Перший – це дотримання певних нормативів і стандартів, в яких закладено досвід «попередніх поколінь». Ці джерела створювалися різними шляхами: систематизацією досвіду, експериментальним відпрацюванням, не виключені і випадки, коли аргументи розробників стандартів не дуже легко зрозуміти.

Проте в переважній більшості ситуацій дотримання нормативів є найбільш надійний шлях. Також конструктори використовують інженерну інтуїцію, практичні навички, досвід попередніх розробок. Іноді цей шлях дає непогані результати, особливо коли вирішуються концептуальні питання-алгоритми генерації нових знань, незважаючи на певний прогрес в деталях, до сих пір невідомі.

Другий спосіб створення «кращих» виробів – це використання алгоритмів оптимального проектування. Зрозуміло, що найбільш підходящим варіантом є спільне використання всіх засобів.

4.2 Структурна механіка – лінійна задача (COSMOSWorks)

COSMOSWorks – це програмне забезпечення для вирішення завдань розрахунку на статичну міцність і стійкість в лінійній та

нелінійної постановці, виділення власних частот, оптимізації форми деталей і складань в лінійній постановці, аналізу втоми і поведінки конструкції при падінні.

COSMOSWorks позиціонується як інструмент «інженерного» аналізу, тобто передбачається, що для фахівця-розраховувача потрібні більш «серйозні» розрахункові системи.

Однак, як показує практика використання COSMOSWorks, переважна частина повсякденних завдань вітчизняного машинобудування (в тій їх частині, яка в принципі «підходить» для програм чисельного аналізу), може бути вирішена за допомогою даної програми.

Більше того, раціональний інтерфейс і розумно обмежена функціональність дають інженеру можливість зосередитися на проектуванні, не відволікаючись на властиві «універсальним» пакетам подробиці.

Як правило, запорукою створення вдалої конструкції є кваліфікація виконавця, а розрахункові програми використовуються для перевірки того, що вийшло, а також надають матеріал для подальших спроб.

У цьому випадку застосування інструментів, інтегрованих в конструкторські програми, дозволяє перебирати варіанти з мінімальними втратами часу на виконання рутинних операцій. COSMOSWorks дозволяє виконувати наступні види моделювання:

- статичний аналіз з розрахунком окремих деталей по просторовій або оболонковій моделі, а також складань в тривимірній постановці з урахуванням взаємодії деталей;
- розрахунок власних частот і відповідних їм форм для деталей у твердотільному або оболонковому поданні, а також складань з нерухомими деталями;
- розрахунок величин критичних навантажень втрати стійкості і відповідних їм форм для деталей в твердотільному або оболонковому поданні, а також збірок з нерухомими деталями;
- тепловий розрахунок з урахуванням явищ теплопровідності, конвекції, випромінювання, але без урахування руху середовищ;
- аналіз термопружності на базі результатів теплового

розрахунку;
- параметрична оптимізація за критерієм мінімізації / максимізації маси, об'єму, власних частот і критичної сили;
- імітація деформування конструкції з урахуванням фізичної і геометричної нелінійності, а також з огляду на зміни навантажень і температури в часі;
- моделювання ефекту падіння конструкції на жорстку або пружну поверхню;
- втомний розрахунок з урахуванням кривих втоми, форми кривої навантаження, а також лінійної гіпотези підсумовування пошкоджень.

Послідовність розрахунку.

COSMOSWorks вимагає дотримання базової канви алгоритму методу скінченних елементів, надаючи всередині кожного етапу певну свободу в послідовності кроків підготовки моделі та розгляду результатів. Для розрахунку моделей в твердотільному поданні передбачена послідовність дій описана нижче.

1. Створення аналізу певного типу і визначення його параметрів. Останні можуть бути змінені в будь-який момент перед виконанням розрахунку.

2. Заповнення, якщо необхідно, таблиці параметрів, що визначає набір величин, які можуть змінюватися (конкретно – для яких можуть призначатися списки значень) в ході розрахунку.

3. Підготовка вихідних даних всередині заданого аналізу:
- призначення матеріалу деталі або деталей;
- призначення кінематичних граничних умов;
- призначення статичних граничних умов;
- призначення контактних граничних умов, якщо розраховується складання або деталь з декількох тіл;
- створення сітки.

4. Зв'язування, в разі необхідності, параметрів з таблиці параметрів з відповідними аналізами.

5. Виконання розрахунку.

6. Обробка результатів:
- створення необхідних діаграм;
- аналіз діаграм;
- експорт результатів.

4.3 Структурна механіка – нелінійна задача (COSMOSWorks)

Модуль нелінійного аналізу COSMOSWorks призначений для вирішення завдань механіки з урахуванням фізичної нелінійності середовищ і геометричної нелінійності об'єктів, зокрема оболонкових.

Типові види і джерела нелінійності в структурній механіці такі:

- ***геометрична нелінійність***, пов'язана з тим, що вплив переміщення елементів механічної системи на величину або напрямок дії граничних умов (сил і затискань), а також на властивості самої конструкції стає значним у порівнянні з тим, коли ці явища не враховуються. Один з прикладів – розрахунок прогину опертої по краях пластини під дією розподіленого тиску. Коли величина прогину перевищує половину товщини пластинки, то лінійне рішення призводить до значної похибки (в алгоритмі, реалізованому в COSMOSWorks, враховується та його компонента, яка обумовлена зміною площі під навантаженням). Інший приклад пов'язаний з моделюванням втрати стійкості. Якщо для тонкої довгої пластини при дії стискаючої сили лінеаризований підхід дає прийнятне рішення, то навантаження дугової арки нормальною до поверхні силою призводить до переходу системи в новий рівноважний стан;
- ***фізична нелінійність матеріалів*** – вона виражається в залежності характеристик пружності матеріалу від історії навантаження. Наприклад, це нелінійність кривої «напруга – деформація» (пластичність) або залежність деформації від часу (в'язкопружність, повзучість);
- ***контактна нелінійність*** – при аналізі складань може зустрічатися кілька ситуацій, здатних призводити до відхилення від лінійної реакції системи на вплив. По-перше, це ефекти, що виникають на кордоні контакту тіл при вході їх в контакт, коли навіть невелике навантаження в початковий момент передається через відносно малу площу. Як наслідок, в цій зоні можлива

істотна зміна форми. По-друге, зустрічаються моделі, що мають деталі, здатні переміщатися «майже» як жорстке ціле. Багато роз'ємних з'єднань, будучи включені в якесь складання, породжують такі розрахункові випадки. Схожі наслідки здатні спричинити використання сполучних елементів COSMOSWorks. Ще одне потенційне джерело нелінійності при розрахунку складань – контактне тертя. Починаючи з версії 2007 року, в COSMOSWorks, дозволяє одночасно враховувати фізичну нелінійність та тертя.

4.4 Аерогідродинаміка й теплопередача

Розрахунковий модуль Flow Simulation (раніше він називався COSMOSFIoWorks, а до 2002 року просто FloWorks) повністю інтегрований в систему SolidWorks і призначений для моделювання аеродинамічних і теплових процесів.

Він в першу чергу, призначений для використання в галузях промисловості з коротким циклом розробки (радіоелектронна, виробництво трубопровідної арматури, проектування вентиляції і теплообміну в житлових і виробничих приміщеннях тощо).

У порівнянні з традиційними пакетами CFD (вирішення задач обчислювальної аеро- і гідродинаміки), цей продукт, безумовно, має важливі переваги:

- завдання вихідних даних і перегляд результатів безпосередньо у вікні графічного проектування;
- можливість використання інженером, а не CFD-спеціалістом;
- мінімальний час на підготовку вихідних даних і аналіз отриманих результатів.

Необхідність застосування модуля Flow Simulation в інженерній практиці виникає в разі проведення розрахунків течій текучих середовищ (газів і рідин). А у випадку інженерно-технічного проектування, такі завдання виникають дуже часто. Наприклад, в таких випадках.

Для розрахунку силового (стаціонарного або нестаціонарного) впливу текучого середовища на обтічне нею тіло або його елементи, наприклад, в наступних випадках.

Тіло нерухоме, а середовище рухається:

- вітрові навантаження на споруди, наприклад, будівлі,

телевежі, труби, мости, рекламні щити і т.п.;
- для визначення міцної стійкості споруд до дії таких навантажень;
- сили, що приводять у рух тіла, наприклад, вітрила кораблів, повітряні змії, рухливі деталі лічильників води, регулятори тиску, вітроенергетичні установки, сопла двигунів і т.п., – для визначення руху тіл під дією цих сил;
- сили і моменти, які необхідно долати при управлінні різними тілами, наприклад трубопровідною арматурою – затворами, вентилями, клапанами. У разі великих розмірів цієї арматури (гідроелектростанції, магістральні трубопроводи і т.п.) Ці сили і моменти можуть бути значними.

Середа нерухома, а тіло рухається:

- сила опору, підйомна, бічна та інші сили впливу текучого середовища на рухомі в ній (наприклад, що рухаються по твердій або рідкій поверхні, що летять в атмосфері або пливуть під водою) тверді тіла (автомобілі, поїзди, літаки, планери, дирижаблі, ракети, снаряди, підводні човни і т.п.).

Рухаються тіло і середовище:

- різні насоси, турбіни, крильчатки, шнеки, вентилятори, мішалки – необхідно, наприклад, визначити зусилля (моменти), які до цих тіл треба докласти, щоб забезпечити задану швидкість їх обертання; або навантаження (сили), що діють на елементи цих пристроїв (наприклад, на лопатки турбіни), з метою подальшої оцінки їх міцної стійкості до дії цих навантажень.

Для розрахунку силового (стаціонарного або нестаціонарного) впливу твердого тіла на текучу середу, наприклад:

- силового впливу каналу на середу що протікає через цей канал, тобто сили гідравлічного опору каналу;
- втрати повного тиску потоку при проходженні через трубопровідну арматуру (клапани, вентилі, коліна, звуження, розширення, трійники і т.п.);
- витрати плинного середовища через насоси, компресори, крильчатки, шнеки, вентилятори в результаті впливу на це

середовище рухомих частин цих пристроїв;
- перемішуючого впливу твердого тіла на склад текучого середовища, тобто наприклад визначення часу, за який дві раніше окремі рідини будуть повністю перемішані одна з одною в посудині до заданої однорідності за допомогою обертової мішалки;
- визначення відстані, на якому дві рідини, що надійшли в канал даного середовища, змішаються одна з одною до заданої однорідності.

Для розрахунку впливу різних фізичних факторів на склад і рух текучого середовища:

- визначення ефективності витяжної і/або припливної вентиляції (наприклад, в хімічній лабораторії) з урахуванням сил плавучості;
- визначення ефективності нагріву (охолодження) повітряного середовища в приміщенні (кімнаті, салоні) системою кондиціонування (штучного клімату) і формованих цією системою повітряних потоків в цьому приміщенні, розподілу відносної вологості по приміщенню;
- закипання рідин, вплив закипання на гідравлічний опір і теплообмін у каналах;
- зміни опору каналів і тіл;
- визначення місця розташування кавітаційних областей.

Для вирішення завдань сполученого теплообміну:

- визначення ефективності нагріву або охолодження твердих тіл текучим середовищем, наприклад в системах проточного зовнішнього охолодження (камерах згоряння двигунів, соплах ракетних двигунів);
- в системах вимушеного проточного і вільно-конвективного охолодження (наприклад, процесорів і різних пристроїв в комп'ютерах);
- визначення ефективності нагріву або охолодження текучого середовища твердими тілами;
- в теплообмінниках (хімічні виробництва, радіатори, апарати дистиляції і т.п.);
- в системах кондиціонування (штучного клімату).

Для розрахунку руху твердих та/або рідких частинок в

потоці газу:

- визначення ефективності уловлювання частинок різними пристроями (циклонами та ін.);
- визначення ефективності розгону часток різними пристроями (піскоструйками та ін.);
- визначення ерозії твердих тіл в результаті випадання на них частинок (різної трубопровідної арматури, використовуваної в нафтовидобутку; лопаток та інших деталей компресорів, що працюють в запиленій атмосфері; сопел ракетних двигунів, що працюють на металізованих паливах і т.п.);
- визначення налипання) крапель на тверді тіла (в металургії на фурмах конвертерів, в порошкової металургії при виробництві порошків металів).

Сьогодні для вирішення деяких з перерахованих вище завдань можна обійтися без проведення складних розрахунків з вирішенням диференціальних рівнянь течії і теплообміну (наприклад, рівнянь Нав'є-Стокса).

Оскільки паралельно з розвитком техніки розвивалися також інженерні методи оцінки потрібних для інженерної практики величин, тобто методи які не потребують вирішення диференціальних рівнянь.

Наприклад, опір труб течії однорідного середовища визначається за допомогою досить простих напівемпіричних залежностей.

Щоб розрахувати фізичний процес, тобто зміну фізичних параметрів в просторі і часі, його треба спочатку математично змоделювати. Оскільки фізичні процеси – це результат дії законів фізики, то найбільш адекватні фізичним процесам математичні моделі, являють собою систему що відображує закони фізики диференціальних і/або інтегральних рівнянь (із залученням, якщо треба, напівемпіричних і емпіричних констант і залежностей) з граничними і початковими умовами, прив'язують дану математичну модель до поставленої конкретної фізичної (інженерної) задачі, тобто визначають дані фізичні процеси в цьому завданні.

Оскільки використовувані в математичній моделі системи диференціальних і/або інтегральних рівнянь зазвичай не мають

аналітичного рішення, вони зводяться до дискретного виду і вирішуються на деякій розрахункової сітці.

Зрозуміло, що рішення математичної задачі істотно залежить як від способу дискретизації рівнянь, так і від способу вирішення отриманих в результаті рівнянь.

Очевидно, рішення математичної задачі буде тим точнішим, чим краще розрахункова сітка дозволяє області нелінійного поводження рішення рівнянь, що як правило досягається використанням меншої розрахункової сітки в цих областях.

Таким чином, в основі COSMOSFloWorks, як і будь-якій іншій розрахунковій методиці (наприклад, COSMOSWorks), лежить, по-перше, математична модель фізичних процесів які розраховуються, і по-друге, спосіб вирішення поставленої математичної задачі.

4.5 Проектування елементів механічних систем

Для проектування типових елементів конструкцій у SolidWorks є спеціалізовані додатки: Toolbox – містить базу стандартних деталей, процедури розрахунку балок і підшипників; GearTrax – призначений для створення моделей зубчастих зачеплень, а також елементів зубчастих коліс, коробок передач; інші модулі групи SolidWorks Office, це зокрема – Animator, FeatureWorks, PhotoWorks.

Всі вони мають фірмову локалізацію. Елементи інтерфейсу Toolbox надаються тільки в російськомовному варіанті.

За допомогою SolidWorks Toolbox можна створювати лінійні або кругові кулачки, для яких користувач визначає як тип штовхача, так і траєкторію.

Можливе призначення 14 типів руху, включаючи постійний, гармонійний, циклоїдний, постійну швидкість і прискорення, поліноми різного ступеня. Штовхач може здійснювати зворотно-поступальний рух ортогонально напрямку руху для лінійного кулачка, а для кругового – в радіальному напрямку.

Можна задати напрямок руху під кутом до нормалі (радіусу), а також вважати штовхач таким що коливається.

В SolidWorks Toolbox включена процедура розрахунку балок. Вона пов’язана з базою даних **«Конструкционная сталь»**, з якої Toolbox бере інформацію про геометричні параметри перерізів.

Можливості Toolbox, що пов'язані з балками, базуються на двох функціях: базі даних зі стандартними профілями і процедурі розрахунку балок. База містить стандарти ANSI, ISO, DIN тощо.

У кожен з каталогів включені кілька типів профілів, які, в свою чергу, містять номенклатуру розмірів. Для профілів доступні масово-інерційні характеристики.

Створення профілю має на увазі створення ескізу на поточній активній площині редагованої деталі і копіювання на цей ескіз контуру профілю. Подальші дії повністю залежать від користувача.

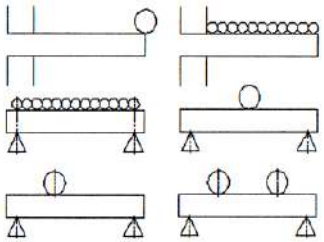


Рисунок 4.6 – Види статичних схем

Розрахунок балок заснований на застосуванні залежностей опору матеріалів, що мають на увазі недеформованість поперечного перерізу, лінійний розподіл напружень по висоті перерізу, відсутність поперечного зсуву.

Причому ці гіпотези діють незалежно від співвідношення розмірів конкретного об'єкта. Доступні шість типів розрахункових схем (рис. 4.6).

Дві з них – консольна балка з зосередженою силою на кінці і розподіленим по довжині навантаженням. Решта – балка на двох опорах з однією або двома зосередженими силами і під дією розподіленого навантаження. Обчислювати можна як прогин, так і максимальне нормальне напруження.

Навантаження щодо перетину балки може бути зорієнтоване тільки в двох напрямках. SolidWorks включає в себе різноманітні інструменти для роботи з типовими об'єктами: конфігурації; стандартні елементи, деталі, складання з бібліотеки проектування. Найбільш універсальним засобом з точки зору організації конструкторської діяльності є Toolbox – модуль SolidWorks, призначений для управління базами стандартних елементів.

Toolbox містить базу даних типових елементів деталей – канавок, профілів прокату, а також базу стандартних деталей: кріплення, прокату, підшипників, штампів і ущільнень, елементів

трансмісій тощо, згрупованих у відповідності зі стандартами: ISO, DIN, JIS і т.д. База містить можливості поповнення. Тому в офіційну поставку входить бібліотека деталей ГОСТ (для країн СНД), розроблена фірмою SolidWorks Russia.

4.6 Кінематика й динаміка

Для моделювання динамічних систем в середовищі SolidWorks призначений додаток COSMOSMotion. Оскільки продукт побудований на базі розробок фірми ADAMS, використовуваних, зокрема, в програмах лінії visualNastran і Dynamic Designer фірми MSC.

COSMOSMotion призначений для імітації руху механізмів з урахуванням кінематичних і силових факторів. Програма повністю інтегрована в SolidWorks, функціонує на геометричній моделі SolidWorks, запис розрахункових параметрів і результатів також здійснюється в модель SolidWorks.

Ми не будемо детально розбирати можливості програми, обмежившись загальним описом її функціональності. Причина тут така. Розробники програми, в загалі не приховують великого числа «підводних каменів». На відміну від розглянутих раніше завдань міцності і аерогідродинаміки, тут видимий результат і фактичний стан речей відрізняються, як правило, незначно.

Тобто досить підібрати розумні параметри, що визначають точність і якість відображення результатів. Це твердження, звичайно, справедливо по відношенню до тих завдань, які в принципі «підходять» для цієї програми.

Помилки і похибки, як правило, досить просто ідентифікуються після анімації результату. Крім того, незважаючи на згадану актуальність програмних продуктів для аналізу кінематики і динаміки, фактична їх затребуваність зараз невелика.

Справа в тому, що якщо пару десятків років назад застосування складних механізмів було повсюдним, то тепер функції управління взяла на себе мікропроцесорна техніка, а приводи почали будуватися на базі контролерів. В результаті найскладніші рухи можуть бути реалізовані системами, цілком елементарними з точки зору кінематики.

Тому проектування руху звелося до програмування в тій чи

іншій його формі. Область же застосування програм звузилася до розрахунку силових факторів, що діють в механізмах. Не слід також забувати і про власні можливості SolidWorks по симуляції кінематики.

4.7 Листовий метал – розгорнення й заготовки

Завдання проектування виробів з листового металу в практиці конструктора зустрічається досить часто. Його особливість в тому, що воно найтіснішим чином пов'язане з питанням технологічної можливості бути реалізованим на даному підприємстві. Функціональність, наявна в SolidWorks, дозволяє моделювати форми, що допускають отримання точних в геометричному сенсі розгорток, а також деяких типів наближених і умовних розгорток.

Спеціальний додаток до SolidWorks – BlankWorks, здатний оперувати з поверхнями подвійної кривизни, супроводжуючи отримання розгорток первинною оцінкою технологічності (рис. 4.7).

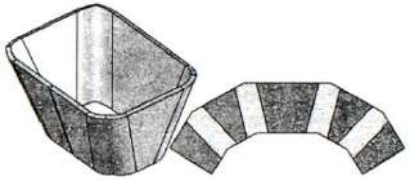


Рисунок 4.7 – Приклад об'єкта що точно розгортається

Як відомо, класифікація розгорток криволінійних поверхонь в нарисній геометрії ділить їх на точні, наближені і умовні.

Перші мають на увазі збереження всіх лінійних і кутових розмірів, тобто деформування матеріалу без розтягування / стиснення (за умови, що товщина прагне до нуля).

Точні розгортки можуть бути отримані тільки для певного класу об'єктів. Якщо користуватися поняттями аналітичної геометрії, то до них відносяться поверхні, у яких в будь-якій точці одна головна кривизна дорівнює нулю.

Нарисна геометрія вимагає для поверхні що розгортається, існування в будь-якій точці площини, яка торкається поверхні по прямій. Зрозуміло, фізичний зміст цих визначень еквівалентний.

Прикладами точно розгорнутих поверхонь є циліндричні і конічні поверхні загального виду, а також лінійчаті поверхні з

двома напрямними і площиною паралелізму.

На рис. 4.7 наведено приклад точної розгортки твердого тіла, що імітує лінійчату поверхню. Вона являє собою поєднання плоских і конічних поверхонь. Очевидно, що всі грановані поверхні, у яких будь-яка вершина належить максимум одній лінії згину, також мають точну розгортку.

4.8 Світлотехнічний аналіз і проектування

Для проведення світлотехнічного та оптичного аналізу і проектування – призначений модуль OptisWorks. Так повелося, що в нашій країні, програмне забезпечення для моделювання оптичних явищ і об'єктів не дуже часто використовується в інженерній практиці.

З одного боку, це пояснюється недостатньою затребуваністю відповідних інструментів – оптична і світлотехнічна промисловість практично не розвиваються.

Крім того, на відміну від вимог, наприклад, до механічних або теплових характеристик, які визначають функціональність об'єктів, запити до світлотехнічних параметрів не завжди формулюються строго, а, будучи сформульовані, нерідко порушуються.

Наприклад, якщо придивитися уважно до побутових освітлювальних приладів, можна виявити приклади вельми невдалих проектів: низький ККД, нерівномірність світлового потоку, локальний перегрів.

В якості компенсації споживачеві пропонується химерний дизайн, який і служить основним критерієм для вибору. Після установки приладу виникає відчуття незручності, формалізувати яке дуже важко.

Аналогічна ситуація в автомобілебудуванні: динаміка, гальмівний шлях – об'єктивні затребувані характеристики, а от якість же підсвічування панелі приладів – це те, на що увагу звертають лише після покупки.

Те ж, до речі, стосується системи опалення та вентиляції. Базові технічні вимоги в принципі дотримані, але почуття комфорту відсутнє. В автомобільній промисловості у провідних виробників, програмне забезпечення для світлотехніки за значимістю стоїть на тому ж рівні, як для динаміки і міцності.

Питання для самоперевірки

1. Які математичні методи використовуються в програмах інженерного аналізу?
2. В яких галузях застосовуються CAE-системи?
3. На чому заснований метод кінцево-елементного аналізу?
4. Для вирішення якого типу задач застосовують метод кінцевих об’ємів?
5. Для вирішення якого типу задач застосовують метод кінцевих різниць?
6. Які види моделювання які дозволяє виконувати COSMOSWorks?
7. Розкажіть базовий алгоритм розрахунку у COSMOSWorks.
8. Назвіть види і джерела нелінійності в структурній механіці.
9. Які переваги й недоліки розрахункового модуля Flow Simulation?
10. Для розрахунку якого типу задач призначений Flow Simulation?
11. До якого типу задач відноситься розрахунок закипання рідин, вплив закипання на гідравлічний опір і теплообмін у каналах?
12. За допомогою яких додатків SolidWorks виконується проектування елементів механічних систем?
13. До якого типу задач відноситься розрахунок ерозії твердих тіл в результаті випадання на них частинок?
14. На чому заснований розрахунок балок у SolidWorks?
15. Для вирішення яких задач призначений додаток COSMOSMotion?
16. В чому особливість роботи із розгортками листового металу?
17. Для чого призначений модуль світлотехнічного аналізу?
18. В якому модулі можна вирішити задачі сполученого теплообміну?
19. Для чого призначений модуль GearTrax?

5 ОСНОВНІ МЕТОДИ РОБОТИ У СИСТЕМІ NX SIEMENS

Програмний пакет NX являє собою одну із самих популярних САПР, використовуваної практично у всіх галузях промисловості. Перша версія пакета NX, відомого ще як NX Unigraphics, була випущена в 2002 році, коли компанія EDS PLM Solutions зібрала на одній платформі рішення пакетів Unigraphics та I-Deas. Як будь-яка система САПР важкого рівня, NX поєднує в собі функціонал для вирішення завдань конструювання й проектування (CAD), інженерного аналізу (CAE) і підготовки виробництва (CAM).

Цей функціонал згрупований у додатках, об'єднаних на базі єдиного геометричного ядра Parasolid. Систему NX випускають для платформ Windows, Linux і MacOS.

А оскільки різні операційні системи мають свою реалізацію відображення елементів інтерфейсу прикладних програм, то й в інтерфейсі NX будуть деякі відмінності залежно від платформи. Але загальна логіка роботи системи й взаємодії з користувачем не залежать від платформи, тому опис версії NX для Windows, використовуваний в цій лекції, однаковий і для інших операційних систем.

Основні елементи головного вікна програми (рис. 5.1):

1 – заголовок вікна, у якому крім назви системи відображаються поточний додаток, ім'я робочої деталі та її стан у випадку зміни;

2 – головне меню, склад якого залежить від поточного активного додатка й ролі;

3 – панелі інструментів;

4 – панель вибору, яка містить набір команд і опцій, керуючих механізмом інтерактивного вибору користувача в процесі роботи над моделлю;

5 – рядок статусу й підказки, у якій відображаються контекстні підказки для користувача й поточний статус виконання операції;

6 – панель ресурсів, що містить набір різних вкладок, кожна з яких відповідає за певну функцію;

7 – кнопка перемикання між стандартним і повноекранним режимами;

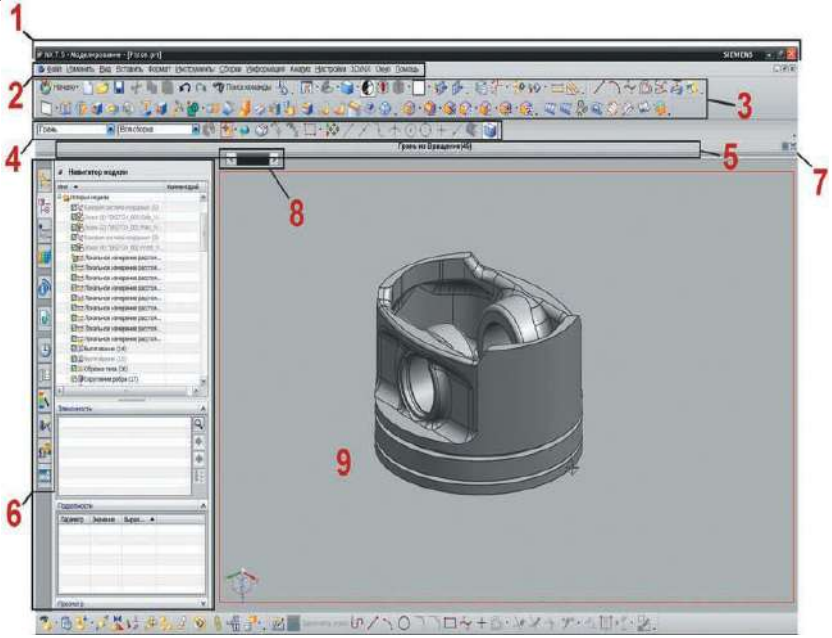


Рисунок 5.1 – Головне вікно системи NX

8 – «рейка» кріплення діалогових вікон. Цей елемент інтерфейсу призначений для позиціонування діалогових вікон команд, викликуваних користувачем;

9 – графічна область, у якій відображається геометрія побудови.

На рисунку 5.1 показана система NX в «класичному» режимі, характерному для всіх Windows додатків. Існує ще один режим – повноекранний. Основне призначення повноекранного режиму, що перемикається кнопкою (7) – максимально розширити графічну область і мінімізувати кількість відображуваних панелей інструментів і меню.

Набір інструментів у рамках кожного додатка NX виражається у вигляді кнопкових інструментальних панелей і додаткових елементів головного меню.

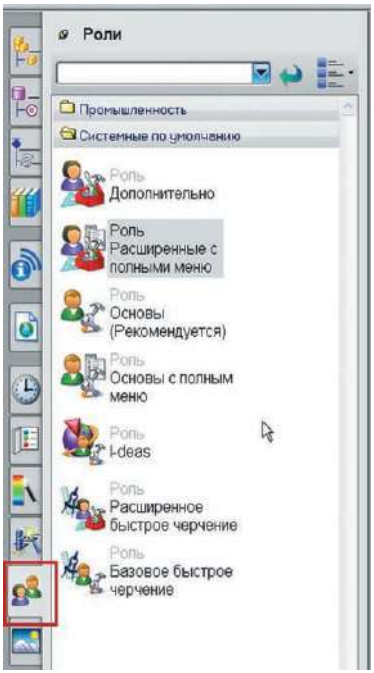


Рисунок 5.2 – Ролі

Рідко коли для вирішення якого-небудь завдання в хід ідуть усі можливі команди додатків, тому користувачі воліють відображати тільки часто використовувані команди й видаляти ті, які не потрібні.

Так, кожний користувач системи NX у міру освоєння набудовує інтерфейс системи під себе. Для полегшення цього процесу в NX передбачений механізм ролей.

Роль – це збережений стан інтерфейсу, у якому запам'ятовуються набір відображуваних панелей і елементів меню, їх склад і положення на екрані. Для керування ролями в панелі ресурсів існує вкладка Ролі (рис. 5.2).

Механізм вибору об'єктів є одним із ключових для роботи користувача. Будь-яке завдання параметрів команд зводиться до призначення якихось числових параметрів і вибору яких-небудь об'єктів. Для керування логікою вибору й фільтрації обраних об'єктів NX надає набір допоміжних інструментів, реалізованих у вигляді інструментальної панелі й контекстних меню.

Інструментальна панель вибору завжди розташовується у верхній частині головного вікна під усіма іншими включеними панелями й безпосередньо над графічною областю (рис. 5.3). При цьому користувач може одержати доступ до компактного виду панелі вибору, нажавши праву кнопку миші безпосередньо на графічній області.

Панель вибору містить блок фільтрів вибору, блок керування множинного вибору й блок прив'язок. Фільтри вибору дозволяють обмежити вибір за певною ознакою. Перший фільтр у вигляді випадаючого списку (1), визначає який тип геометрії

може бути обраний. За замовчуванням фільтр не встановлений, тому вибираються об'єкти всіх типів, що не завжди зручно. Другий випадаючий список, визначає контекст, у якому проводиться вибір (2) – у поточній деталі, у всьому складанні або в поточній деталі й у всіх вхідних компонентах. Це найбільш часто використовувані фільтри вибору.

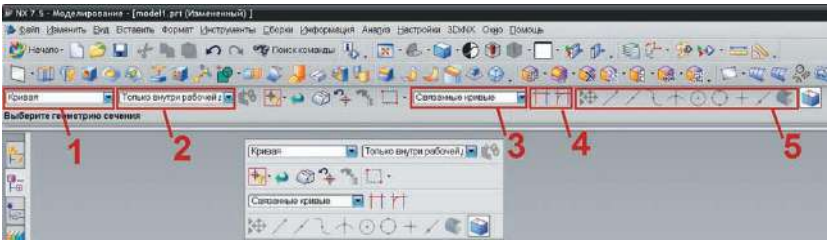


Рисунок 5.3 – Панель вибору

Додатково в цьому блоці представлені фільтри, що працюють по інших ознаках, таких як колір, шар, найменування, атрибути, а також ряд допоміжних інструментів.

Випадаючий список (3), а також набір кнопок (4) визначають логіку роботи системи при виборі безлічі об'єктів. Вони встановлюють поточний режим вибирання об'єктів у залежності від геометричних умов.

5.1 Моделювання твердих тіл

Створювані геометричні тіла в NX діляться на поверхні й тверді тіла. Одним з підвидів твердого тіла є модель деталі з листового металу, для створення якої пропонується кілька спеціалізованих додатків NX.

Твердотільне моделювання являє собою створення замкненого геометричного об'єму, що описує геометрію деталі.

Для цього використовуються примітиви, одержувані витягуванням і обертанням плоских контурів, конструктивні елементи й логічні операції комбінування тіл.

Явно вираженого модуля твердотільного моделювання в NX немає, тому що для цього застосовуються інструменти з різних додатків. Зокрема, тверді тіла можна одержувати шляхом додання товщини поверхні створеної, у додатку **«Студия**

формы», або заповненням замкненого контуру з поверхонь.

Основна мета моделювання твердих тіл – створити точну геометрію проектованої деталі, яка буде основою для випуску документації, проведення розрахунків і написання програм ЧПУ. З погляду системи, геометричне представлення є результатом зв'язаної послідовності операцій, що складають дерево побудови моделі.

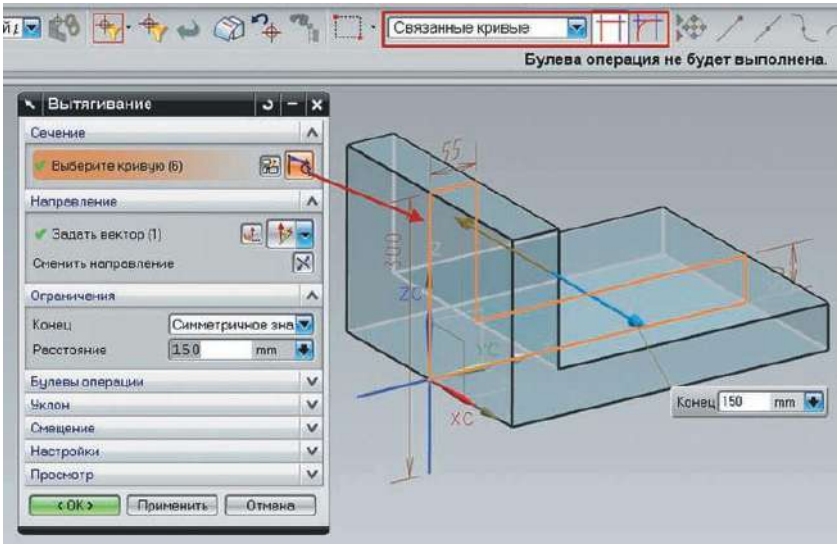


Рисунок 5.4 – Витягування ескізу
при створенні твердого тіла

Робота користувача зводиться до додавання операцій у дерево побудови, що створюють ті або інші конструктивні елементи або, що модифікують геометрію. Це справедливо для класичного випадку моделювання з історією побудови. NX також підтримує моделювання без історії побудови.

Для створення моделей ви можете використовувати типові конструктивні елементи або створювати тіла на базі двовимірних контурів, а також комбінувати ці два способи. Ескізи є основою для всіх тіл, одержуваних обертанням або протяганням уздовж траєкторії.

5.2 Моделювання поверхонь

Уміння працювати з поверхнями необхідно всім користувачам, що працюють в CAD системах вищого рівня. Практично у всіх галузях промисловості зустрічаються деталі, для побудови моделей яких необхідно звертатися до функціонала поверхневого моделювання.

Твердотільне моделювання дозволяє будувати 3D-модель, комбінуючи логічними операціями різні форми, отримані операціями протягання й обертання плоских контурів.

Це дає можливість будувати порівняно прості моделі, але коли виникає необхідність одержати більш складні форми, доводиться звертатися до поверхневого моделювання.

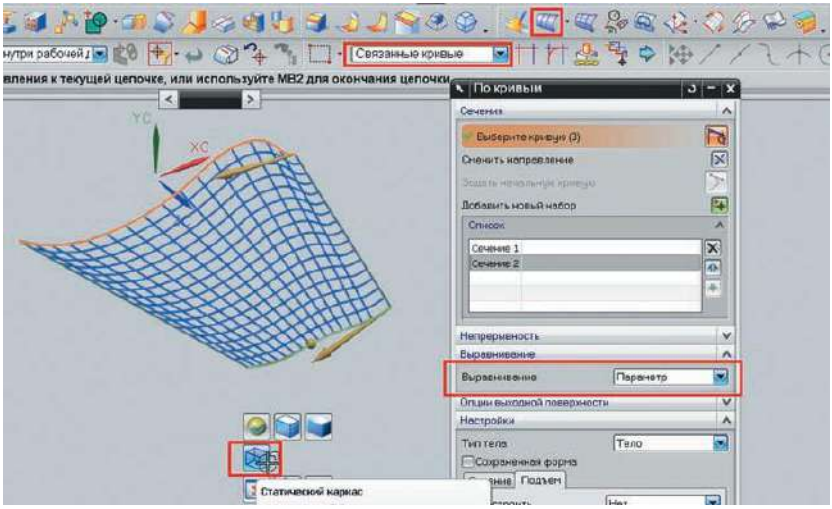


Рисунок 5.5 – Побудова поверхні по кривих

Звичайно при побудові моделей реальних виробів доводиться поєднувати твердотільне моделювання й моделювання поверхонь. Але є ряд завдань, які вирішуються тільки в модулі моделювання поверхонь.

Наприклад, створення аеродинамічних обводів кузова автомобіля або моделювання корпусів виробів побутової техніки. Іноді побудувати твердотільну модель можливо тільки шляхом

створення поверхневої оболонки заданої геометричної форми в модулі роботи з поверхнями й подальшої обробки отриманої поверхні в модулі твердотільного моделювання. Це характерно для завдань із області промислового дизайну.

У системі NX поверхня являє собою тіло нульової товщини, яке має дві розмірності. У користувача є можливість як одержати тверде тіло на основі поверхні, за допомогою спеціальної команди задавши товщину, так і робити зворотні операції одержувати поверхні на основі граней існуючих твердих тіл.

Деякі команди твердотільного моделювання також можуть створювати й редагувати поверхні. У ряді випадків, цього функціонала досить для побудови простих поверхонь, і немає необхідності в інших інструментах створення поверхонь. Так, наприклад, операції **«Вытягивания»** (**Extrude**) або **«Вращения»** (**Revolve**) при використанні незамкнутого контуру або включення відповідної опції створять не тверде тіло, а поверхню. Також операції **«Обрезка тела»** (**Trim Body**) і **«Разделить тело»** (**Split Body**) можуть приймати в якості вхідних параметрів не тільки площини й грані тіл, а також поверхні.

У функціонал системи NX входять два модулі, призначені для роботи з поверхнями. Один з них, модуль поверхонь вільної форми (**Freeform Modeling**), входить у додаток «**Моделирование**» (**Modeling**) і представлений набором інструментальних панелей і меню, що містять команди побудови й редагування поверхонь. Другий модуль оформлений у вигляді окремого додатка «**Студия формы**» (**Shape Studio**), яке необхідно активувати через меню **Начало > Все приложения > Студия формы (Start > Applications > Shape Studio)**.

Функціонал модуля «**Студия формы**» (**Shape Studio**) закриває більшу частину завдань моделювання поверхонь у машинобудуванні, і в той же час – освоєння можливостей цього модуля буде достатнім для одержання естетичних поверхонь, застосовуваних в області промислового дизайну й художнього моделювання.

5.3 Моделювання в контексті

Завдання проектувати в контексті, тобто враховуючи оточення розроблювальної деталі або вузла, виникає досить

часто. Як при проектуванні складних виробів із щільним компонуванням, так і при створенні модифікацій існуючих вузлів, коли частина деталей залишається незмінною, а нові необхідно вписати в існуючий контекст.

Це, у свою чергу, змушує створювати 3D-моделі розроблювальних вузлів, опираючись на геометрію й параметри вже існуючих деталей і складань, створюючи міжмодельні зв'язки та управляючи змінами.

Основним завданням конструктора при моделюванні деталі в контексті або при використанні посилань на геометрію інших деталей поза контекстом, є правильне визначення тих параметрів і геометричних об'єктів, які можна використовувати як посилання у своїй моделі.

У системі NX реалізований досить потужний і гнучкий механізм для роботи з міжмодельними зв'язками, який одержав назву WAVE. Цей механізм використовується не тільки для створення моделі з використанням геометричних посилань на інші об'єкти, але й для реалізації методу проектування зверху вниз.

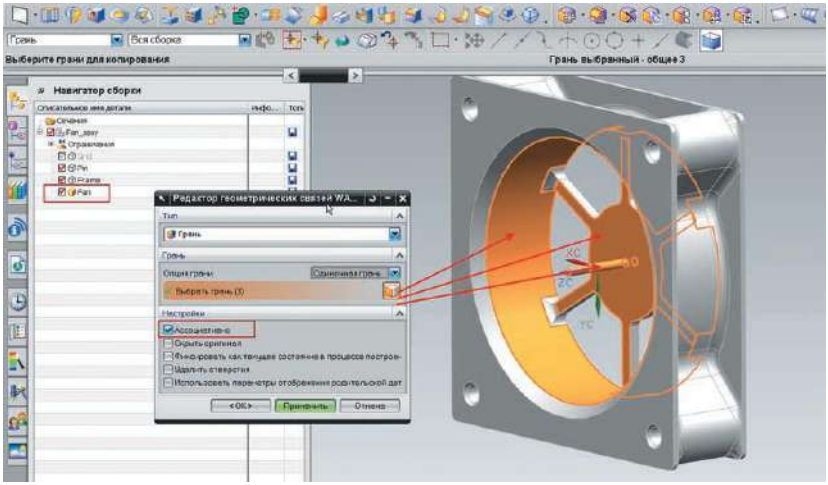


Рисунок 5.6 – Створення геометричних зв'язків

В обох випадках WAVE являє собою інструменти для створення й керування геометричними й параметричними

зв'язками, а також відстеження їх поточного стану. Усе інше – визначення ключових параметрів, вибір визначальних геометричних об'єктів, визначення послідовності проведення змін – залишається за користувачем.

5.4 Робота з листовим металом

Говорячи про роботу з листовим металом, мова в першу чергу йде про створення моделей деталей, одержуваних гнуттям і штампуванням. Процес моделювання таких деталей специфічний тим, що одержувані моделі існують у двох станах – вихідному й розгорнутому, а також тим, що товщина матеріалу постійна по всій моделі.

Тому функціонал створення такого роду деталей був виділений з модуля Моделювання, тому що багато операцій у цьому модулі створюють елементи, що не сполучаються з листовим металом.

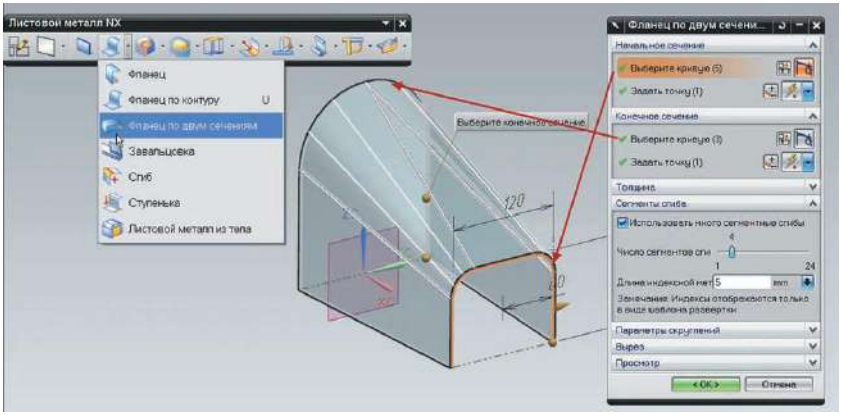


Рисунок 5.7 – Створення фланця з листового метала по двом перетинам

З версії NX 7.5 інструментарій моделювання деталей з листового металу в системі NX розділений на два модулі:

«Листовой металл NX» (NX Sheet Metal) – призначений для вирішення завдань загального машинобудування в області моделювання з листового металу. Обмеження цього модуля стосуються можливостей роботи із криволінійними ребрами для

побудови фланців і використання посилальних поверхонь для створення елементів деталі;

«Авиационный листовой металл» (NX Aerospace Sheet Metal) – модуль, призначений для завдань моделювання деталей, специфічних для аерокосмічної галузі. Він містить інструментарій, що дозволяє моделювати елементи моделей, не типових для інших галузей, а також здатний працювати з елементами поверхонь при моделюванні деталей.

Додатково в цих модулях доступний функціонал модуля **«Расширенный листовой металл»**, який входив до складу додатків ще до версії NX7.5. У загальному випадку алгоритм створення моделей з листового металу досить простий:

- створення основи – плоского елемента на базі ескізу або кривих;
- побудова фланця на базі ребер основного елемента;
- створення необхідних вирізів і підштамповок;
- обробка стиків і кутів;
- одержання розгорнутої форми моделі й аналіз технологічності при необхідності;
- випуск конструкторської документації.

Результатом роботи в модулі листового металу є 3D-модель деталі, яка використовується в складі макета виробу, а також асоціативно зв'язане плоске розгорнення, по якому випускається креслення для виготовлення деталі. Оскільки побудова моделі та одержання розгорнення ведуться з урахуванням фізичних властивостей матеріалу й характеристик устаткування для виготовлення, то точність одержуваного розгорнення цілком залежить від правильності завдання необхідних параметрів.

Під час роботи в модулі листового металу всі параметри матеріалу беруться із загальної бібліотеки NX, тому для коректної роботи й розрахунків розгорнень деталей, одержуваних штампуванням (з більшими пластичними деформаціями), необхідно забезпечити точність фізичних властивостей матеріалу.

5.5 Синхронна технологія

Синхронна технологія (СТ) є розвитком засобів прямого моделювання геометрії, представлених у версіях NX5/NX6. Інструменти прямого моделювання доповнили стандартні засоби

моделювання можливістю роботи з топологією моделі прямо, ігноруючи історію побудови.

СТ розширило можливості прямого моделювання, додавши механізми «розумного» вибору й розпізнавання конструктивних елементів без історії побудови,а також увівши функціонал геометричних зв’язків між елементами моделі.

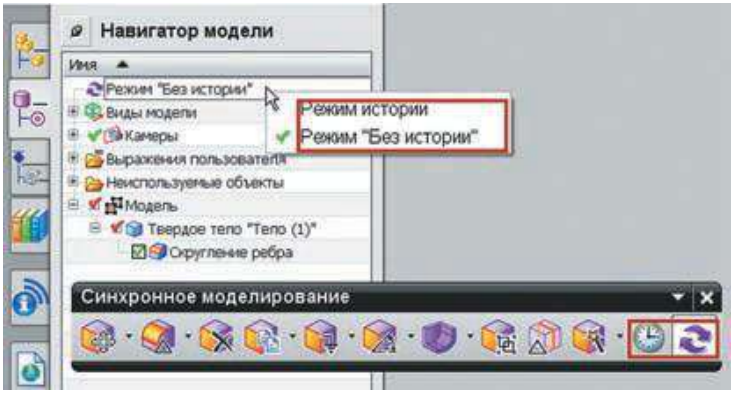


Рисунок 5.8 – Режими роботи з історією побудови

При роботі в NX можна використовувати два режими створення моделей.

З історією побудови – це традиційний спосіб моделювання в більшості систем САПР, заснований на впорядкованій послідовності конструктивних елементів, які формують геометрію моделі. Будь-яка зміна проходить від місця його виникнення до кінця історії побудови.

Цей режим використовується в тих випадках, коли важливо зберігати параметризацію й асоціативні зв’язки між моделями. Як правило, це характерно для етапу детального проороблення виробу.

Без історії побудови – у цьому випадку історія побудови не створюється й кожна нова команда моделювання оперує геометрією прямо. У силу відсутності дерева побудови немає ніякого хронологічного зв’язку між конструктивними елементами, з яких складена модель, тому будь-які модифікації стосуються певної ділянки геометрії.

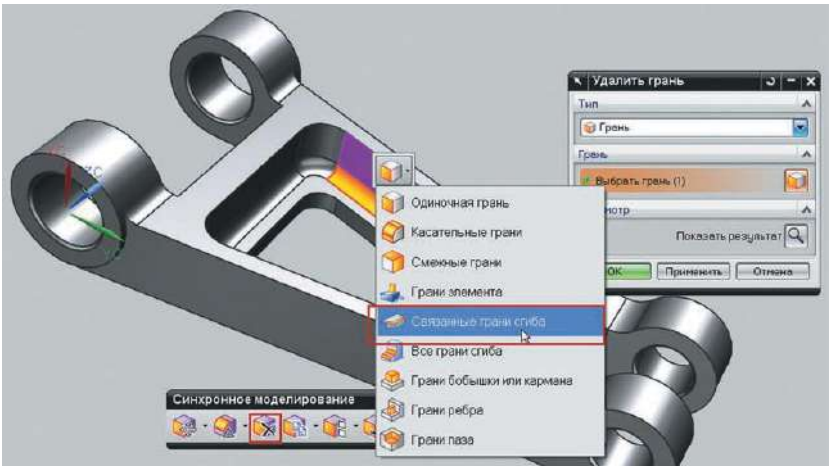


Рисунок 5.9 – Видалення елементів
у режимі без історії побудови

Моделювання без історії побудови найчастіше використовується на етапах концептуального відпрацьовування, коли пробляють різні варіанти спрощеного геометричного представлення моделі.

5.6 Робота зі складаннями

Моделювання й аналіз складальних одиниць є однією з важливих складових процесу проектування в системі САПР. На цьому етапі всі створені різними учасниками моделі деталей збираються у загальне складання виробу. Для вирішення завдань, пов'язаних зі створенням складань і роботою з ними, в NX є два модулі – **«Сборки»** й **«Расширенные сборки»**, об'єднані у один додаток.

Модуль **«Сборки»** містить основний інструментарій по створенню складань, позиціонуванню компонентів і накладенню складальних зв'язків. А модуль **«Расширенные сборки»**, представлений у вигляді додаткових інструментальних панелей, пропонує засоби аналізу маси, створення послідовностей складання й розбирання, та багато чого іншого. Складання в NX являє собою файл моделі, що містить посилання на інші моделі, які є компонентами складання.

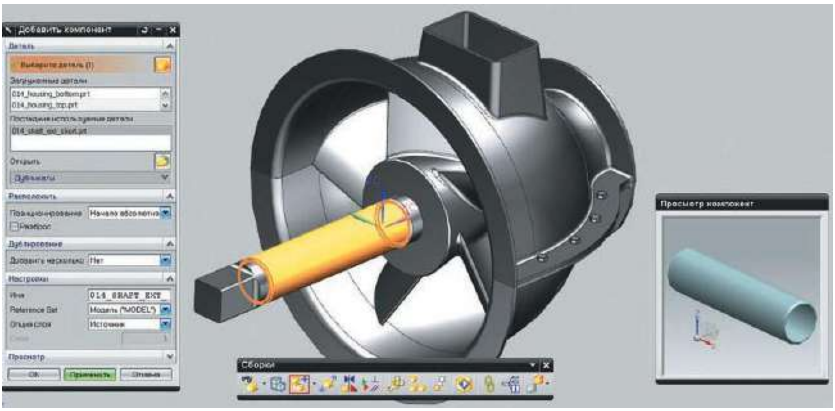


Рисунок 5.10 – Вставка компонента в складання

У загальному випадку будь-яка модель технічно може виступати складанням, і також будь-яка модель складання може зберігати в собі не тільки посилання на компоненти, але й свою власну геометрію.

Кожний компонент, що входить у складання, несе інформацію не тільки про геометрію моделі, на яку він посилається, але й додаткову інформацію, таку як шар розташування компонента, колір відображення, матрицю позиціонування даного екземпляра компонента й відображуваний посилальний набір.

Посилальним набором в NX називається певний набір геометричних об'єктів, які застосовуються для представлення компонента в складанні. Механізм посилальних наборів використовується для фільтрації вмісту моделі з метою надання тільки тих геометричних елементів, які необхідні для того або іншого завдання.

Це допомагає знизити потребу в ресурсах пам'яті й відеокарти при роботі зі складаннями, тому що дає можливість не завантажувати весь вміст моделей, а тільки необхідну частину. У загальному випадку модель може містити в собі кілька посилальних наборів – як системних, так і користувацьких.

Кожний компонент складання також містить посилання на файл моделі, тому зміни цієї моделі відбиваються на всіх

входженнях компонента складання. При цьому однакові компоненти можуть мати свої унікальні атрибути, що відрізняють одне входження від іншого.

Завантаження компонентів складання – їх стану, використовувані версії, а також як вони відображаються на екрані – визначається опціями завантаження, які визначаються під час відкриття складання або визначаються для конкретного складання у вигляді файлу з опціями.

5.7 Основи NX Advanced Simulation

Модуль **«NX Расширенная симуляция»** (**NX Advanced Simulation**) с для проведення інженерного аналізу в рамках роботи з єдиним середовищем проектування NX. Використання чисельних методів при проектуванні різних конструкцій і машин продиктоване необхідністю постійного підвищення надійності і якості виробів, а також можливістю використовувати нові сучасні матеріали, враховувати складні умови роботи сучасних конструкцій при необхідності підвищення їх конкурентоспроможності й надійності.

Максимальний ефект від використання технологій чисельного інженерного аналізу досягається при їхнім використанні починаючи із самих ранніх стадій проектування.

При цьому знижуються вартість виробу, імовірність виникнення ризиків і строк випуску виробу на ринок. Дослідження механічної поведінки тривимірних конструкцій можна проводити за допомогою експериментального підходу.

Цей спосіб дозволяє оцінювати поведінку конструкції при впливі на неї різних зовнішніх факторів. Однак він є досить дорогим, вимагає більших тимчасових витрат, а іноді взагалі не може бути здійсненим. У наш час у процесі розробки високотехнологічної конкурентоспроможної продукції, провідні фірми світу використовують кінцево-елементне (КЕ) моделювання, намагаючись замінити дорогий натурний експеримент більш дешевим обчислювальним експериментом.

КЕ-моделювання дозволяє оцінити поведінку тривимірних конструкцій під впливом різних зовнішніх факторів. Сучасний рівень комп’ютерної техніки дає можливість вирішувати складні завдання на потужних робочих станціях протягом декількох

годин. Слід також зазначити, що при проведенні реальних експериментів, як правило, інформацію можна одержувати лише в десятках або сотнях точок, при чисельному моделюванні таких точок може бути кілька сотень тисяч, а при необхідності їх число може досягати мільйона.

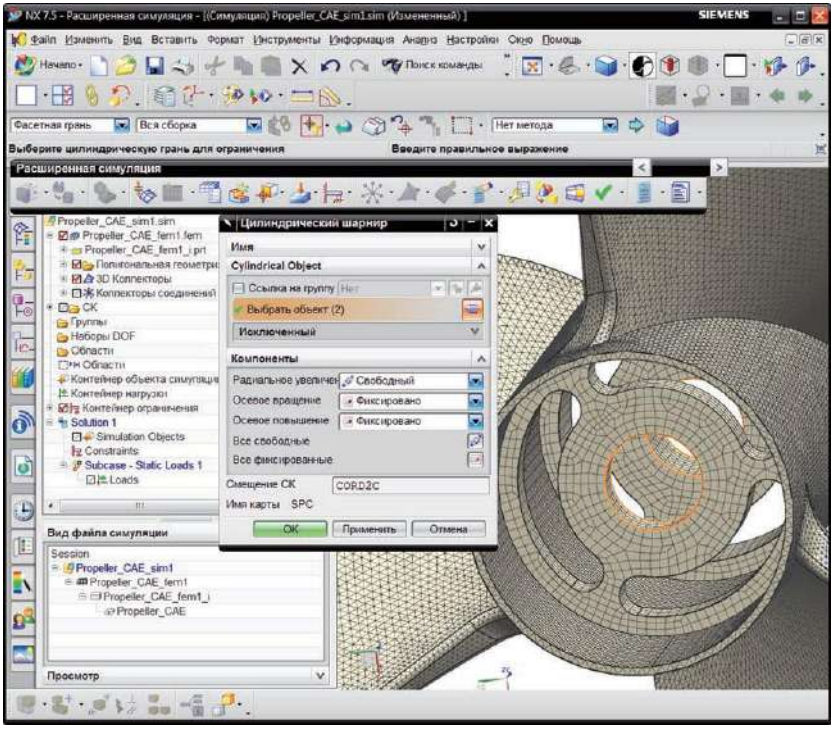


Рисунок 5.11 – Завдання навантажень і граничних умов кінцево-елементної моделі в NX Advanced Simulation

Більшість функцій і операцій, чисельного інженерного аналізу на базі методу кінцевих елементів, доступні в NX починаючі з версії 5 і вище. Однак при роботі з NX 4, слід враховувати той факт, що функціонал попередніх версій може бути значно меншим, а інтерфейс – відрізнятися на рівні іконок, меню і т.д. Звичайно інженер-конструктор для попередньої оцінки міцності/працездатності конструкції застосовує інженерні

підходи, які в основному складаються з представлення конструкції у вигляді простих вузлів і елементів, для яких існують аналітичні оцінки пошуку напружено-деформованого стану. До таких оцінок можна віднести використання найпростіших формул для пошуку напруг у балках при їхнім розтяганні, згинанні або крутінні, пошуку відносного подовження, моментів інерції, сил реакції і т.д.

Раніше інженер-конструктор був змушений працювати з великою кількістю спеціалізованої літератури для пошуку необхідних виражень і законів. Але з початком використання комп'ютерних систем чисельного аналізу все змінилося.

Тепер інженер має можливість моделювати конструкції й машини будь-якої складності, з будь-яким ступенем деталізації за допомогою інструменту аналізу реального розподілу напруг і деформацій у конструкції – модуля **«NX Расширенная симуляция»** на базі промислового вирішувача NX Nastran (та інших модулів компанії Siemens PLM Software). Тобто тепер інженер має можливість працювати з різними додатками, залишаючись у єдиному звичному для себе середовищі проектування NX. Причому масштабованість модуля **«NX Расширенная симуляция»** дозволяє вирішувати як найпростіші, так і найскладніші завдання з різних областей механіки.

5.8 Виконання креслень

Креслення є класичним документом, що описує розроблюваний виріб, будь те деталь або складання. Сучасні системи САПР, крім модулів створення тривимірного представлення виробу, пропонують і інструментарій по створенню креслень на основі створених моделей деталей і вузлів. У системі NX цей інструментарій реалізований у вигляді модуля **«Черчение»** (**Drafting**), який вирішує задачі формування асоціативних двомірних креслень на основі розроблених тривимірних деталей і складань.

У версії NX7.5 був представлений додатковий модуль **«NX Быстрое черчение»** (**NX Power Drafting**), який запускається окремим ярликом і являє собою базовий модуль NX у комбінації з модулем **«Черчение»** й додатковим модулем розширення функціонала роботи із кресленнями (рис. 5.12).

Цей додаток вирішує тільки завдання створення креслень, як на основі 3D-моделей, зроблених в основній системі NX, так і без них. Використання окремого додатка для роботи із кресленнями дозволяє розділити робочі місця на ті, що використовуються для проектування, і ті, які служать для випуску конструкторської документації.

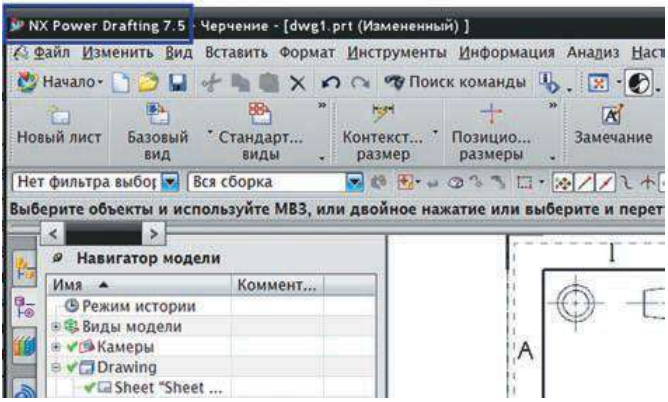


Рисунок 5.12 – NX Power Drafting

Це допомагає знизити вартість системи САПР, тому що використання повного робочого місця NX тільки для випуску креслень не завжди виправдане.

Одна з переваг систем САПР вищого рівня полягає в можливості побудови наскрізного ланцюжка проектування, частина з якого складається з асоціативно зв'язаних 3D-моделей і двомірних креслень.

Важливою умовою для створення наскрізного ланцюжка є первинність тривимірної моделі виробу перед кресленням. Тобто першоджерелом інформації про геометрію, й опціонально про вимоги до виготовлення та розмірах – повинна бути модель, а креслення повинно бути вторинним і являти собою звіт по моделі з необхідною доповнюючою інформацією.

Тобто мається на увазі в першу чергу те, що будь-які, навіть самі незначні зміни розмірів повинні в першу чергу проводитися на моделі і тільки потім обновлятися на кресленні. Будь-яка зміна представлення креслярського виду або виправлення розміру,

зробленого в рамках креслення, автоматично робить модель неактуальною, а отже розриває ланцюжок.

Зміна креслення без відповідних змін у моделі приводить до того, що виготовлена деталь не буде відповідати тій моделі, яка була використана в складаннях, що чревате проблемами зі збиранням, а також до того, що при наступних змінах прийдеться оперувати з моделлю, яка не відповідає виготовленій деталі.

Креслення моделі може існувати у двох видах – у файлі самої моделі, що містить вихідну геометрію, з якої робиться креслення, або ж у вигляді окремого файлу з посиланням на вихідну 3D-модель (концепція майстер-моделі).

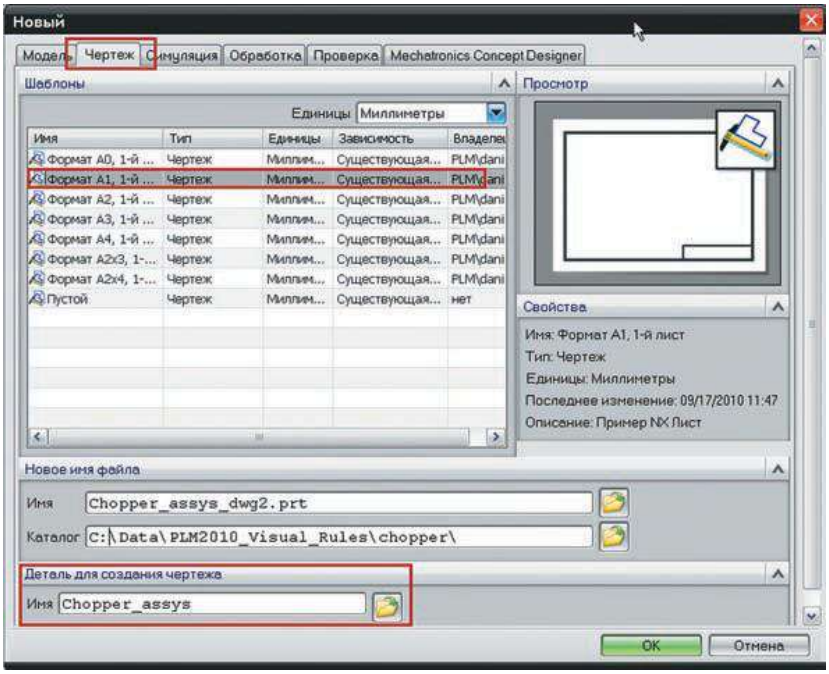


Рисунок 5.13 – Створення нового файлу
креслення у системі NX

Незважаючи на те що перший варіант видається зручнішим, другий спосіб є більш кращим з погляду процесу розробки. Коли 3D моделі й креслення зберігаються в рамках одного файлу,

досить важко забезпечити незалежний випуск цих двох об'єктів, а також незалежне проведення змін.

Адже далеко не всі зміни на кресленні, зокрема зміни в технічних вимогах на полі креслення, вимагають змін у геометрії моделі. Додаткове обмеження, що виникає при використанні одного файлу для моделі й креслення, проявляється в неможливості розділити роботи між декількома учасниками по створенню 3D моделі й формуванню креслень із них.

Для створення креслення у файлі моделі досить просто за допомогою меню **«Начало > Все приложения > Черчение»** (**Start > All Apllications > Drafting**) активувати креслярський модуль при поточній, відкритій 3D-моделі деталі або складання. У файл моделі буде додано аркуш креслення, і буде запропоновано створити базовий вид з поточної моделі.

Для створення креслення в окремому файлі необхідно створити новий файл за допомогою команди головного меню **«Файл > Новый»** (**File > New**) або відповідної кнопки інструментальної панелі й у діалозі, що з'явився, вибрати вкладку із шаблонами (форматами) креслень.

Потім вибрати підходящий розмір і, переконавшись, що в полі **«Деталь для создания чертежа»** (**Part to create a drawing of**) обрана саме та модель, для якої повинно бути зроблене креслення, нажати **ОК** (рис. 5.13). У цьому випадку буде створений новий файл, що посилається на вихідну модель, у якому на базі обраного шаблону буде підготовлений перший аркуш, і запуститься команда створення нового виду.

При використанні майстер-моделі для створення креслення створюється псевдо-складання, у якій головним є компонент креслення, а компонентами – моделі, з яких робиться креслення.

5.9 Робота із шаблонами

Тема шаблонів досить популярна при роботі із САПР вищого рівня. Шаблони допомагають гармонізувати знання й досвід, оформити їх у вигляді певної частини конструкції виробу й повторно використовувати в різних проектах. Поняття шаблону користувацького елемента, або елемента, обумовленого користувачем (**Used Defined Feature**), уже давно прижилося серед користувачів САПР.

У загальному випадку елемент, обумовлений користувачем, являє собою згрупований послідовний набір команд системи, що виконують певні дії над вхідними даними, що задаються. Такі об’єкти дозволяють створити типові елементи геометрії деталі, які можуть при вставці в дерево побудови адаптуватися залежно від заданих контекстних параметрів.

Звичайно шаблони елементів працюють у межах дерева побудови однієї деталі, тобто являють собою частину цього дерева. Коли мова йде про шаблон усієї деталі або шаблону складань, то отут вже елемент, що задається користувачем, не дозволяє повноцінно реалізувати такі об’єкти. Звичайно, завжди можна вибрати існуючу модель, перезберегти її під іншим іменем і, змінюючи контекстні геометричні посилання та значення числових змінних, намагатися перебудувати цю модель.

Як правило, це досить трудомісткий процес, тим більше якщо модель створювалася іншим користувачем – доводиться розбиратися в дереві побудови, залежностях і логіці. Було б набагато зручніше, якби в моделей був зрозумілий інтерфейс, де були б винесені всі необхідні параметри, що позбавило б від необхідності розбиратися в дереві побудови моделі.

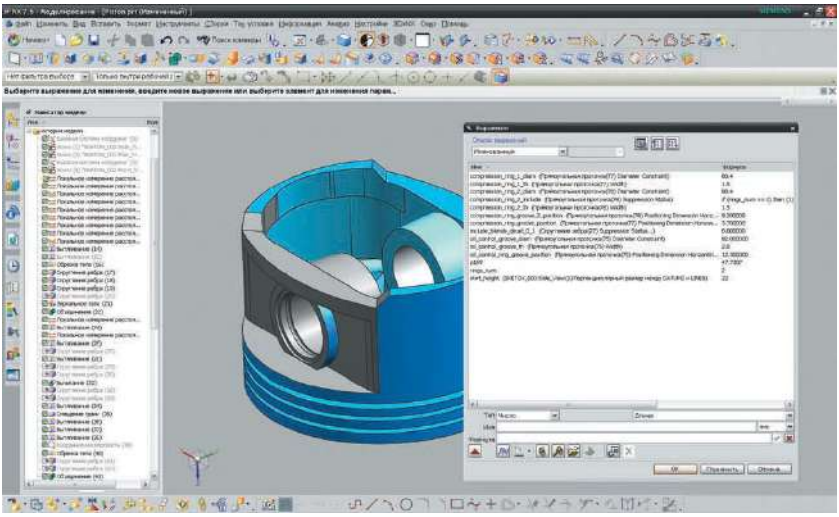


Рисунок 5.14 – Модель поршня для створення шаблону

Для цих цілей в NX5 була представлена «Студия разработки шаблонов» (Product Template Studio – PTS).

Призначення PTS створювати шаблони деталей і складань на базі існуючих параметричних моделей. При створенні PTS ставилася мета створити простий і надійний інструмент, який забезпечить функціонал створення шаблонів для досвідчених користувачів системи NX.

Не секрет, що часто коли на підприємствах ставиться питання про створення «розумних» шаблонів або заготовок для типових вузлів конструкції, то як правило, крім досвідчених користувачів системи САПР, залучають ще й програмістів, які за допомогою програмного коду реалізують більш складну логіку роботи шаблонів, чим це доступно стандартним командам системи. У випадку з PTS упор робився саме на виключення необхідності прибігати до написання якого-небудь програмного коду й на реалізацію логіки шаблону засобами PTS.

Для створення шаблону за допомогою PTS необхідна тільки закінчена параметризована модель деталі або складання й розуміння того, як ця модель повинна працювати.

Природно, для того що шаблон був робочим у межах передбачуваної області його застосування, необхідно впевнитися, що дерево побудови моделі відпрацьовує закладену в нього логіку на всіх припустимих значеннях ключових параметрів – як геометричних, так і чисельних.

PTS на основі дерева побудови моделі й заданих ключових параметрів створює діалоговий інтерфейс, за допомогою якого користувачі взаємодіють із шаблоном.

5.10 Візуалізація

Візуальні звіти з’явилися у версії NX7 і з тих пор знаходять усе більше застосування в процесах розробки й аналізу розроблювального виробу. Механізм візуальних звітів вирішує завдання швидкого надання необхідної інформації про виріб безпосередньо на тривимірному макеті самого виробу.

Не секрет, що розробка будь-якого виробу супроводжується великими обсягами супутніх даних, і досить значна частина цих даних так чи інакше стосується конкретних вузлів, складань і деталей, що входять до складу виробу.

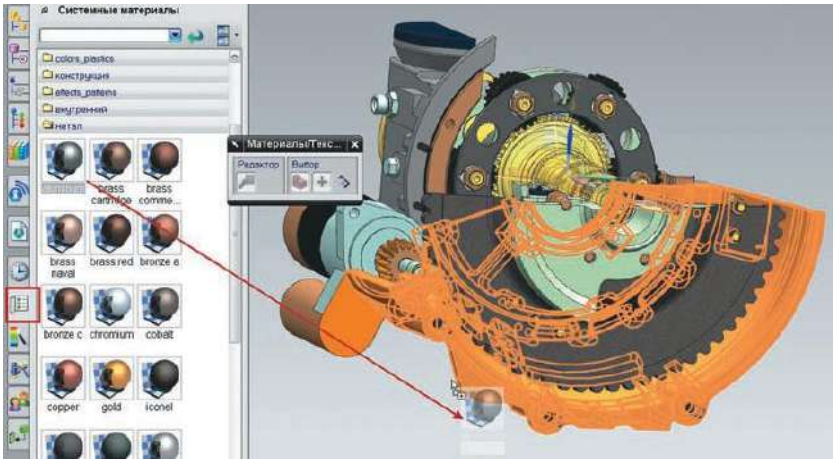


Рисунок 5.15 – Призначення матеріалів
із системної бібліотеки NX

Це можуть бути дані про вагу, стан готовності, актуальність і багато про що інше, що звичайно представляється у вигляді текстової інформації в PDM системі або в електронних таблицях.

Недолік такої подачі інформації у тому, що в CAD системі користувач бачить тривимірний макет виробу, а для одержання супутньої інформації він змушений звертатися до інших джерел, які не завжди зручні з погляду одержання швидкої відповіді на питання, які цікавлять.

Добре, коли виріб невеликий і розробляється одним-двома виконавцями. В іншому випадку навіть одержання відповіді на прості питання про поточний стан розробки за якимись критеріями вимагає значних працезатрат.

Механізм візуальних звітів пропонує альтернативну подачу супутньої інформації. Вони відображають інформацію не в окремій вибірці, а безпосередньо на моделях компонентів складу розроблювального виробу. Це дає наочну прив’язку інформації до об’єктів і рятує від необхідності перемикатися між декількома джерелами даних.

Візуальний звіт являє собою набір певних логічних операцій над атрибутами об’єктів і опис області дії цих операцій. Звіт відображається у вигляді колірного розфарбування й графічних

тегів, які формуються на підставі обробки кожного компонента складу виробу логічними операціями, заданими у звіті.

Питання для самоперевірки

1. Розкажіть порядок створення твердотільної моделі деталі в NX.
2. Як здійснюється побудова поверхні по кривим?
3. Як створюються міжмодельні зв’язки та їхнє подальше оновлення при моделюванні в контексті?
4. Як створити розгортку листового металу?
5. В чому полягає суть синхронного моделювання геометрії деталей?
6. Яка основна мета моделювання твердих тіл?
7. Що являє собою поверхня в системі NX?
8. Коли необхідно застосовувати поверхневе моделювання?
9. В чому полягає суть моделювання в контексті?
10. Яка специфіка роботи з листовим металом в системі NX?
11. Розкажіть алгоритм створення моделей з листового металу.
12. Яке призначення модуля NX Advanced Simulation?
13. За допомогою якого модуля виконуються креслення в системі NX?
14. В чому полягає суть роботи із шаблонами?
15. Що таке візуалізація і навіщо вона потрібна?

6 РОБОТА У СИСТЕМІ SOLIDWORKS. СТВОРЕННЯ ЕСКІЗІВ

Ескізи є основою для створення тривимірних твердотільних моделей деталей. Тому створення будь-якої деталі в SolidWorks, якою б простою або складною вона не була, починається з малювання ескізу. Ескіз може бути двовимірним або тривимірним. Звичайно використовується двовимірний ескіз (плоский), приблизно такий, як це роблять люди на аркуші паперу. В SolidWorks такі ескізи рисуються на площині.

За замовчуванням при створенні нової деталі подається три взаємно ортогональні площини, що проходять через початок координат (рис. 6.1). Далі можна додавати будь-яку кількість площин, що мають необхідну орієнтацію в просторі.

Але в деяких випадках зручно використовувати тривимірний ескіз, коли необхідно побудувати довгомірну деталь, наприклад, трубу, що міняє свій напрямок у просторі, або зварену конструкцію, що складається із профілів певного перетину.

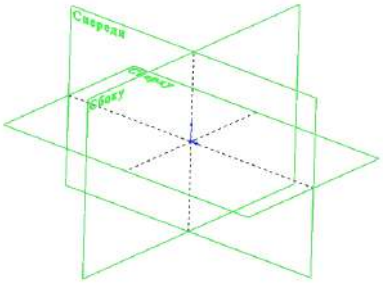


Рисунок 6.1 – Видові площині SolidWorks

Усі ескізи, як двовимірні, так і тривимірні, будуються на трьох взаємно ортогональних площинах **«Спереди, Сверху и Сбоку»** (рис. 6.1). Первісний вибір тієї або іншої площини не має істотного значення.

Звичайно процес малювання ескізу починається з передньої площини. Крім того, можна створювати свої власні площини (навіть не ортогональні) і побудову ескізу починати з них. У кожному ескізі є своя вихідна точка, тому в деталі звичайно буває кілька вихідних точок. Коли відкритий ескіз, не можна відключати відображення його вихідної точки.

Вихідна точка відображається червоним кольором  у відкритому ескізі й допомагає визначити координати точок ескізу. Малювання будь-якого ескізу рекомендується починати із

цієї точки, тоді елементи ескізу автоматично здійснюють прив'язку до неї й не потрібно додаткових взаємозв'язків для повного визначення ескізів. Для орієнтації площини ескізу в просторі на екрані в графічній області завжди є присутнім значок тріади  – **«Система координат»**. Система координат з'являється в документах деталей і складань, щоб допомогти орієнтуватися в просторі при перегляді моделей. Система координат служить тільки для довідки.

Її не можна вибрати або використовувати в якості точки формування. Систему координат можна сховати або вказати для неї кольори. При обертанні площини з ескізом тріада також обертається й показує поточне просторове положення площини ескізу.

При побудові ескізу необхідно стежити, щоб він мав замкнений контур. SolidWorks допускає в одному ескізі наявність декількох замкнених контурів, при цьому формується багатотільна деталь. У цьому випадку при витягуванні ескізу програма попросить вказати розташування контуру.

Якщо контур не замкнути, то при витягуванні програма буде інтерпретувати ескіз як тонкостінний елемент і попросить указати його товщину. При створенні ескізів можна вирізати або копіювати й вставляти об'єкти ескізу, як з одного ескізу в інший, так і усередині одного ескізу.

У процесі малювання ескізу з'являються лінії формування, які працюють разом з покажчиками, прив'язками й взаємозв'язками, щоб графічно відобразити, як об'єкти ескізу впливають один на одного. ***Лінії формування*** – це пунктирні лінії, які з'являються в міру створення ескізу.

Коли покажчик наближається до висвітлених міток, наприклад, середнім точкам, лінії формування використовуються як орієнтири залежно від існуючих об'єктів ескізу. І нарешті, двовимірні ескізи можна створювати тільки на площинах або на існуючих гранях деталі, а тривимірні ескізи – у тривимірному просторі. Запуск програми здійснюється клацанням миші по значкові програми на робочому столі, або вибором команди **«Пуск | Программы | SolidWorks».**

Після запуску програми будуть доступні два варіанти подальшої роботи: відкриття існуючих файлів деталей, складань або креслень, або створення нових файлів. Скористаємося другим варіантом для створення нового файлу.

Якщо у вас уже є які-небудь файли, створені в SolidWorks, скористайтеся першим варіантом. Якщо файли створені в попередніх версіях SolidWorks, то SolidWorks їх відкриє, тому що наступні версії програми читають файли попередніх версій. У вікні, що з'явилося (рис. 6.2), у вкладці **«Шаблоны»** виберіть шаблон **«Деталь»**, виділивши відповідний значок, і натисніть кнопку **OK**.

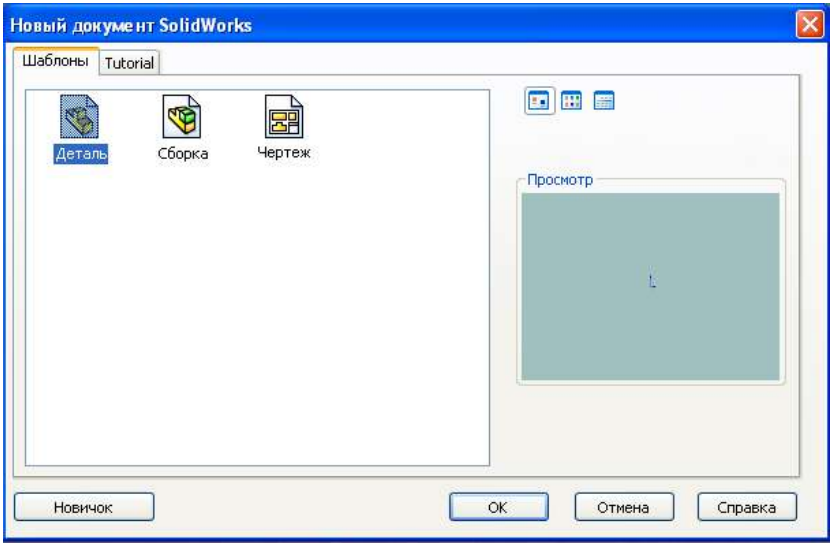


Рисунок 6.2 – Вкладка **«Шаблоны»**

Далі перед нами відкрився користувацький інтерфейс SolidWorks, з відкритою вкладкою **«Эскизы»** (рис. 6.3). Основні елементи інтерфейсу показані на рис. 6.4. Програма написана для роботи з Windows, тому всі стандартні елементи інтерфейсу розташовані на звичних місцях. При створенні нової деталі в правому нижньому куті може з'являтися помічник **«Справка: Быстрые советы»**.

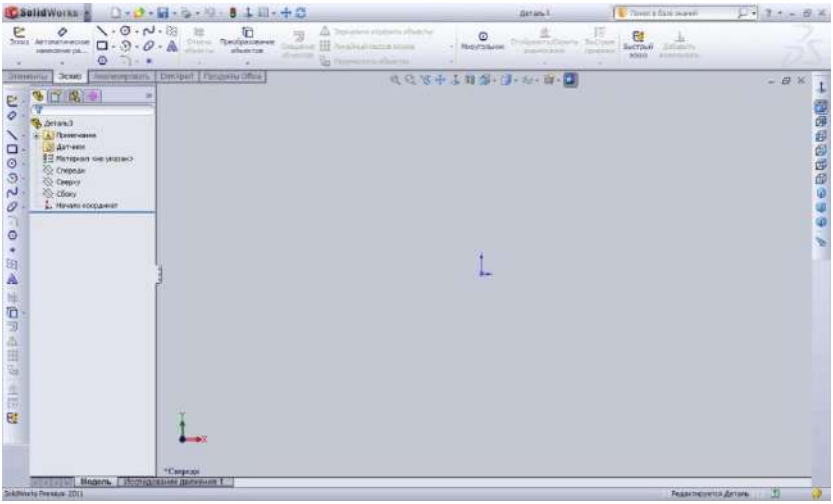


Рисунок 6.3 – Інтерфейс SolidWorks
з відкритою вкладкою **«Эскизы»**

Поклацайте мишею по елементах списку **«Что необходимо сделать?»** – і програма вкаже вам, якими кнопками краще скористатися в тому або іншому випадку. Якщо ви не потребуєте помічника, то сховайте його, нажавши мишею на знак питання в нижньому правому куті екрана. У верхній частині інтерфейсу перебуває рядок меню команд програми. Меню може бути приховано значками часто використовуваних команд.

Щоб відкрити меню, наведіть покажчиком миші на логотип програми. Наприклад, у меню **«Файл»** згруповані такі команди, як **«Новый, Открыть, Закрыть, Сохранить»**, що працюють із файлами. Меню **«Правка»** дозволяє вирізати, копіювати, вставляти й видаляти елементи побудови, а також скасовувати введені команди.

Меню **«Вид»** поєднує команди, що задають орієнтацію моделі й виду проектованої деталі або складання. Меню **«Вставка»** призначене для додавання різних елементів побудови. Меню **«Инструменты»** дозволяє набудовувати інтерфейс SolidWorks, а також застосовувати інструменти для виміру, визначення й аналізу характеристик моделей.

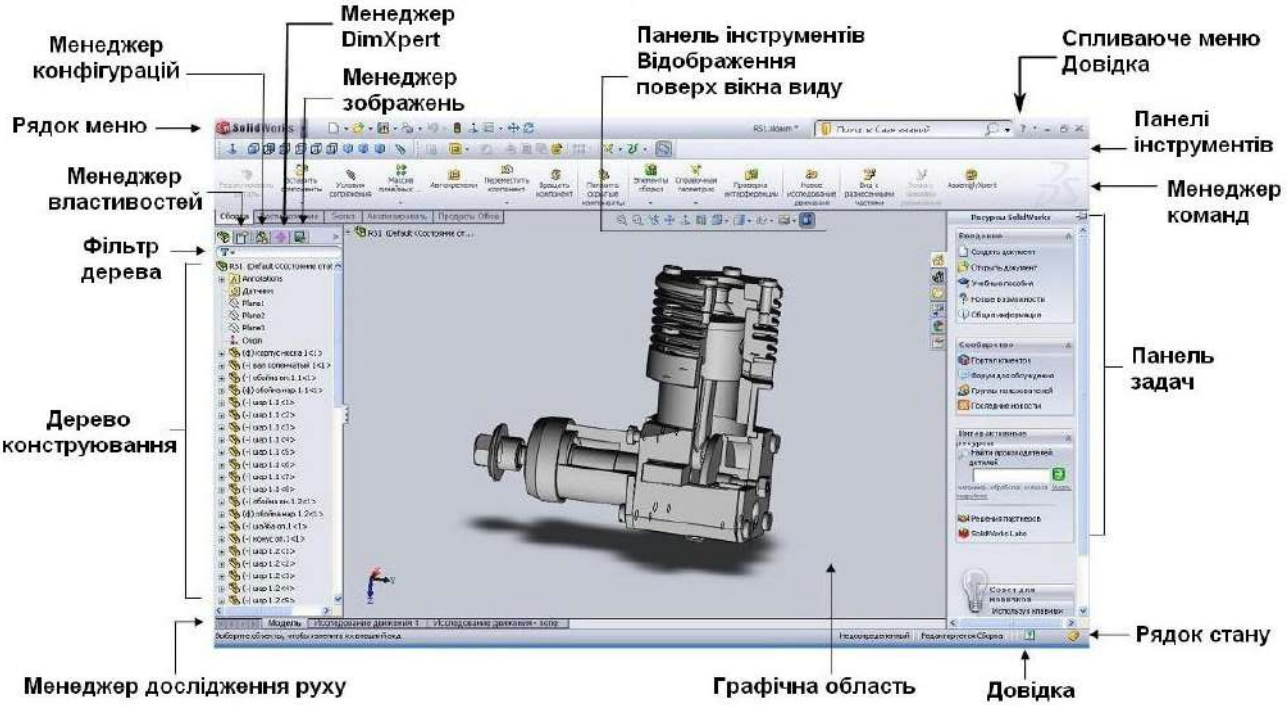


Рисунок 6.4 – Основні елементи інтерфейсу SolidWorks

Через меню **«? (Справка)»** можна одержати доступ до великої електронної довідкової системи SolidWorks. З допомогою меню **«? (Справка)»** досвідчений користувач швидко освіжить у пам'яті призабуті команди, а новачок довідається про функціональні можливості програми.

У списку кожного меню є пункт **«Настройка меню»**, який дозволяє набудовувати вид списку. Наприклад, виберіть команду **«Файл | Настройка меню»**.

З'явиться меню, що випадає, показане на рис. 6.5. У цьому меню синіми прапорцями відзначені ті пункти меню **«Файл»**, які будуть відображатися при його виклику. Знімаючи й установлюючи ці прапорці, ви набудовуєте інтерфейс під себе. Трохи нижче рядка меню розташовуються значки, які призначені для швидкого виклику команд, тобто вони дублюють команди, розташовані в меню.

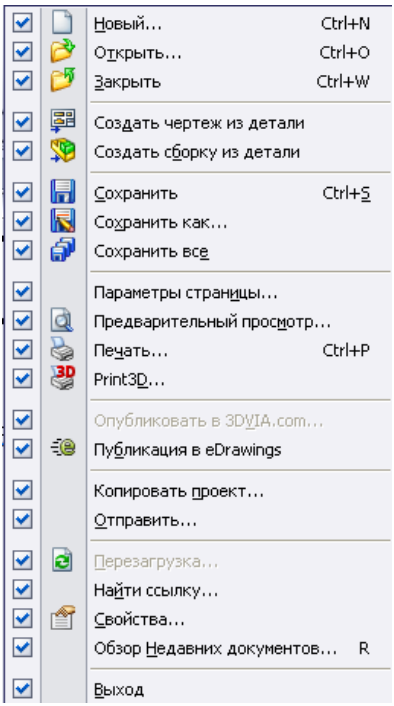


Рисунок 6.5 – Настроювання меню

У загальному випадку практично кожна команда SolidWorks може бути викликано двома або навіть трьома способами: з рядка меню; за допомогою команд у відповідній панелі інструментів; за допомогою **«Менеджера команд»**; комбінацією гарячих клавіш; за допомогою випадаючого меню правої кнопки миші.

У процесі освоєння програми ви поступово знайдете інші способи й визначите для себе, яким з них у кожний конкретний момент вам зручніше буде користуватися. Усі значки зібрані в інструментальні панелі, які, у свою чергу, також можна

набудовувати – відключати, переставляти на екрані і т.д. Крім того, кожну інструментальну панель можна оперативно перемістити на екрані простим перетаскуванням миші, захоплюючи курсором заголовок панелі. При цьому курсор миші набуває певного вигляду.

Для того щоб додати або вилучити інструментальні панелі, необхідно в меню **«Инструменты | Настройка»** на вкладці **«Панель инструментов»** установити або забрати відповідні прапорці (рис. 6.6).

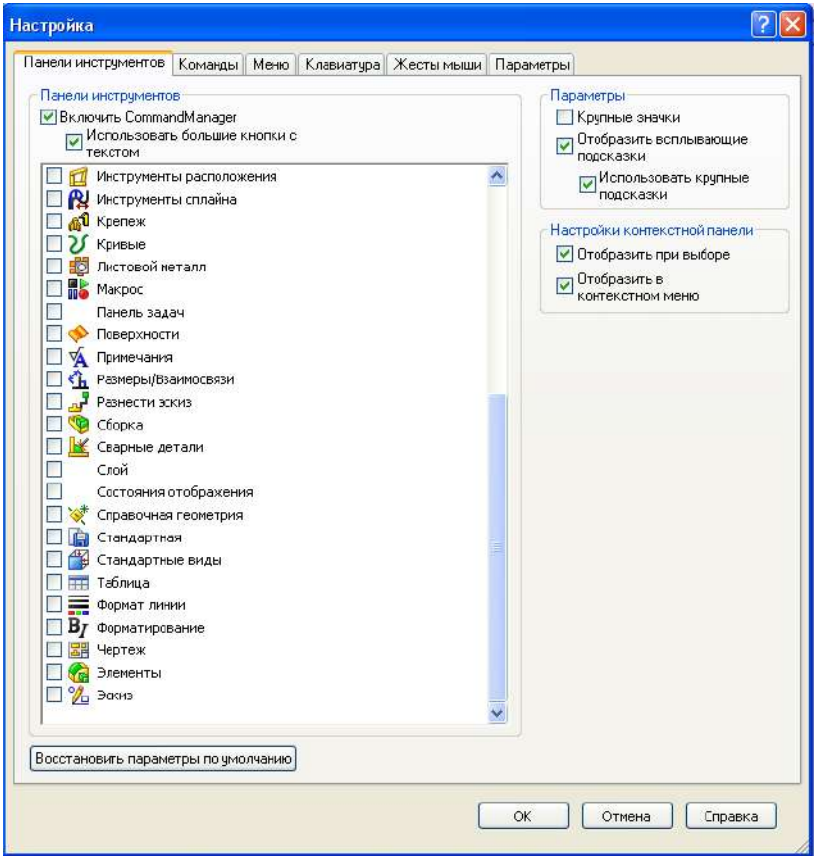


Рисунок 6.6 – Настроювання інструментальних панелей

Якщо перейти на вкладку **«Команды»,** можна додати або

забрати окремі значки на панель інструментів. Усі значки розбиті по категоріях для зручності їх систематизації й вибору (рис. 6.7).

При наведенні покажчика миші на значок команди з'являється спливаюча підказка про призначення цієї команди. Якщо команда має визначену комбінацію гарячих клавіш, то ця комбінація також буде зазначена. Наприклад, для команди створення нового файлу служить комбінація гарячих клавіш **<Ctrl>+<N>** (рис. 6.7).

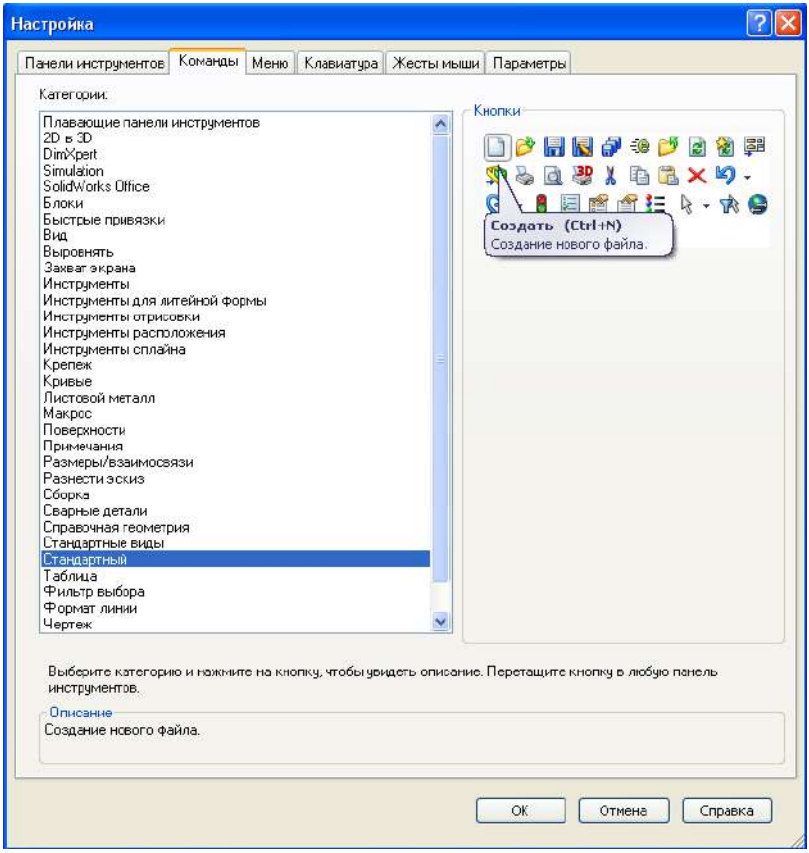


Рисунок 6.7 – Настроювання меню команд

Щоб додати значок на панель інструментів, необхідно знайти його у відповідній категорії, а потім, навівши покажчик миші на

значок, нажати ліву кнопку й, утримуючи її, перетягнути в зручне місце на панелі інструментів і відпустити кнопку.

Доданий значок відобразиться на екрані в панелі інструментів. Щоб вилучити значок, необхідно «схопити» його мишею в інструментальній панелі вікна програми й перетягнути у вікно настроювань.

Після того як кнопка миші буде відпущена, значок зникне з екрана. Після всіх маніпуляцій зі значками натисніть кнопку **ОК** у вікні **«Настройка»**. За замовчуванням у лівій частині екрана розташоване **«Дерево Конструирования»** (рис. 6.8), у якому будуть відображатися всі наші побудови.

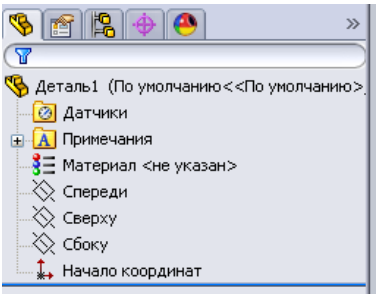


Рисунок 6.8 – Вікно **«Дерево Конструирования»**

Ми тільки збираємося почати створювати модель, тому дерево конструювання порожнє: є тільки вихідні площини **«Спереди, Сверху и Сбоку»**, на яких можна починати побудову ескізів, і точка **«Начало координат»** у місці перетинання стандартних площин. Ці площини розташовані одна до одної ортогонально, дозволяючи ефективно будувати тривимірну модель, використовуючи всі три напрямки одночасно.

Інші об’єкти дерева конструювання до ескізів не відносяться, і ми їх розглянемо пізніше. Інструментальна панель **«Элементы»**, що служить для створення твердотільної моделі, за замовчуванням перебуває у верхній частині екрана. У цей момент у ній доступні тільки дві команди: **«Вытянутая бобышка/основание»** й – **«Повернутая бобышка/основание»**, тому що тільки ці команди можуть створити новий ескіз.

Щоб відобразити команди малювання ескізу, клацніть лівою кнопкою миші на вкладці менеджера команд. Можна також викликати панель інструментів **«Эскиз»** на екран, пройшовши шлях **«Вид | Панель инструментов | Эскиз»**, панель інструментів що з’явилася, можна транспортувати мишею в будь-яке зручне для вас місце екрана. Інструментальна панель **«Эскиз»**

містить у собі основні команди створення ескізів. В інструментальних панелях недоступні в цей момент команди мають блідо-сірий колір. Такий спосіб організації дозволяє уникнути надмірної перевантаженості інтерфейсу.

Для того щоб перейти в режим малювання ескізу, клацніть лівою кнопкою миші в дереві конструювання на площині **«Спереди, Сверху или Сбоку»** й потім на кнопці **«Эскиз»**. Після натискання кнопки **«Эскиз»** потрібно вибрати площину, на якій ви збираєтеся створювати ескіз. Укажіть одну із площин у дереві конструювання або в графічній області побудов.

При вході в режим малювання ескізу на екрані з'являється координатна сітка. Сітку також можна набудовувати. Для цього виберіть команду **«Инструменты | Параметры»** або просто натисніть кнопку — **«Настройка»**, потім перейдіть на вкладку **«Свойства документа»** й виберіть пункт **«Масштабная сетка/Привязать»**. З'явиться поле **«Масштабная сетка»** (рис. 6.9), у якому можна настроїти крок сітки, інтервал прив'язки або взагалі її забрати. Після всіх маніпуляцій з установкою й видаленням прапорців не забудьте нажати кнопку **OK**.

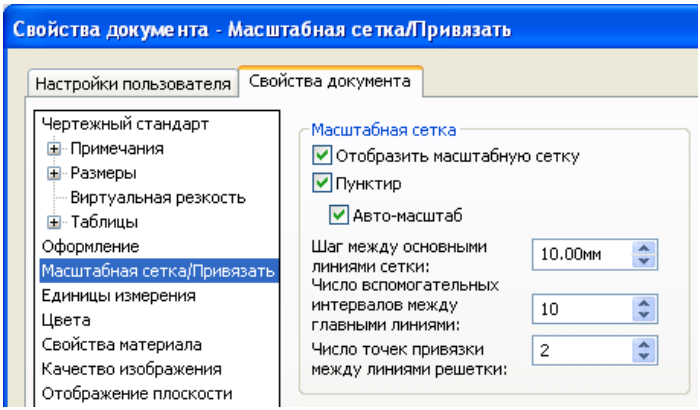


Рисунок 6.9 – Настроювання масштабної сітки

Якщо необхідно встановлювати прив'язки елементів ескізу до координатної сітки або інших елементів, виберіть команду **«Инструменты | Параметры»** на вкладці **«Настройки пользователя»** в пункті **«Взаимосвязи /привязки»** (рис. 6.10).

У центрі екрана відповідним значком відображений початок координат. У цій точці перетинаються вихідні площини **«Спереди, Сверху и Сбоку»**.

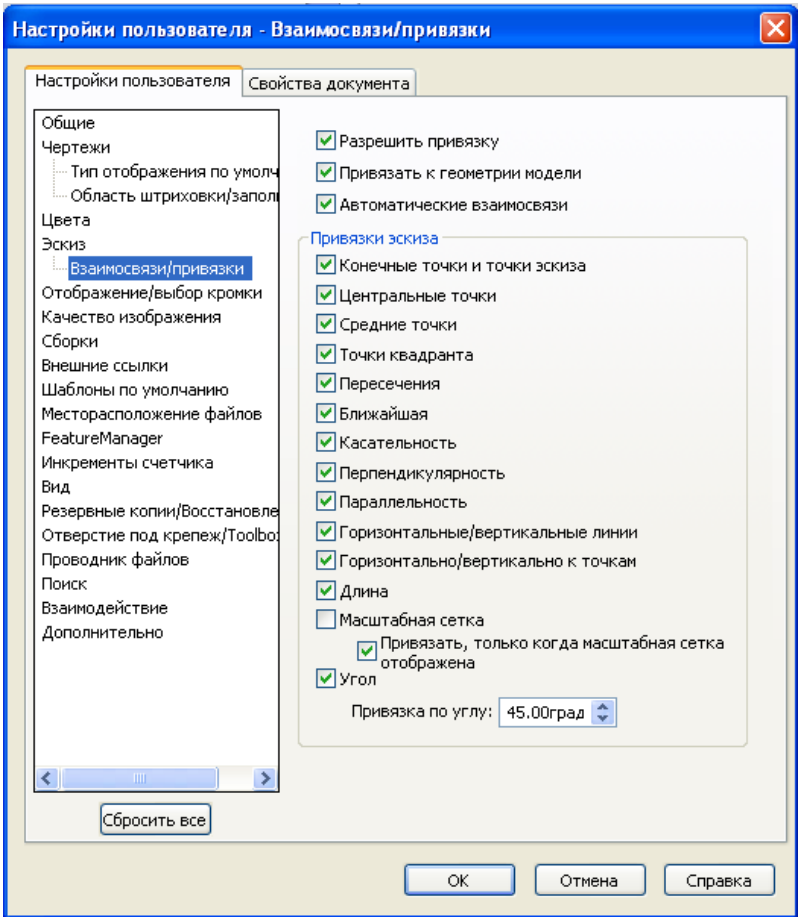


Рисунок 6.10 – Настроювання прив’язок

Малювати ескіз рекомендується починати із цієї точки, тоді елементи ескізу автоматично прив’язуються до неї. Якщо ж контур ескізу не буде проходити через початок координат, прийдеться задавати додаткові розміри з метою визначення положення ескізу щодо цієї точки.

У нижній лівій частині області малювання ескізу розташовується тріада ескізу, яка вказує розташування площини побудови в тривимірному просторі. Оскільки SolidWorks є програмою тривимірного моделювання, усі плоскі ескізи ви малюєте в тривимірному просторі.

У цьому легко переконатися, якщо ви натиснете в області малювання колесо миші й, не відпускаючи, посуваєте нею. Площина малювання почне обертатися в просторі. Цього ж результату можна добитися, якщо викликати команду — **«Вращать вид»** у панелі інструментів **«Вид».**

При цьому курсор здобуває відповідний до команди вид. Площина змінить своє положення. Проте, ескіз малювати можна й на поверненій площині. Щоб повернути площина малювання у вихідний стан, натисніть кнопку **«Предыдущий вид»** у панелі інструментів **«Вид»**. Або просто натисніть кнопку **«Перпендикулярно»** в тій же панелі інструментів. Площина побудов повинна повернутися у вихідний стан і збігатися із площиною екрана. У нижній частині екрана розташовується статусний рядок, у якому вказуються поточні координати курсору й режимні параметри моделі.

6.1 Створення простого ескізу

Прості ескізи, як правило, складаються із примітивів: відрізків, окружностей, дуг тощо, з'єднаних у замкнений контур. Крім того, SolidWorks дозволяє створювати деталі з декількох замкнених контурів, а також тонкостінні деталі з незамкнутих контурів. Більш складні ескізи передбачають використання додаткових можливостей, які при правильному застосуванні прискорюють процес проектування. Але доцільність застосування тих або інших можливостей ескізного інструментарію, в остаточному підсумку, буде визначатися досвідом роботи в SolidWorks.

Розглянемо створення простого ескізу на прикладі деталі **«Кронштейн»**. Як уже було показано, відразу після створення файлу деталі можна включити режим побудови ескізів, вибравши площину й нажавши кнопку **«Эскиз»** панелі інструментів **«Эскиз»**. Вікно, у якому проводяться побудови, за замовчуванням покрите сіткою. Якщо сітки немає, її можна

відобразити, вибравши команду **«Инструменты | Параметры»** й на вкладці **«Свойства документа»** в розділі **«Масштабная сетка»** встановивши прапорець **«Отобразить масштабную сетку»**. Для оперативного включення й вимикання масштабної сітки рекомендується винести значок **«Масштабная сетка/Привязать»** на панель інструментів **«Эскиз».**

Тут також можна задати бажані параметри сітки й установити прив'язку елементів ескізу до масштабної сітки. Після установки всіх параметрів натисніть кнопку **OK** і поверніться в режим малювання ескізу. Параметри масштабної сітки можна викликати в будь-який момент редагування ескізу. Масштаб сітки можна також змінювати обертанням колеса миші. Сітка дає користувачеві візуальну уяву про розміри й кути.

Мишею виберіть команду малювання лінії **«Линия»** інструментальної панелі **«Эскиз»**. Ліворуч у менеджерові властивостей виникає вікно **«Вставить линию»** (рис. 6.11).

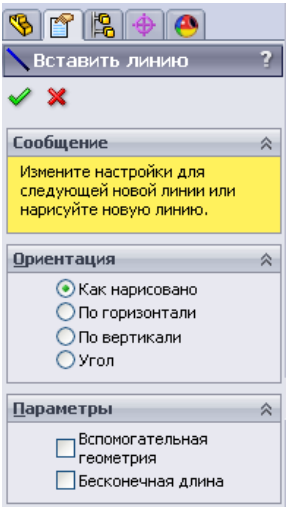


Рисунок 6.11 - Вікно **«Вставить линию»**

При цьому дерево конструювання переміщається в область побудов. Таке переміщення дерева конструювання дозволяє здійснювати безперервний контроль над процесом проектування навіть у тому випадку, якщо з'являються діалогові вікна менеджера властивостей при виконанні команд.

У вкладці **«Ориентация»** можна задати положення передбачуваної лінії, якщо відомо, що вона повинна бути строго горизонтальна, вертикальна або розташовуватися під певним кутом. Для нашого випадку залишимо активною позицію **«Как нарисовано».**

Перемістіть курсор в область малювання. При цьому він здобуває вид олівця з лінією. Підведіть курсор до початку координат, де планується розташувати початкову точку лінії. Поруч повинен виникнути символ прив'язки. Натисніть ліву кнопку миші й, утримуючи її, починайте переміщати курсор до кінцевої точки

лінії. Зверніть увагу на динамічну лінію, яку програма проводить до курсору від зазначеної раніше точки. Як тільки курсор досягне кінцевої точки відрізка, відпустіть клавішу миші. Не намагайтеся витримувати лінії строго вертикально або горизонтально, далі ми побачимо, як цього добитися без яких-небудь утруднень.

Отже, намалюйте горизонтальний відрізок довжиною близько 100 мм. При проведенні відрізка поточна довжина відображається поруч із курсором (рис. 6.12).

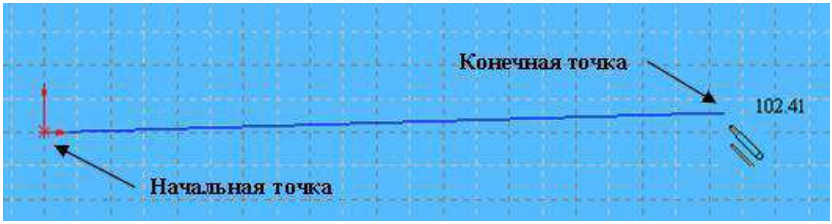


Рисунок 6.12 – Побудова горизонтального відрізка

При малюванні ескізів особливої точності дотримувати не потрібно: довжина може трохи відрізнятися від 100 мм, а лінія бути не строго горизонтальною (як, наприклад, показано на рис. 6.12).

Однак якщо намалювати відрізок занадто довгим або занадто коротким, тобто, швидше за все, ескіз може прийняти неправильну форму при проставлянні розмірів, і тоді буде потрібно додаткове коректування його елементів.

Якщо при побудові відбулася помилка, то слід нажати кнопку **«Отменить ввод»** на інструментальній панелі **«Стандартная»** а потім повторно викликати команду **«Линия»** з інструментальної панелі **«Эскиз».**

Відмінити ввод можна або вибравши команду **«Правка | Отменить ввод | Линия»**, або просто нажавши комбінацію клавіш **<Ctrl>+<Z>**. Якщо команда побудови ліній усе ще активна, можна відразу ж додати в ескіз другий відрізок.

Підведіть курсор до кінця відрізка, від якого ви прагнете продовжити ескіз. Поява двох концентричних окружностей на жовтому тлі поруч із курсором свідчить про захват кінця відрізка, у результаті чого відрізки будуть з’єднані.

Якщо провести другий відрізок до появи цього значка, то перший відрізок не з'єднається із другим, і ескіз не буде замкненим. Будуємо вертикальний відрізок довжиною 20 мм.

Під час побудови можуть з'являтися ортогональні пунктирні лінії формування. Ці лінії дозволяють орієнтуватися при побудові ескізів. Контур з відрізків можна будувати шляхом почергового позиціонування курсору в необхідному місці й клацання миші.

Для завершення ланцюжка необхідно виконати подвійне клацання миші або, нажавши праву кнопку миші, у спливаючому меню вибрати пункт **«Завершить цепочку».**

Побудуйте другий горизонтальний відрізок довжиною приблизно 20 мм і ще один вертикальний довжиною приблизно 40 мм. У підсумку ви повинні одержати ескіз, показаний на рис. 6.13. Для того щоб створити дуговий сегмент ескізу, виберіть команду **«Касательная дуга»** в панелі інструментів **«Эскиз»** і розмістіть курсор точно наприкінці четвертого відрізка.

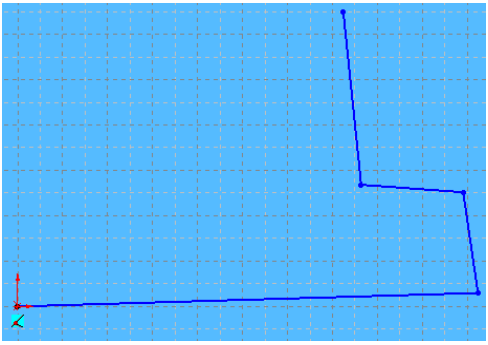


Рисунок 6.13 – Побудова
вертикального відрізку

Далі клацніть мишею й ведіть курсор, як би продовжуючи відрізок нагору й трохи вліво. Програма динамічно буде формувати дугу. Причому дуга буде дотичною до відрізка, від якого вона почала будуватися.

Траєкторія руху по дузі повинна приблизно відповідати показаній на рис. 6.14, щоб центральний кут дуги був близький до 180°. Особливої точності домагатися не треба. Ескіз повинен мати поки приблизні форму й розміри.

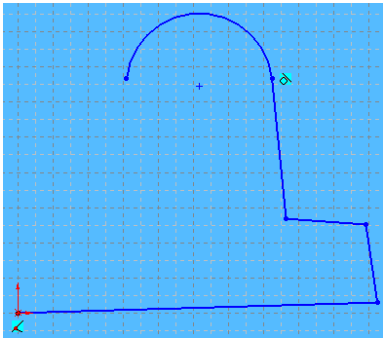


Рисунок 6.14 - Побудова дуги

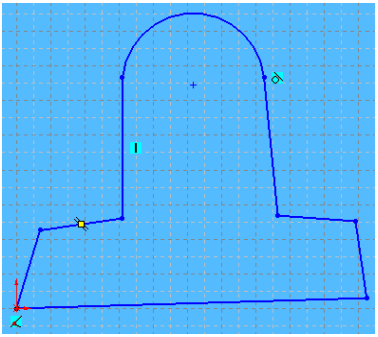


Рисунок 6.15 - Замкнений ескіз

Після клацання миші, до ескізу додасться півколо. Якщо у вас дуга з першого разу не вийшла, натисніть клавішу **<Delete>** і спробуйте ще раз.

Для завершення команди в контекстному меню правої кнопки миші є пункт **«Выбрать».**

Знову активізуйте команду побудови відрізків і намалюйте відрізки, приблизно симетричні побудованим. Залежно від того, наскільки близько до ідеального розташування вказувалися точки, ескіз може виявитися правильним або злегка перекрученим.

Ескіз може вийти, наприклад, таким, як показано на рис. 6.15. Нічого страшного, що ескіз поки «кривий». Наступними діями ми приведемо його в порядок.

Для того щоб накласти на ескіз додаткові взаємозв'язки елементів, необхідно викликати команду **«Добавить взаимосвязь»** панелі інструментів **«Размеры/взаимосвязи».** При цьому виникає діалогове вікно, показане на рис. 6.16. Спочатку вікно **«Выбранные объекты»** порожнє. Виділяємо мишею відрізки, які повинні бути в ескізі горизонтальними.

Обрані відрізки відразу відображаються у вікні **«Выбранные объекты»**. У вкладці **«Добавить взаимосвязи»** напівжирним шрифтом позначаються ті взаємозв'язки, які найбільш близькі до побудованої фігури. Наприклад, при виборі об'єкта **«Лінія1»** напівжирним шрифтом відзначений взаємозв'язок **«Горизонтальный»** (рис. 6.16).

Натисніть на цю кнопку, і ви побачите, що нижня лінія нашого ескізу стала строго горизонтальною, а у вкладці

«Существующие взаимосвязи» з'явився напис **«Горизонтальность1»**. Аналогічно встановіть взаємозв'язок вертикальності для відрізків. У результаті цих дій ескіз може трохи змінити свою форму (рис. 6.17).

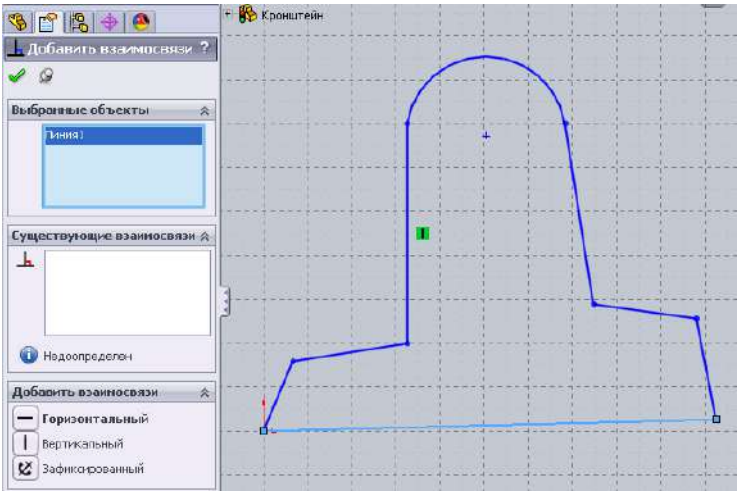


Рисунок 6.16 – Накладення взаємозв'язків

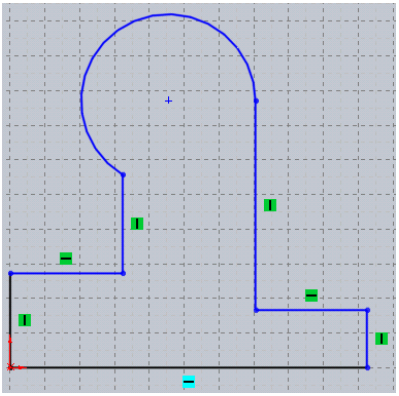


Рисунок 6.17 - Накладені взаємозв'язки

Нічого страшного. Головне, щоб не з'явилися пересічні відрізки. Якщо таке відбулося, необхідно підкоректувати розміри ескізу. Зверніть увагу, що поруч із елементами ескізу проставлені значки доданих взаємозв'язків.

З одного боку, вони показують, які зв'язки накладені на елемент ескізу, з іншого боку цими значками можна управляти, наприклад, вилучити взаємозв'язок. Положення елемента в ескізі при цьому не зміниться, але зв'язок буде вилучений.

Для видалення взаємозв'язку клацніть по його позначенню й натисніть клавішу **<Delete>**. В інструментальній панелі **«Размеры/взаимосвязи»** викличте команду **«Автоматическое нанесение размеров»** і клацніть мишею на нижньому горизонтальному відрізку для нанесення розміру.

Потім перемістіть мишу трохи нижче. З'являється динамічний зразок розміру. Для проставляння розміру в обраному місці клацніть мишею. З'явиться поле з поточним розміром відрізка. При нанесенні розміру між паралельними лініями необхідно виділити мишею спочатку одну лінію, потім другу, вказати місце для динамічного зразка розміру (рис. 6.18).

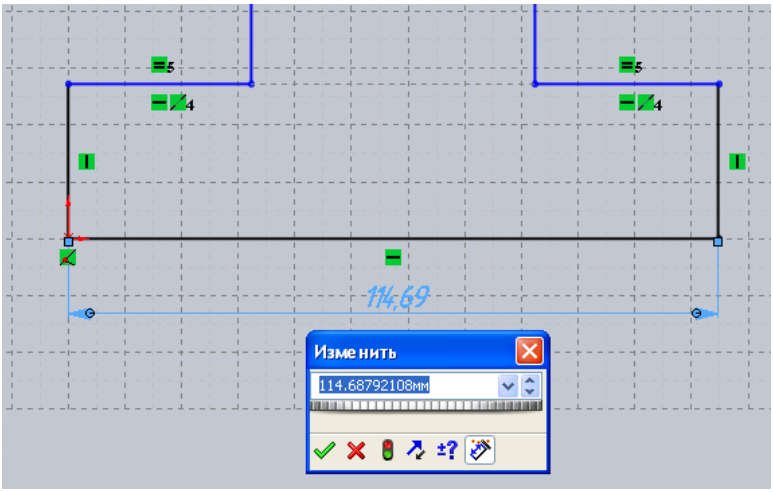


Рисунок 6.18 – Нанесення розмірів

Значення тільки що нанесеного розміру визначається тим, у яких точках користувач робив клацання мишею при побудові ескізу. Нам потрібно, щоб довжина нижнього відрізка становила точно 100 мм. Для того щоб добитися цього, просто двічі клацніть на розмірі. Відкривається діалогове вікно **«Изменить»** (рис. 6.18). У ньому введене поточне значення розміру.

Введіть число 100 із клавіатури. Тому що SolidWorks – програма параметричного моделювання, уся геометрія ескізу підбудовується під нове значення ширини й відбувається зміна

місця розташування сусідніх зв'язаних елементів. Натисніть кнопку **OK.** Додамо в наш ескіз кронштейна окружність із центром, що збігається із центром дуги.

Викличте команду **«Окружность»** панелі інструментів **«Эскиз»**. Підведіть курсор до перехрестя — центру дуги (близько курсору повинен з'явитися символ прив'язки на жовтому тлі).

Натисніть ліву кнопку миші. Далі, відводячи мишу від центру, позначте положення передбачуваної окружності й натисніть ліву кнопку миші ще раз. З'явиться новостворена окружність. Задайте розмір окружності (рис. 6.19).

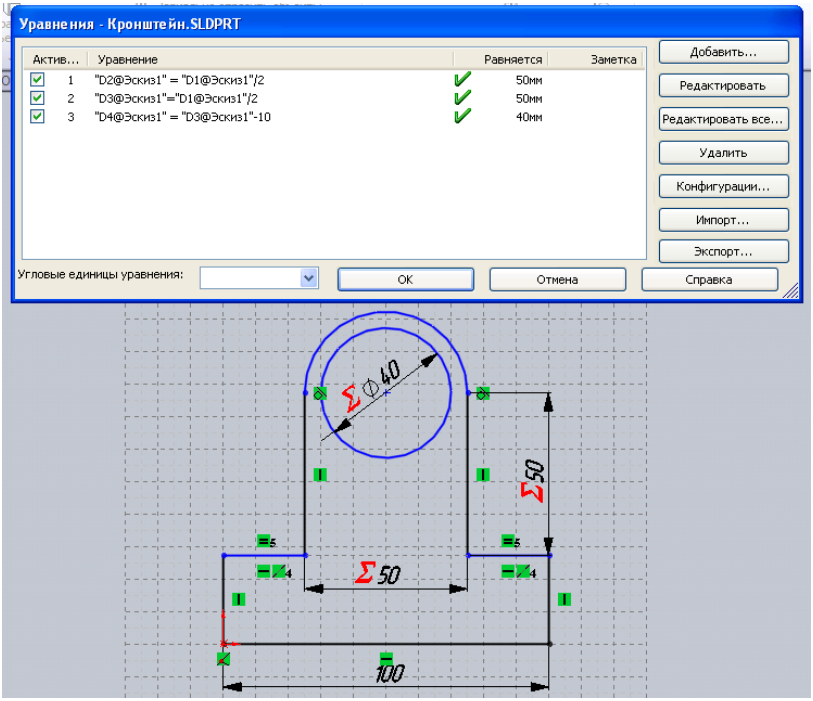


Рисунок 6.19 – Побудова окружності

Далі встановіть товщину кільця кронштейна 5 мм. Для цього використовуйте розмір між двома вертикальними лініями й діаметр окружності: додайте нове рівняння зв'язку розміру окружності й горизонтального розміру, які повинні відрізнятися

друг від друга на 10 мм (рис. 6.19). У завданні розміру бере участь не тільки ім'я розміру (D1, D2, D3 і т.д.), але ім'я ескізу (Ескіз) зі значком @. Тим самим розміри можуть управлятися даними не тільки із цього ескізу, але й з інших ескізів.

6.2 Повне визначення ескізу

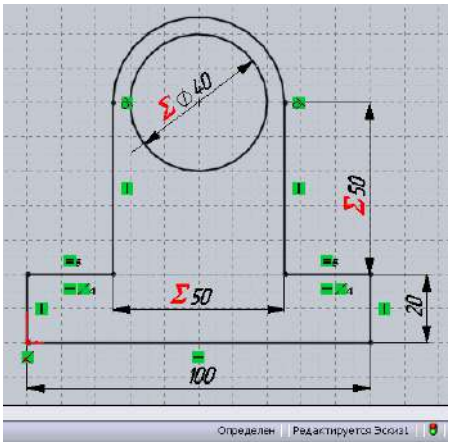


Рисунок 6.20 – Повне визначення ескізу

Якщо ви звернули увагу, деякі елементи нашого ескізу мають синій колір, а в статусному рядку SolidWorks зазначено **«Недоопределен».**

Це означає, що наш ескіз не повністю готовий: ми можемо, зачепивши мишею за який-небудь елемент ескізу, перетягнути його. Недовизначення ескізів може позначитися надалі при створенні складань, коли одна з деталей зненацька змінить свою форму або взаємне положення елементів у багатотільної деталі. Щоб цілком визначити ескіз, необхідно його жорстко зафіксувати щодо центру координат. Наш ескіз можна повністю визначити, додавши додаткові взаємозв'язки.

В ескізі кронштейна необхідно вказати розмір висоти плічок, наприклад, 20 мм. Зробіть це й побачите, що колір елементів ескізу став чорним, а в статусному рядку зазначено **«Определен»**. Тепер ескіз має єдине рішення, показане на рис. 6.20.

6.3 Використання дзеркального відбиття об'єктів

Команда дзеркального відбиття об'єктів буває корисною тоді, коли ескіз має площину симетрії. У цьому випадку немає необхідності повністю малювати ескіз, досить намалювати його половину й дзеркально відобразити.

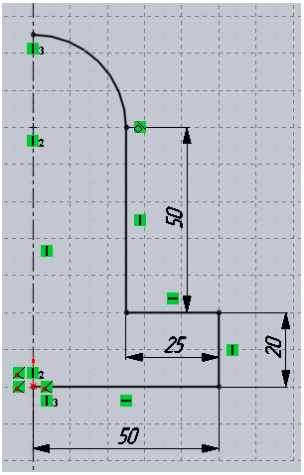


Рисунок 6.21 – Половина ескізу

Послідовність застосування даної команди наступна:

1. Малюємо елементи ескізу.
2. Проводимо осьову лінію.
3. Здійснюємо дзеркальне відбиття обраних елементів.

Продемонструємо це на прикладі ескізу кронштейна. Побудуйте ескіз половини кронштейна, показаний на рис. 6.21. Далі потрібно вказати розміри й зробити ескіз повністю визначеним уже відомим вам способом.

Тепер активізуйте команду **«Осевая линия»** і проведіть осьову лінію вертикально через початок координат аналогічно тому, як раніше ви проводили лінію простого ескізу.

У результаті у вас повинен вийти ескіз із осьовою лінією (рис. 6.21). Тепер побудуємо дзеркальне відбиття нашого ескізу, викликавши команду **«Зеркально отразить объекты»** з панелі інструментів **«Эскиз»**. У менеджерові властивостей відобразиться діалогове вікно **«Зеркальное отражение»** (рис. 6.22), у якому слід вибрати елементи для відображення й лінію, щодо якої необхідно відобразити обрані елементи.

Клацніть мишею в полі **«Зеркально относительно»** й укажіть осьову лінію. У вікні повинне з'явитися найменування лінії, наприклад, **«Линия6»**. Номер лінії може відрізнятися від показаного на рис. 6.22. Це залежить від того, якою за рахунком елементом ескізу була створена осьова лінія.

Далі клацніть мишею в полі **«Объекты для зеркального отображения»** й укажіть послідовно всі елементи ескізу (крім осьової лінії). По мірі вказування елементів будуть з'являтися їхні відбиті образи (рис. 6.22).

В разі необхідності додавання до побудованого ескізу фасок, слід використовувати діалогове вікно **«Скругление»** з панелі інструментів **«Эскиз»**, відповідно у менеджері властивостей треба вибрати вкладку **«Настройки фаски»** (рис. 6.23). Проробивши все це, натисніть кнопку **ОК** у менеджерові

властивостей, і у вас повинен вийти ескіз, показаний на рис. 6.24.

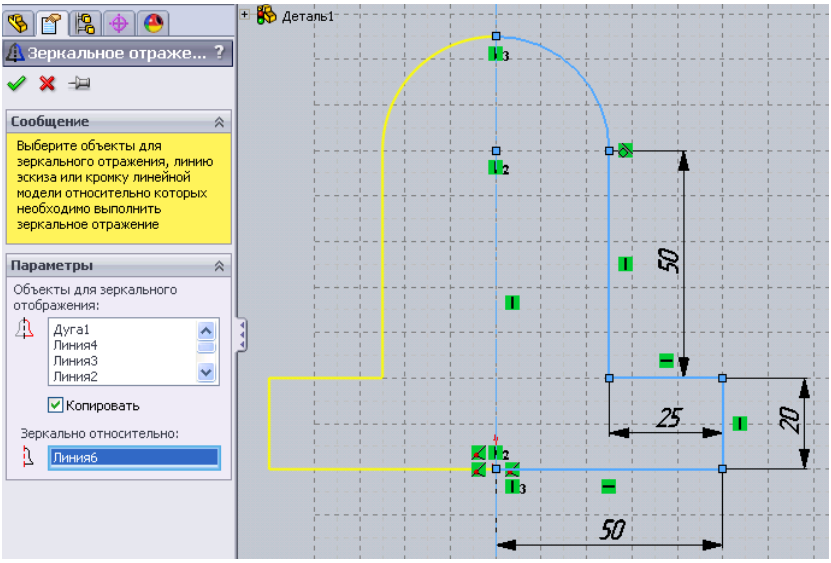
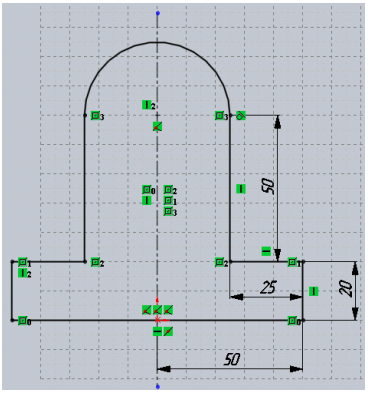


Рисунок 6.22 – Діалогове вікно «Зеркальное отражение»



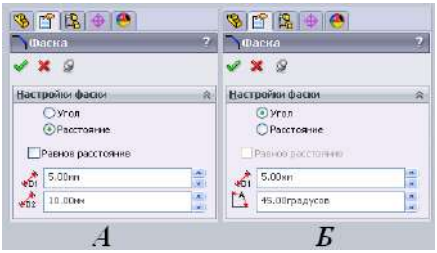


Рисунок 6.23 – Вкладка «Настройки фаски»

Рисунок 6.24 – Готовий ескіз

6.4 Використання команд отрисовки масивів

Команди отрисовки масивів призначені для ескізів з багаторазово повторюваними елементами. В SolidWorks розрізняють два види масивів: лінійний масив ескізу та круговий

масив ескізу. Лінійні масиви використовуються для створення копій, які можна розмістити на однаковій відстані уздовж однієї або двох траєкторій наприклад ескіз плити із гніздами складної форми (рис. 6.25).

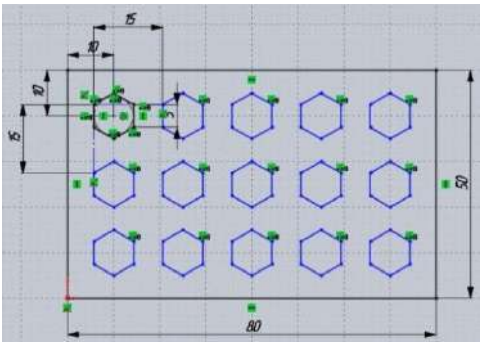


Рисунок 6.25 – Приклад лінійного масиву

Круговий масив застосовується в тих випадках, коли необхідно намалювати кілька однакових елементів ескізу навколо деякої точки.

Для прикладу на рис. 6.26 показана побудова ескізу окружності з пелюстками у вигляді напівеліпсів.

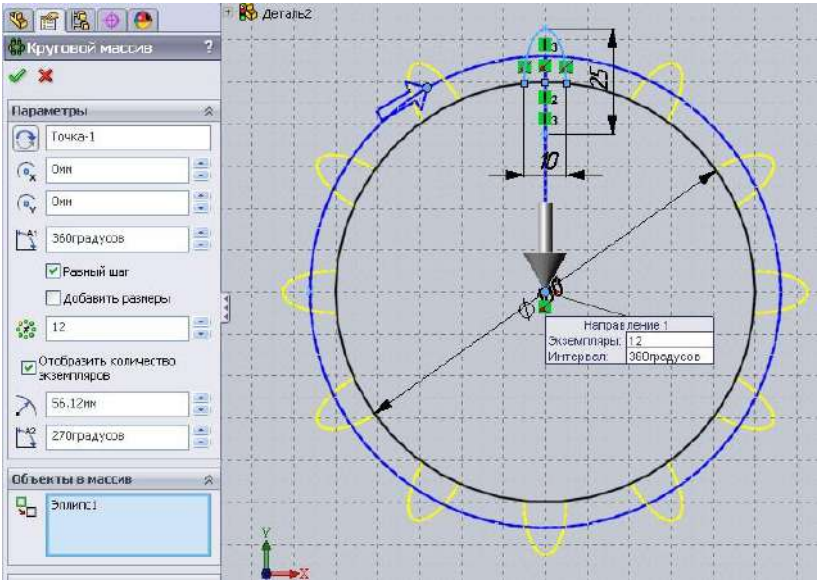


Рисунок 6.26 – Побудова ескізу окружності з пелюстками у вигляді напівеліпсів

6.5 Використання сплайнів в ескізах

Сплайни призначені для малювання складних профілів або профільованих поверхонь. Задаючи точні координати точок сплайна, можна формувати поверхні таких деталей, як лопатки турбін, кулачки і т.д. Розглянемо використання сплайна на прикладі створення профілю кулачка. Відкрийте для редагування нову область побудови й намалюйте ескіз початкової окружності радіусом 40 мм і із центром на початку координат.

По команді **«Сплайн»** у менеджерові властивостей з'явиться діалогове вікно **«Сплайн»**. Починаючи ліворуч від окружності, ставлячи послідовно точки вище цієї окружності, проведіть сплайн так, як показано на рис. 6.27.

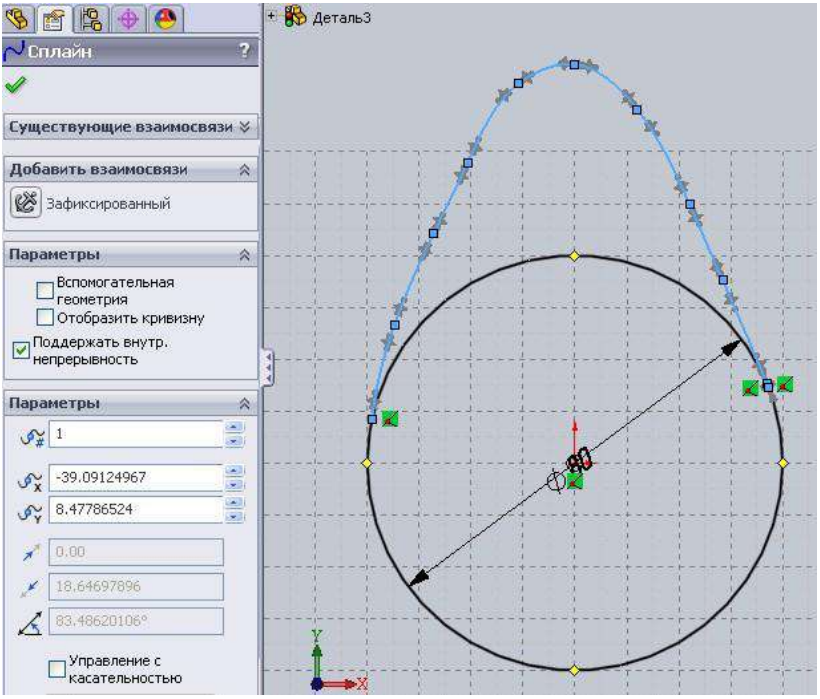


Рисунок 6.27 – Побудова сплайна

Щоб завершити малювання сплайна, клацніть правою кнопкою миші в графічній області побудови ескізу й у

контекстному меню виберіть пункт **«Завершить сплайн»**. Якщо у вас точки встануть трохи криво, то надалі положення точок можна буде виправити. Тепер просто натисніть кнопку **OK.**

Для більш точної побудови профілю можна скористатися інструментом, який будує епюру кривизни сплайна в кожній точці. Наведіть курсор миші на сплайн і в контекстному меню правої кнопки виберіть пункт **«Отобразить обозначения кривизны»**. На сплайні виникне епюра кривизни, а в діалоговому вікні властивостей **«Масштаб кривизны»** за допомогою движка можна задати коефіцієнт збільшення епюри.

Натисніть кнопку **OK**, коли епюра буде необхідної кривизни. Відключення відображення позначення кривизни проводиться аналогічно включенню. Тепер, міняючи положення точок сплайна, можна стежити за епюрою і коректувати сплайн.

6.6 Тривимірні ескізи

При створенні двовимірного ескізу вся геометрія проектується на площину, і всі точки простору, розташовані за нею, виявляються поза видимістю. Силуетні крайки стають плоскими об’єктами так, що певні кути, округлення й циліндри відображаються як дуги й лінії. Тому для малювання будь-якого каркаса або звареної деталі із профілів зручно користуватися тривимірними ескізами.

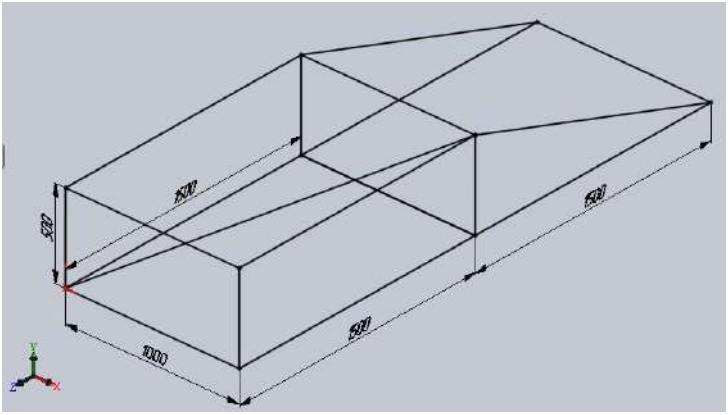


Рисунок 6.28 – Тривимірний ескіз естакади

При роботі із тривимірним ескізом можна скористатися графічним помічником, який допомагає зберегти орієнтацію під час малювання на декількох площинах. Цей помічник називається **маркером координат** – він з'являється при визначенні першої точки лінії або сплайна на обраній площині.

За допомогою маркера координат можна вибрати вісь, уздовж якої необхідно виконати малювання. Крім того, при малюванні в тривимірному ескізі можна використовувати систему координат ескізу, яку можна відобразити в області побудов.

Для цього в режимі малювання тривимірного ескізу натисніть праву кнопку миші в графічній області малювання й у контекстному меню, що випадає, виберіть пункт **«Отобразить триаду эскиза».**

У процесі малювання тривимірного ескізу систему координат можна залишити на місці, заданому за замовчуванням, або перетягнути її на поверхню або криву, так, що осі будуть орієнтовані на дану геометрію.

При цьому можна скористатися двома способами:

- вибрати на тріаді вісь або площину, клацнувши мишею по стрілці тріади або по сектору, і перетягнути геометрію. Геометрія при цьому буде переміщатися уздовж обраної осі або в обраній площині тріади;
- перетягнути тріаду на точку. При цьому тріада буде прив'язана до даної точки, і згодом можна буде перетаскувати цю точку, перетаскуючи вісь або площину тріади. Якщо тріада буде зафіксована на місці, то геометрію однаково можна буде перетаскувати.

Щоб перейти в одну із двох площин за замовчуванням, виберіть команду ескізу й натисніть клавішу **<Tab>**. Відобразиться вихідна точка поточної площини ескізу.

Для створення тривимірних ескізів можна використовувати одну із команд: окружності, дуги, прямокутника, лінії, сплайни, точки. При малюванні тривимірного ескізу можна створювати об'єкти на робочій площині або в довільній точці тривимірного простору.

Процес побудови тривимірного ескізу нічим не відрізняється від побудови звичайного ескізу, тільки для початку побудови

треба використовувати команду **«Трехмерный эскиз»** з панелі інструментів **«Эскиз»**.

Питання для самоперевірки

1. Що таке ескіз і навіщо він потрібний?
2. Навіщо потрібні ортогональні площини?
3. З якої площини можна починати побудову ескізу?
4. Чи допускає SolidWorks в одному ескізі наявність декількох замкнених контурів?
5. Що таке ліня формування?
6. Що таке Лінії формування? Яке їхнє призначення?
7. За допомогою яких команд можна настроїти інтерфейс програми?
8. Яке призначення «Дерева конструирования»?
9. Як настроїти прив’язки при побудові ескізу?
10. Як можна наносити розміри на ескіз?
11. Що слід розуміти під повним визначенням ескізу?
12. Розкажіть послідовність створення дзеркального відбиття об’єктів.
13. Для чого призначені команди побудови масивів?
14. Навіщо потрібні сплайни в ескізах?
15. Що таке тривимірний ескіз і як він будується?
16. Коли застосовується круговий масив?

7 ЗАГАЛЬНІ ПРИНЦИПИ СТВОРЕННЯ ДЕТАЛЕЙ

7.1 Основні способи побудови деталей

Деталлю в SolidWorks називається окремий тривимірний об’єкт, що складається з елементів. Деталь може бути компонентом складання, а також може бути представлена видами на плоскому кресленні.

Усі деталі в SolidWorks проектуються у шаблоні **«Деталь»** і зберігаються в окремих файлах з розширенням **«sldprt»**. У дереві конструювання можна задати матеріал, а також оцінити масові характеристики деталі.

В SolidWorks існує кілька базових прийомів, використовуючи які можна створити тривимірні деталі. Ці прийоми можуть бути альтернативними або доповнювати один одного в процесі проектування складної деталі.

Програма SolidWorks надає конструкторові практично необмежені можливості для втілення своїх задумів. Ми розглянемо основні способи побудови тривимірних моделей, а вирішувати, яким з них користуватися в кожному конкретному випадку, повинні ви самі.

В SolidWorks існують наступні способи конструювання тривимірних деталей.

Витягування – найпростіший спосіб формування твердого тіла, з якого звичайно й починається знайомство з SolidWorks, заснований на витягуванні ескізу в одному або двох напрямках. Ця команда активізується кнопкою **«Вытянутая бобышка/основание»** панелі інструментів **«Элементы».**

Функція команди полягає в заповненні об’єму, описуваного контуром ескізу при його паралельному прямолінійному переміщенні, віртуальним матеріалом твердого тіла. Можна здійснювати витягування ескізу під кутом, тобто формувати тверде тіло у вигляді конуса. При витягуванні також можна створити тонкостінну деталь, указавши це при виконанні команди й задавши товщину стінки.

Обертання – інший доволі розповсюджений спосіб побудови твердого тіла виконується натисканням кнопки

«Повернутая бобышка/основание» панелі інструментів **«Элементы»**. При виконанні команди ескіз повертається навколо заданої осі, а простір, описуваний контуром ескізу в результаті обертання, заповнюється матеріалом твердого тіла.

При цьому ескіз деталі, формованої методом обертання, обов'язково повинен складатися з контуру деталі й осі повороту. Обертання контуру навколо осі може здійснюватися на будь-яку бажану величину кута аж до 360°.

SolidWorks пропонує також кілька способів створення деталей складної конфігурації: трубопроводів, пружин, деталей зі змінними перетинами, деталей із криволінійними гранями.

Можливості SolidWorks великі й дозволяють спроектувати деталь практично будь-якої складності, втіливши в реальність самі сміливі фантазії конструктора за умови, що такі деталі можна виготовити в дійсності. Отже розглянемо перераховані способи побудови деталей складної конфігурації докладніше.

Витягування елемента по траєкторії. Суть цього методу полягає в тому, що формування твердого тіла відбувається в результаті заповнення віртуальною речовиною (матеріалом) об'єму, який утворюється при переміщенні профілю по деякій траєкторії. Команда для витягування елемента по траєкторії запускається натисканням кнопки – **«Бобышка/основание по траектории»** панелі інструментів **«Элементы».**

Для проектування деталей по траєкторії необхідно створити мінімум два ескізи – ескіз профілю та ескіз траєкторії. У якості профілю звичайно виступає контур ескізу, який повинен бути замкненим.

А в якості траєкторії – контур ескізу, який може бути як замкненим, так і незамкнутим. У процесі переміщення профіль може залишатися паралельним самому собі або ж зберігати незмінним початковий кут із траєкторією.

Можна також задати обертання профілю в процесі його переміщення по траєкторії. Крім того, профіль може міняти свої розміри й конфігурацію згідно з формою напрямної кривої.

Способом витягування елемента по траєкторії зручно створювати деталі типу пружин, при цьому траєкторією є спіраль. Як і у випадку простого витягування, при формуванні елемента по траєкторії можна проектувати тонкостінні деталі. Ця

можливість широко використовується при конструюванні трубопроводів.

Витягування елемента по перетинах. Команда витягування твердих тіл на основі перетинів активізується кнопкою – **«Бобышка/основание по сечениям»** на панелі інструментів **«Элементы»** й дозволяє проектувати деталі шляхом створення плавних переходів між профілями (перетинами).

Профілі являють собою ескізи, розташовані на різних площинах. Ці площини можуть розташовуватися як паралельно одна одній, так і під кутом. В SolidWorks існує цілий набір прийомів для створення допоміжних площин.

При проектуванні деталей за допомогою команди **«Бобышка/основание по сечениям»** можна також використовувати в якості допоміжного елемента напрямну криву, у цьому випадку плавні переходи між профілями будуть будуватися згідно з формою цієї напрямної.

Оформлення вирізів. Для формування вирізів і отворів в SolidWorks використовуються ті ж можливості, що й для створення твердого тіла. Кнопки команд для оформлення вирізів розташовуються на панелі інструментів **«Элементы»** або в меню **«Вставка | Виріз»**. Розрізняють наступні ***основні види вирізів***:

- витягнутий виріз – запускається однойменною командою **«Вытянутый вырез»** – можна активізувати кнопкою **«Повернутый вырез»**;
- виріз по траєкторії – запуск команди здійснюється кнопкою **«Вырез по траектории»**;
- виріз по перетинах – команда активізується натисканням однойменної кнопки.

7.2 Додаткові можливості

В SolidWorks можна формувати окремі елементи деталей: фаски, скруглення, купола, ухили. У розпорядженні конструктора є також команди, що значно прискорюють процес побудови деталей: масиви (лінійний, круговий та ін.) і дзеркальне відбиття.

Команда **«Скругление»** активізується натисканням однойменної кнопки панелі інструментів **«Элементы»** й дозволяє округлити будь-яку виділену крайку деталі. Для цього необхідно лише вказати крайку й задати радіус скруглення.

Кнопка – **«Фаска»** також розташовується на панелі інструментів **«Элементы»** й дозволяє зняти фаску із зазначеної крайки деталі. Для побудови фаски необхідно вказати величину фаски та її кут або розміри фаски у двох напрямках.

«Купол» – команда дає можливість перетворити одну із граней деталі в увігнутий або опуклий купол, для чого потрібно активізувати кнопку – **«Купол»** і задати величину витягування купола.

Можна змінювати кути між гранями вже побудованої деталі. Команда **«Уклон»** запускається натисканням відповідної кнопки – **«Уклон»** на панелі інструментів **«Элементы»**, потім вказуються тип ухилу, кут ухилу, нейтральна площина й грань, положення якої в просторі повинне змінитися.

Команда – **«Оболочка»** дозволяє із твердотільної деталі сформувати порожню деталь, при цьому одна або кілька граней можуть бути вилучені, а інші перетворяться в тонкостінні. За допомогою цієї команди можна побудувати також замкнену порожню деталь.

Масиви значно прискорюють процес конструювання деталей, тому що дозволяють розмножувати раніше створені елементи деталі.

Програма SolidWorks має у своєму розпорядженні можливості побудови кругових і лінійних масивів. При проектуванні зубчастих коліс необхідно лише активізувати команду – **«Круговой масив»**, вказати кількість зубів і вісь масиву. Команда – **«Линейный масив»** дозволяє вказати копійований елемент і інтервали між елементами. Команду – **«Зеркальное отражение»** зручне використовувати при проектуванні симетричних деталей.

Далі розглянемо практичне застосування пропонованих програмою SolidWorks прийомів побудови твердих тіл на конкретних прикладах.

7.3 Деталі – тіла обертання

Тіла обертання широко використовуються в сучасному машинобудуванні. Яскравими представниками цього класу є зубчасті колеса, манжети й вали. Хоча такі деталі в SolidWorks можна найчастіше побудувати методом простого витягування,

але використання команди – **«Повернутая бобышка/основание»** дозволяє значно прискорити процедуру.

Крім того, деякі елементи деталей, такі як вирізи, можна оформити тільки з використанням можливостей повороту ескізу навколо осі. Перейдемо до розгляду конкретних прикладів.

Отже манжета є класичною деталлю, при конструюванні якої в SolidWorks найкраще використовувати команду **«Повернутая бобышка/основание»**. Розглянемо побудову цієї деталі поетапно. Для створення ескізу виберемо площину Попереду, увійдемо в **«Эскиз»** і намалюємо перетин манжети (рис. 7.1).

Як видно з рис. 7.1, ескіз манжети представляє складну замкнену криву, з радіусами округлення. На відстані 9 мм від ескізу побудована вісь манжети, яка також є віссю повороту ескізу. Існує кілька обов'язкових вимог для побудови тіл обертання в SolidWorks:

- контур ескізу деталі повинен бути замкненим;
- на ескізі повинна бути зображена вісь обертання;
- контур ескізу не повинен перетинати вісь обертання;
- ескіз деталі повинен розташовуватися лише в одній напівплощині щодо осі обертання.

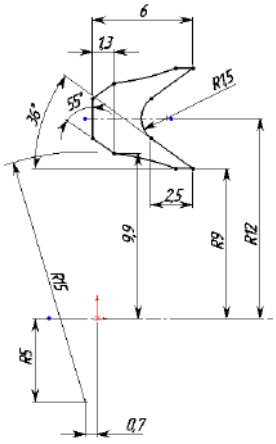


Рисунок 7.1 – Ескіз перетину манжети

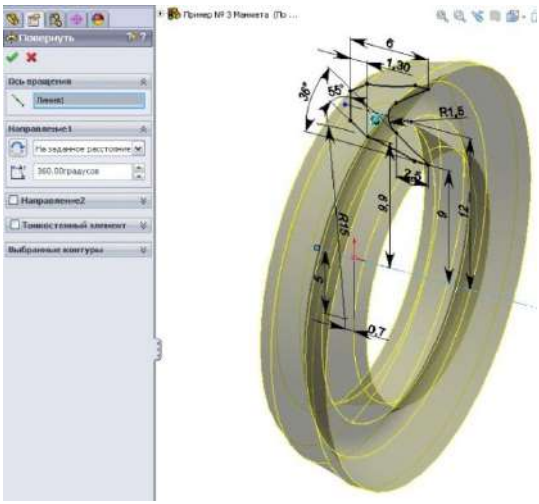


Рисунок 7.2 – Виконання команди **«Повернутая бобышка/основание»**

У тому випадку, якщо ескіз не є замкненим, програма сама пропонує його замкнути й робить це, з'єднуючи між собою крайні точки ескізу. Отже коли ескіз готовий, для побудови деталі залишається лише нажати кнопку – **«Повернутая бобышка/основание»**. У вікні **«Повернуть»** потрібно вказати вісь обертання й кут повороту ескізу, для манжети він становить 360° (рис. 7.2). Закінчимо побудову манжети, нажавши кнопку **OK** (рис. 7.3).

Далі у даному прикладі ми не тільки створимо конфігурацію тривимірної деталі, але й покажемо спосіб завдання матеріалу, з якого вона повинна бути виготовлена.

1. Призначимо матеріал манжеті. У дереві конструювання встановимо курсор на рядку **«Материал <не указан>«** і викличемо правою кнопкою миші панель зі списком різних матеріалів (рис. 7.4).

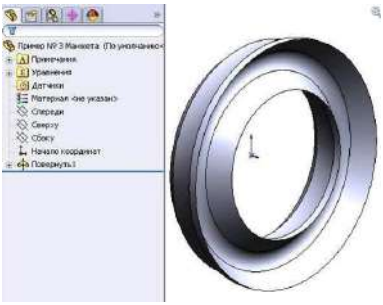


Рисунок 7.3 – Побудована манжета

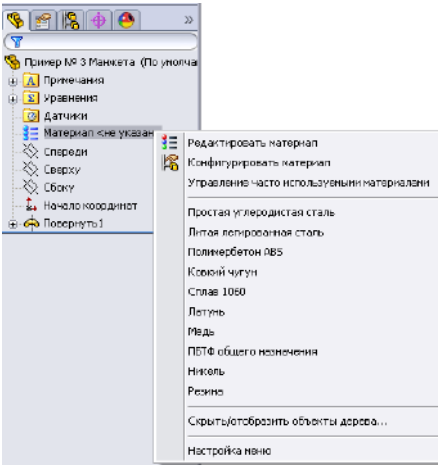


Рисунок 7.4 – Панель зі списком різних матеріалів

2. Із пропонованого переліку матеріалів зупинимо вибір на гумі, для цього клацнемо на рядку **«Резина».**

У дереві конструювання, у рядку **«Материал»** з'явиться напис **«Резина»**, а деталь офарбиться в характерний для гуми чорний колір (рис. 7.5).

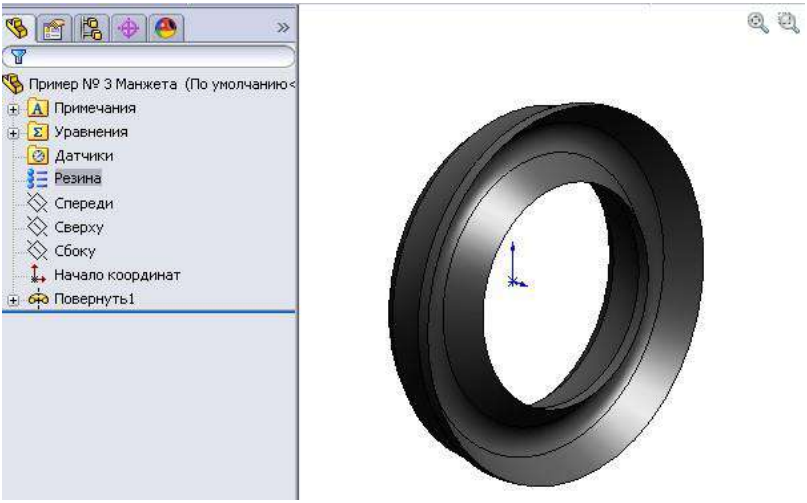


Рисунок 7.5 – Зміна зовнішнього виду
манжети після призначення матеріалу

3. Після того як заданий матеріал, можна визначити її масові характеристики: масу, об’єм, площу поверхні тощо. Для цього досить увійти в меню **«Инструменты | Массовые характеристики...»** (рис. 7.6). На екрані відобразиться вікно, у якому будуть зазначені масові характеристики з урахуванням щільності гуми (рис. 7.7).

4. Закінчимо конструювання деталі **«Манжета»**, зберігши всі побудови.

Ми розглянули приклад створення тривимірної моделі ущільнювальної манжети – деталі складної форми, яку програма SolidWorks дозволяє легко й швидко спроектувати. Крім того, показали спосіб завдання матеріалу деталі й визначення її масових характеристик в автоматичному режимі. Далі розглянемо приклад побудови тривимірної моделі в програмі SolidWorks з використанням команди **«Бобышка/основание по траектории».** Типовим прикладом таких деталей є вигнуті труби. Отже для побудови труби, як елемента по траєкторії, необхідно намалювати два ескізи – замкнений профіль, який для труби має вигляд окружності, і ескіз траєкторії (лінію вигину труби).

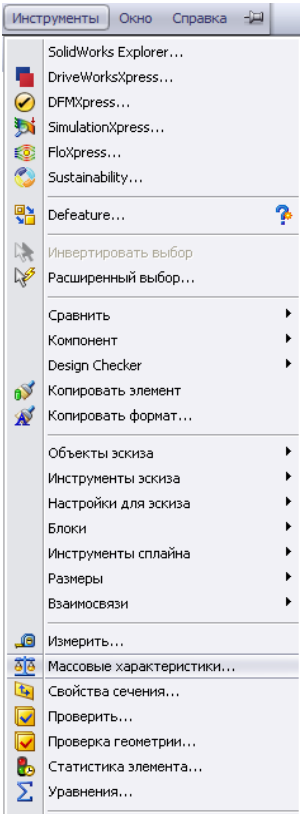


Рисунок 7.6 – Визначення масових характеристик

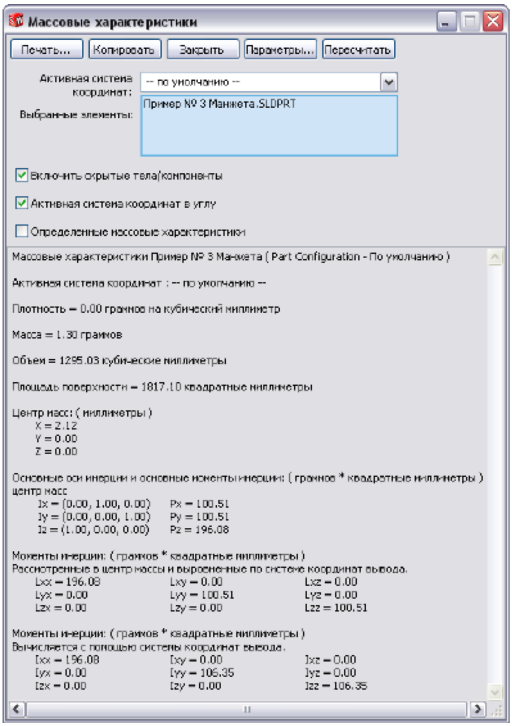


Рисунок 7.7 – Масові характеристики манжети

Намалюємо ескіз профілю труби. Для цього в тривимірному просторі SolidWorks виберемо площину **«Спереди»**, увійдемо в ескіз і побудуємо окружність діаметром 60 мм, яка буде представляти надалі зовнішній діаметр труби (рис. 7.8).

Натиснемо **ОК** і вийдемо з ескізу. Таким чином, ми створили профіль труби. Далі побудуємо ескіз траєкторії, для чого виберемо площину **«Сверху»** й увійдемо в режим малювання ескізу. Намалюємо траєкторію труби (рис. 7.9). Ескіз траєкторії завжди будується в площині, розташованій під кутом до площини профілю.

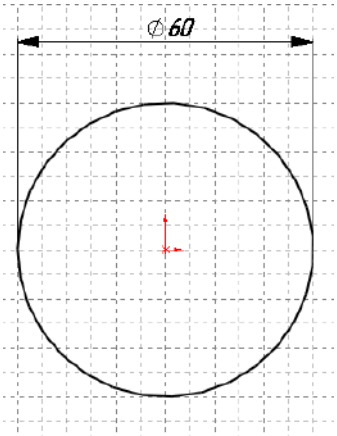


Рисунок 7.8 – Ескіз замкненого профілю

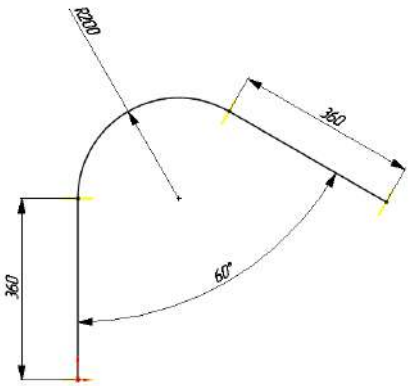


Рисунок 7.9 – Ескіз траєкторії (лінії вигину труби)

Ми для цієї мети вибрали площину **«Сверху»**, яка перпендикулярна площини **«Спереди»**, хоча можна було вибрати площину **«Сбоку»**. Крім того, слід пам'ятати, що траєкторія повинна починатися або перетинати площину, у якій розташований профіль. У результаті наведених побудов вийшло два ескізи, які позначені в дереві конструювання як **«Эскиз1»** і **«Эскиз2»** (рис. 7.10). Оформимо трубу як витягнуту бобишку по траєкторії. Активізуємо кнопку – **«Бобышка/основание по траектории»**. На екрані з'явиться вікно **«По траектории»**.

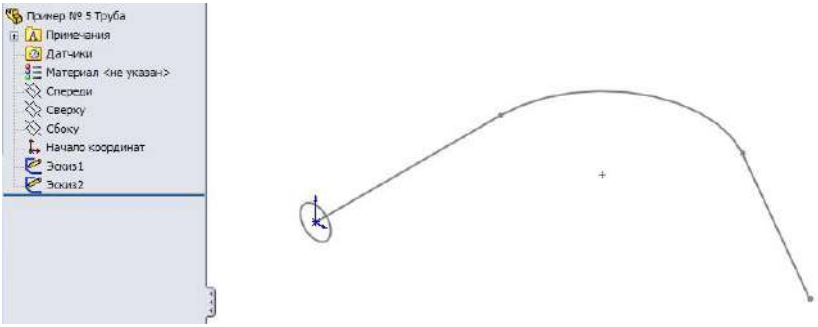


Рисунок 7.10 – Ескізи підготовлені для створення елемента по траєкторії

У цім вікні, у розділі **«Профиль и направление»**, виділимо профіль **«Эскиз1»**, а також маршрут (напрямок) **«Эскиз2»**. Вікно **«Профиль»** позначене відповідним значком (рис. 7.11).

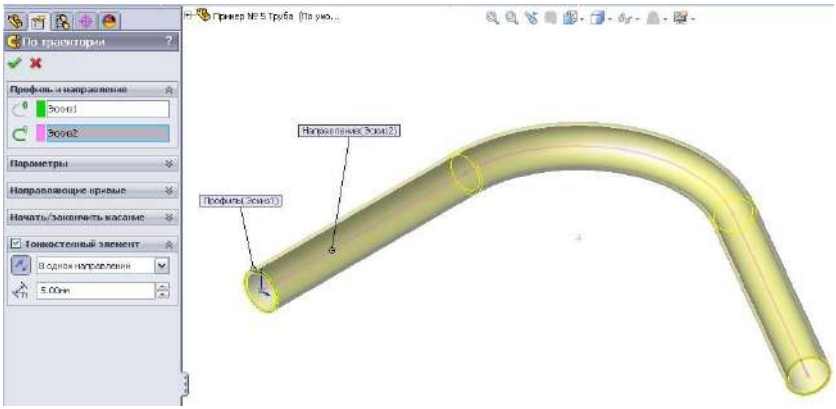


Рисунок 7.11 – Процес створення елемента по траєкторії

Необхідно також указати, що деталь **«Труба»** витягається як тонкостінний елемент із товщиною 5 мм (рис. 7.11). Закінчимо побудову труби, нажавши кнопку **ОК** (рис. 7.12). Ми розглянули з вами приклад побудови тонкостінної деталі з використанням команди **«Бобышка/основание по траектории»**. У такий же спосіб можна побудувати виріз по траєкторії.



Рисунок 7.12 – Створена деталь «Труба»

7.4 Деталі складної конфігурації

Далі розглянемо побудову деталей складної конфігурації, використовуючи команди **«Бобышка/основание по сечениям»** або **«Вырез по сечениям»**. Як ви вже знаєте, основний принцип побудови елементів по перетинах полягає в плавному з'єднанні профілів перетинів, які розташовуються на різних площинах.

Профіль являє собою замкнений і непересічний ескіз у деякій площині. Обов'язкова умова – площини із профілями повинні бути розташовані на деякій відстані один від одного, паралельно або під кутом.

В SolidWorks існує цілий набір методів побудови допоміжних площин. Для створення допоміжної (довідкової) площини необхідно нажати кнопку – **«Плоскость»** панелі інструментів **«Справочная геометрия»** або скористатися командою меню: **«Вставка | Справочная геометрия | Плоскость...»**.

На екрані Менеджера властивостей відкриється вікно **«Плоскость»** (рис. 7.13). Об'єкти **«Первая справочная, Вторая справочная и Третья справочная»** будуть використовуватися для побудови нової площини.

Такими об'єктами можуть бути площини **«Спереди, Сверху, Справа»**, грані, крайки або вершини твердого тіла. Після вибору довідкових об'єктів пропонується задати тип сполучення допоміжної площини з довідковими об'єктами (рис. 7.14): паралельно, перпендикулярно, збіг, під кутом, на заданій відстані, від середньої поверхні, відносно, проект.

Тип сполучення **«Проект»** – дозволяє створити проекцію точкового об'єкта (точки, вершини або початку координат) на неплоску поверхню й використовувати цю проекцію для побудови допоміжної площини. Для створення точної форми елемента по перетинах можна використовувати напрямну криву.

У загальному випадку при побудові напрямної кривої необхідно дотримуватися кілька правил:

- напрямна повинна лежати в площині, яка перетинає профілі перетинів;
- напрямна повинна перетинати всі профілі;
- напрямна крива може бути довше елемента по перетинах;

- у якості напрямних можна використовувати раніше створені елементи, крайки об’єктів і будь-які інші криві;
- напрямних може бути декілька.

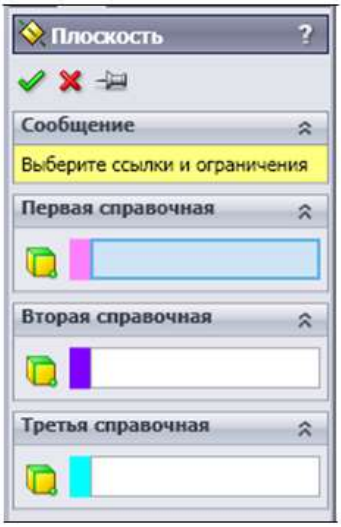


Рисунок 7.13 – Створення допоміжної площини

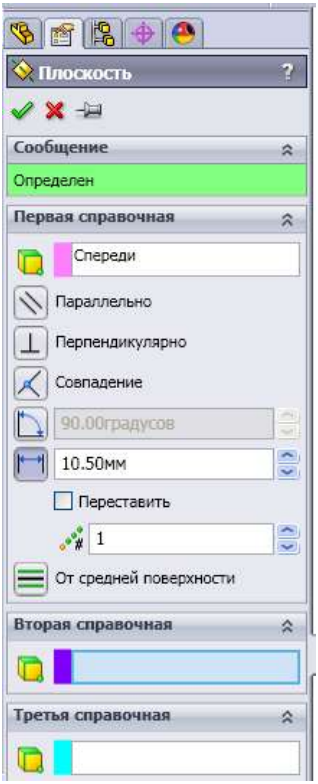


Рисунок 7.14 – Вибір типу сполучення

Якщо напрямна крива не перетинає профілі, необхідно застосовувати взаємозв’язки **«Совпадение»** або **«Точка пронзания»**. У тому випадку, якщо напрямна крива відсутня, її роль виконує віртуальна крива, яка виходить при з’єднанні профілів один з одним під час побудови елемента по перетинах. У якості напрямної також може виступати осьова лінія, що проходить через середину перетинів і не дотична їхніх контурів. Перейдемо до конкретних прикладів. Розглянемо побудову деталі **«Патрубок»**. Патрубок будується на основі двох профілів, які з’єднуються між собою за допомогою напрямної осьової лінії. Для оформлення патрубка необхідно створити два профілі в різних площинах і одну напрямну.

1. Відкриємо тривимірний простір SolidWorks, виберемо площину **«Спереди»** й увійдемо в ескіз. Намалюємо ескіз лівого кінця патрубка (рис. 7.15). Цей ескіз у дереві конструювання позначиться як **«Эскиз1».**

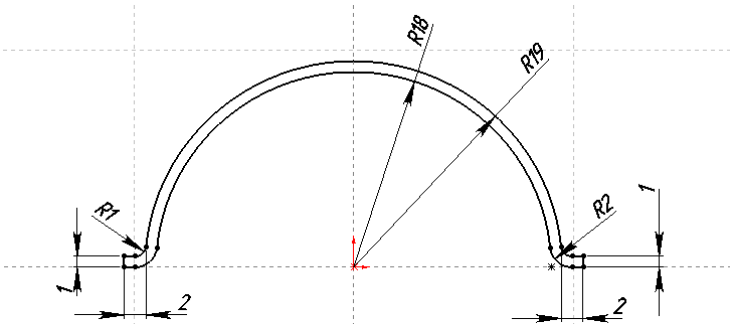


Рисунок 7.15 – Ескіз патрубка

2. Витягнемо цей ескіз на 30 мм, використовуючи команду **«Вытянутая бобышка/основание»** на панелі інструментів **«Элементы»** (рис. 7.16). У результаті створена витягнута бобышка, а в дереві конструювання з'явився рядок **«Бобышка-Вытянуть1».**

3. Тепер побудуємо напрямну криву: у площині **«Сверху»** (перпендикулярної площини **«Эскиза1»**) намалюємо дугу радіусом 132 мм (рис. 7.17). На відміну від звичайної напрямної, осьова напрямна не повинна перетинатися або сполучатися з контурами перетинів.

4. Створимо допоміжну площину для побудови другого профілю під кутом 60° до площини **«Спереди»** й перпендикулярно напрямної кривої. Активізуємо команду **«Плоскость»** на панелі інструментів **«Справочная геометрия»** або скористаємося командою меню: **«Вставка | Справочная геометрия | Плоскость».**

У розділі **«Первая справочная»** задамо кінцеву точку напрямної кривої, через яку буде проходити нова площина – **Точка11@Эскиз2**, а також виберемо тип сполучення – **«Совпадение»**. У розділі **«Вторая справочная»** вкажемо напрямну криву – **Дуга4@Эскиз2**, тип сполучення – **«Перпендикулярно»** (рис. 7.18).

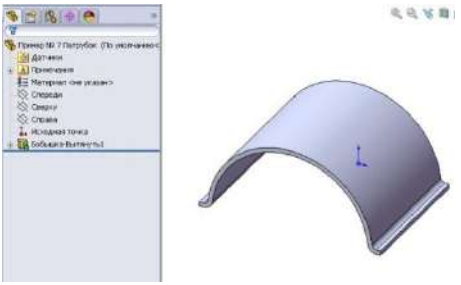


Рисунок 7.16 – Витягнення ескізу на 30 мм

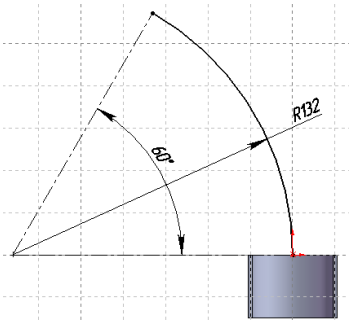


Рисунок 7.17 – Побудова дуги

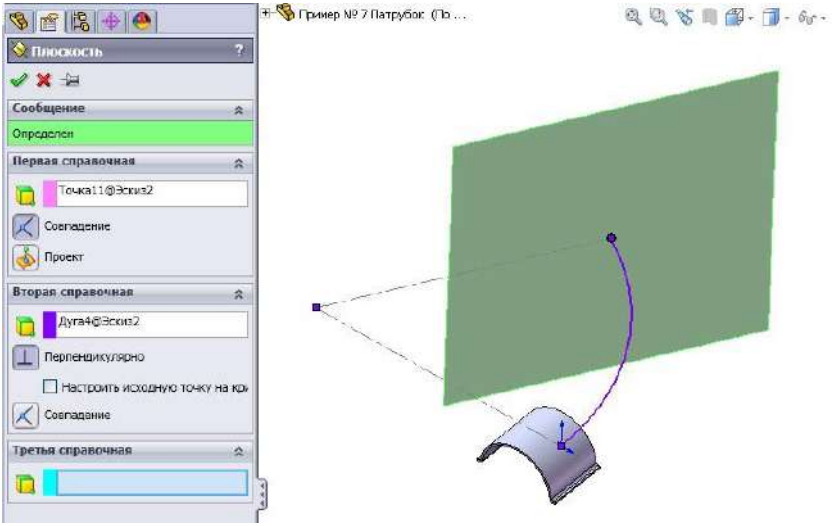


Рисунок 7.18 – Створення допоміжної площини

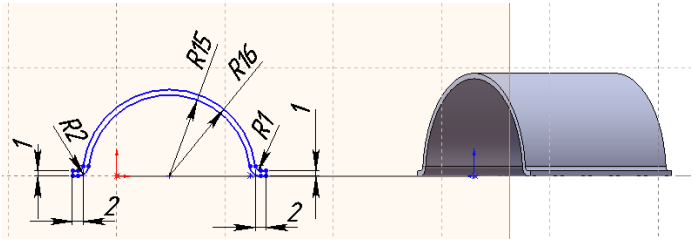


Рисунок 7.19 – Побудова другого ескізу деталі

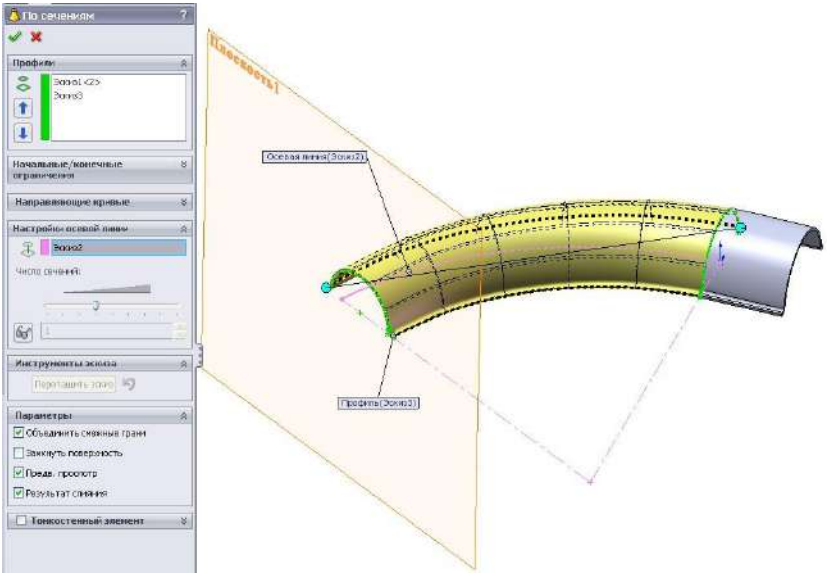


Рисунок 7.20 – Побудова елемента по перетинах

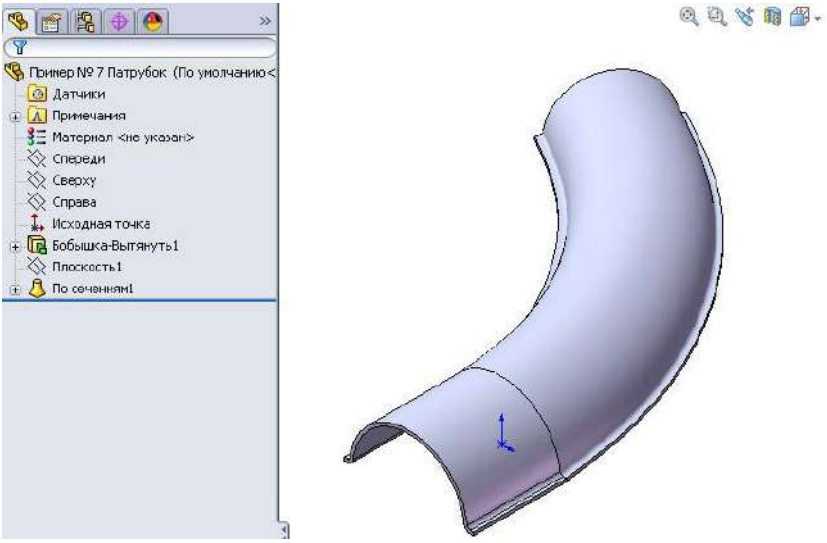


Рисунок 7.21 – Патрубок побудований
по перетинах

Натиснемо кнопку **OK** і на екрані, а також у дереві конструювання з'явиться нова довідкова **«Плоскость1».**

5. Побудуємо другий перетин патрубка, для чого виберемо **«Плоскость1»** і намалюємо ескіз другого профілю деталі (рис. 7.19). Для оформлення патрубка як елемента по перетинах необхідно плавно з'єднати між собою **«Эскиз1»** і **«Эскиз3»,** використовуючи напрямну криву – **«Эскиз2».**

6. Побудуємо елемент по перетинах, для чого на панелі інструментів **«Элементы»** активізуємо кнопку – **«Бобышка/основание по сечениям»**. На екрані з'явиться вікно **«По сечениям»** (рис. 7.20). У розділі **«Выбор»** відзначимо профілі **«Эскиз1»** і **«Эскиз3»**, а в розділі **«Настройки осевой линии»** вкажемо напрямну осьову – **«Эскиз2»** (рис. 2.80). У вікні настроювань **«По сечениям»** можна вказувати не тільки профілі й напрямні для побудови елемента по перетинах, але й тип сполучення цього елемента й профілів. У розділі **«Начальные/конечные ограничения»** (рис. 7.20) зі списку, що випадає, можна вибрати тип обмеження (сполучення) створюваного елемента по перетинах з початковим і кінцевим профілем.

7. Натиснемо кнопку **OK**, закінчивши побудову патрубка (рис. 7.21). Діючи аналогічним образом, в SolidWorks можна побудувати виріз по перетинах.

7.5 Деталі на основі поверхонь

Перш ніж почати розмову про деталі на основі поверхонь, визначимося з тим, що являють собою поверхні і як вони будуються. Поверхня – це елемент нульової товщини, що відіграє допоміжну роль при побудові твердого тіла, і не відображається на кресленні деталі.

Побудувати поверхню можна методом простого витягування, поворотом контуру навколо осі, а також створити як елемент по траєкторії або по перетинах. Її можна подовжити, відітнути, округлити, заповнити, зшити і т.д. Усі перераховані команди перебувають на панелі інструментів **«Поверхности»**. Для того щоб помістити цю панель на екран, необхідно звернутися до меню **«Инструменты | Настройка | Панели инструментов»** і встановити прапорець **«Поверхности».**

В SolidWorks представлено два основні методи побудови деталей на базі поверхонь: методом витягування ескізу до поверхні й методом стовщення поверхні.

Розглянемо на конкретних прикладах різні способи конструювання й зміни поверхонь, а також прийоми проектування з їхньою допомогою деталей. Виберемо як приклад досить складну деталь – корпус редуктора.

Корпус редуктора є симетричною деталлю із двома осями симетрії. Із цієї причини немає необхідності будувати корпус цілком. Ми спроектуємо лише чверть корпуса, яку потім, для одержання цільної деталі, скопіюємо за допомогою команди **«Зеркальное отражение».**

Порядок побудови корпуса буде наступним: спочатку створимо набір окремих елементарних дотичних поверхонь, потім зшиємо поверхні між собою, а потім побудуємо тверде тіло, додавши цим поверхням товщину.

1. Виберемо в дереві конструювання площину **«Спереди»** й намалюємо ескіз першої поверхні (рис. 7.22). Ескіз для побудови поверхонь, на відміну від твердих тіл, може бути як замкненим, так і незамкнутим контуром.

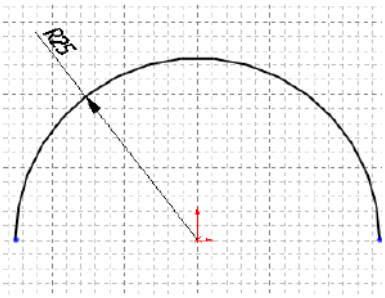


Рисунок 7.22 – Ескіз першої поверхні

2. Активізуємо кнопку – **«Вытянутая поверхность»,** яка перебуває на панелі інструментів **«Поверхность».** У вікні настроювань що з'явилося, **«Поверхность – Вытянуть»** вкажемо глибину витягування – 15 мм (рис. 7.23).

3. Закінчимо побудову першої поверхні у формі півкільця, нажавши кнопку **OK.** У дереві конструювання вона позначиться як елемент «Поверхность-Вытянуть1» (рис. 7.24).

4. Побудуємо другу поверхню: виберемо знову площину **«Спереди»** й створимо ескіз другої поверхні (рис. 7.25).

5. Витягнемо цей ескіз на 61 мм. Активізуємо кнопку – **«Вытянутая поверхность»**, на панелі інструментів

«Поверхность» й у вікні **«Поверхность-Вытянуть»** укажемо параметри витягування (рис. 7.26). Витягування другої поверхні робимо в протилежну сторону.

6. Побудуємо третю поверхню, яка буде з'єднувати між собою дві перші. Для цього також виберемо площину **«Спереди»** й створимо ескіз третьої поверхні у вигляді описаного прямокутника **«Эскиза2»** (рис. 7.27). Для сполучення можна використовувати команду – **«Добавить взаимосвязь»** і тип взаємозв'язку точок **«Эскиза2»** і **«Эскиза3»- «Совпадение».**

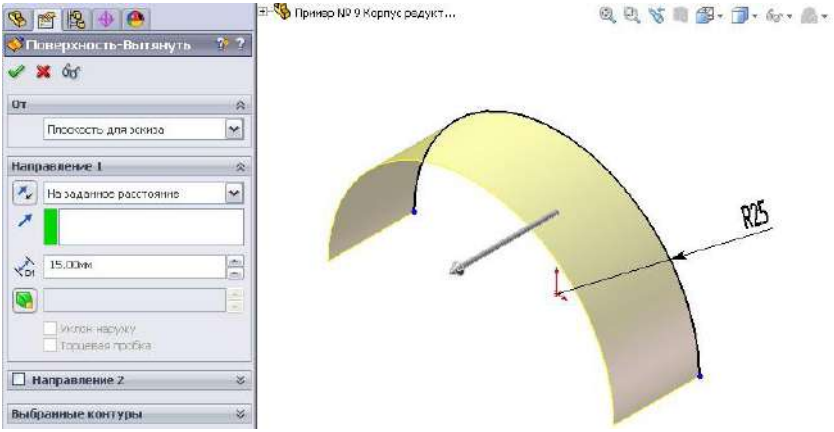


Рисунок 7.23 – Задаємо глибину витягування – 15 мм

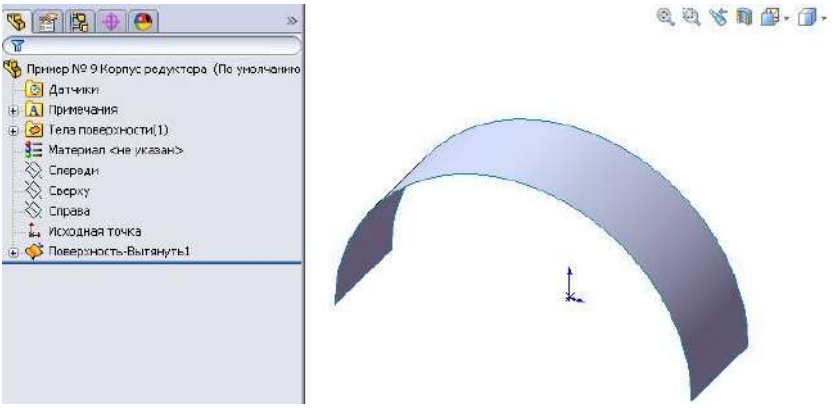


Рисунок 7.24 – Завершена побудова першої поверхні

7. Активізуємо команду – «Плоская поверхность» й у розділі «Ограничивающие объекты» задамо «Текущий эскиз» або «Эскиз3» (рис. 7.28).

8. Закінчимо побудову, нажавши кнопку **OK**. Три поверхні позначені як **«Поверхность-Вытянуть1, Поверхность-Вытянуть2 и Поверхность-Плоскость1»** (рис. 7.29).

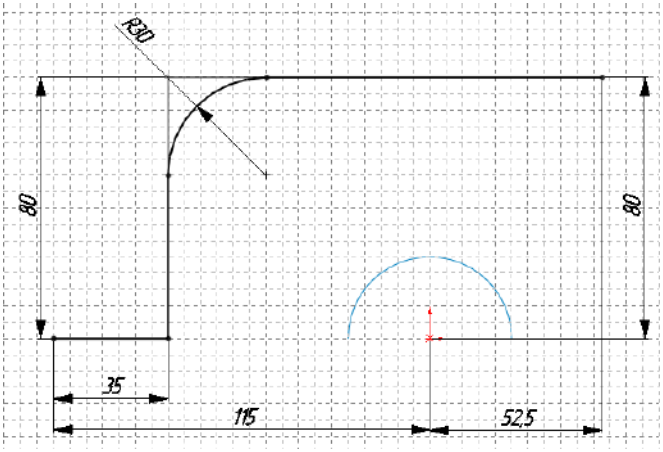
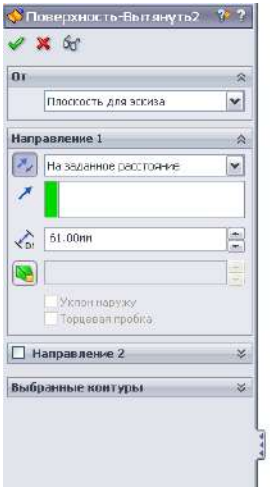


Рисунок 7.25 – Ескіз другої поверхні



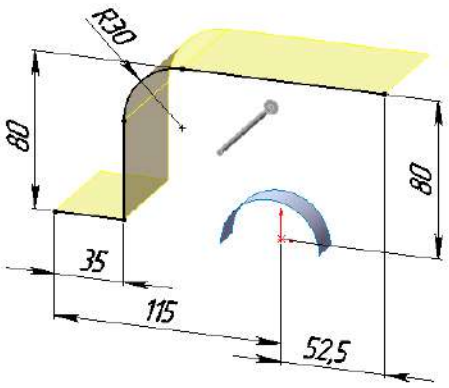


Рисунок 7.26 – Вказуємо параметри витягування ескізу

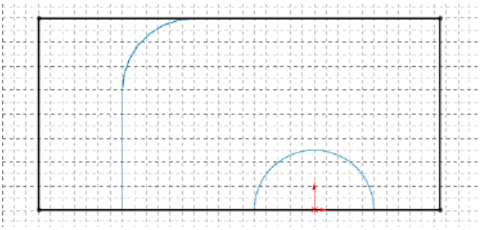


Рисунок 7.27 – Ескіз третьої поверхні

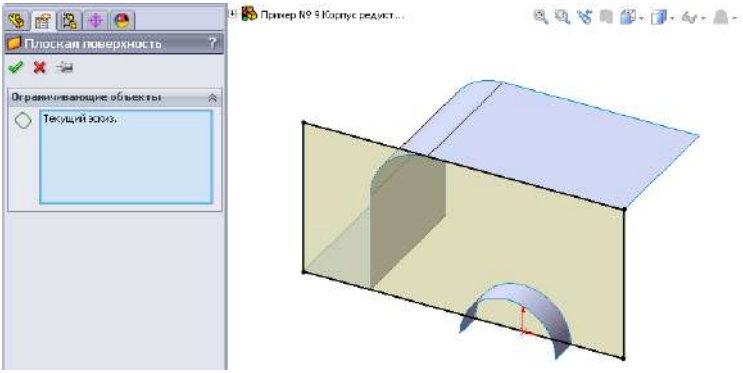


Рисунок 7.28 – Побудова плоскої поверхні

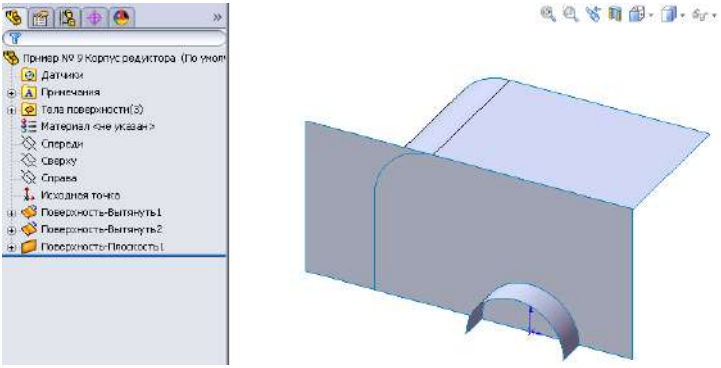


Рисунок 7.29 – Закінчені побудови трьох поверхонь

9. Очевидно, третя плоска поверхня виступає за межі перших двох. Відітнемо непотрібні частини третьої поверхні. Для цього натиснемо кнопку – **«Отсечь поверхность»** на панелі інструментів **«Поверхность»**.

У розділі **«Тип отсечения»** поставимо прапорець **«Стандарт».** У розділі **«Выбор»** позначимо в якості інструмента поверхню, що відтинає – **«Поверхность-Вытянуть2»**, а в розділі – **«Сохранить выбранные параметры»** вкажемо ту частину плоскої поверхні, яка повинна залишитися (рис. 7.30).

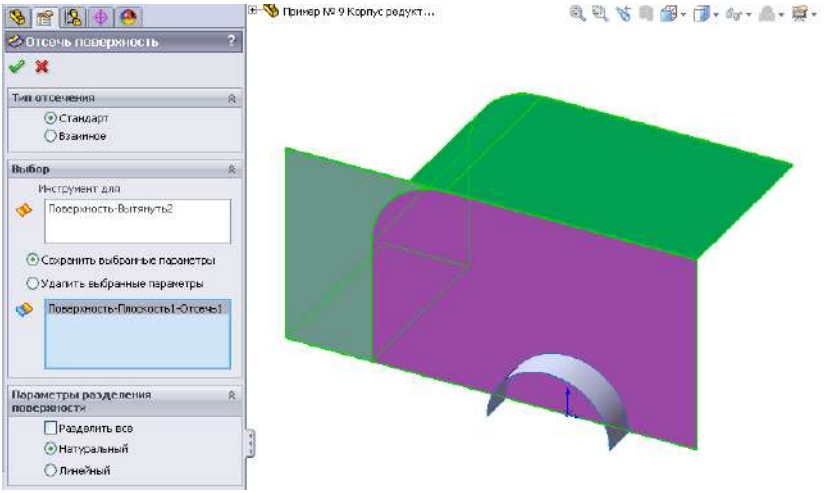


Рисунок 7.30 – Відсікання непотрібних частин третьої поверхні

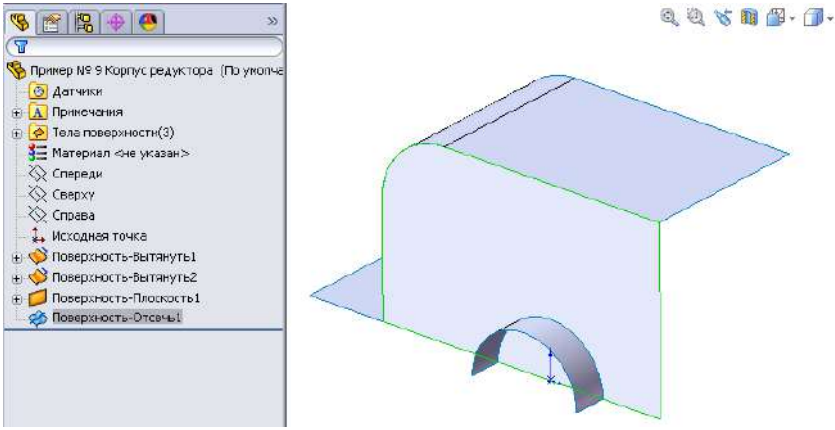


Рисунок 7.31 – Результат вилучення зайвих частин плоскої поверхні

10. Натиснемо кнопку **OK**, і всі зайві частини плоскої поверхні будуть вилучені, а в дереві конструювання з'явиться рядок **«Поверхность-Отсечь1»** (рис. 7.31).

11. Аналогічним способом вилучимо частину плоскої поверхні, яка відтинається циліндричною поверхнею (рис. 7.32).

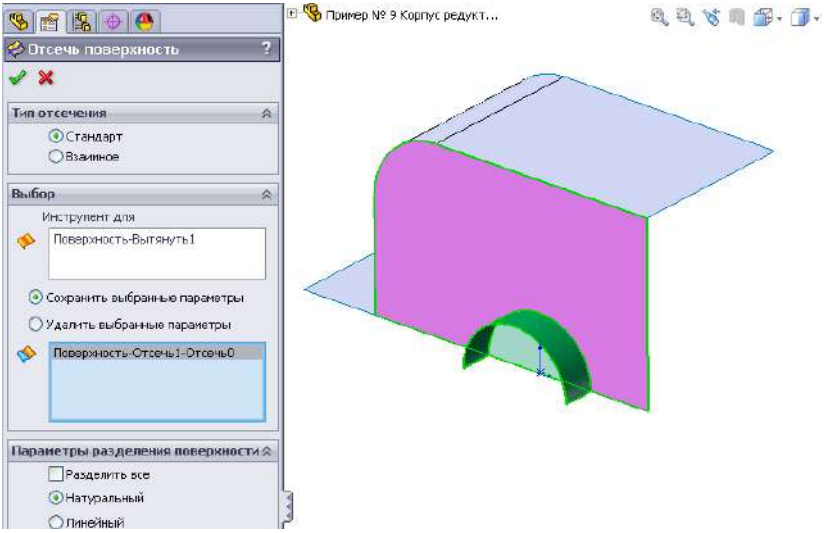


Рисунок 7.32 – Вилучення частини плоскої поверхні

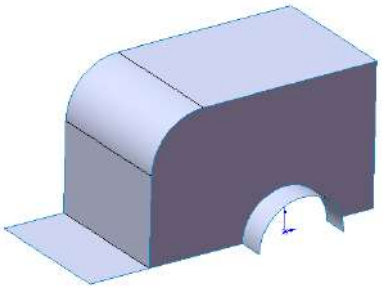


Рисунок 7.33 – Кінцевий результат

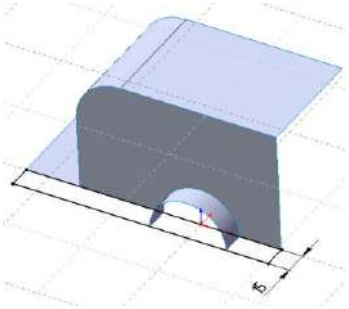


Рисунок 7.34 – Побудова ескізу

12. Закінчимо зміни плоскої поверхні натисканням кнопки **OK**. У результаті вийшов набір із трьох сполучених поверхонь (рис. 7.33).

13. Побудуємо четверту поверхню: виберемо площину **«Сверху»** й намалюємо ескіз четвертої поверхні у формі прямокутника (рис. 7.34). Доцільно додати взаємозв'язки між ескізами поверхонь – **«Совпадение».**

14. Оформимо цей ескіз як плоску поверхню на панелі інструментів **«Поверхность»**. У результаті одержимо **«Поверхность-Плоскость2»** (рис. 7.35).

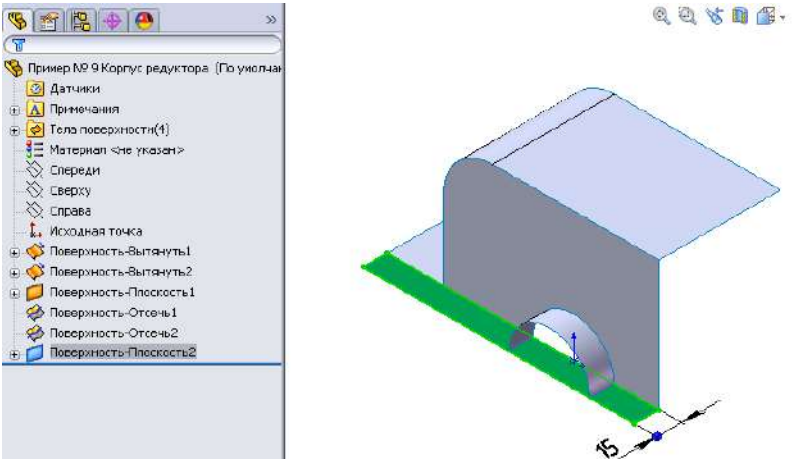


Рисунок 7.35 – Створення плоскої поверхні

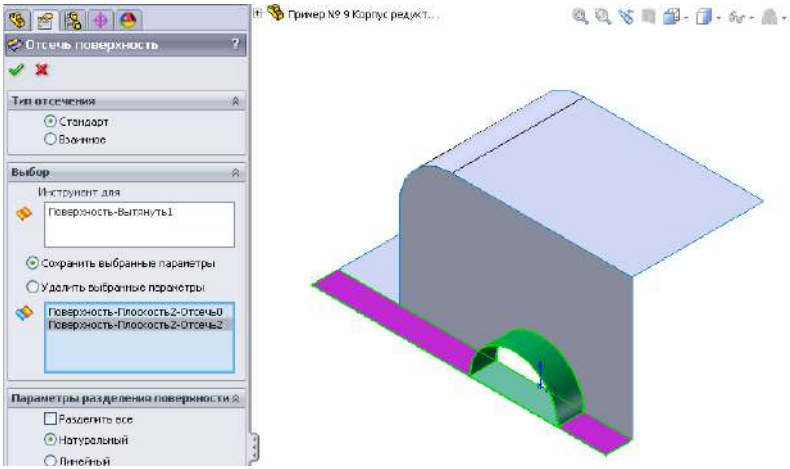


Рисунок 7.36 – Вилучення зайвої частини плоскої поверхні

15. Вилучимо зайву частину цієї плоскої поверхні (рис. 7.36).

16. Закінчимо побудову поверхонь натисканням кнопки **OK**. У результаті одержимо чотири поверхні, які сполучаються між собою (рис. 7.37).

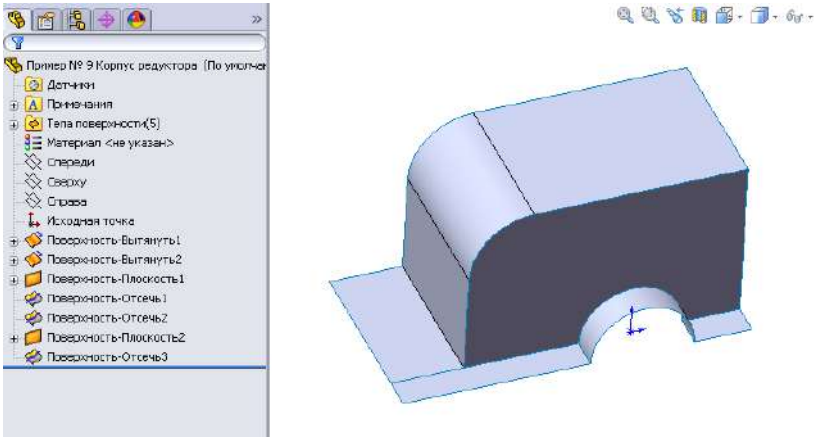


Рисунок 7.37 – Чотири сполучені між собою поверхні

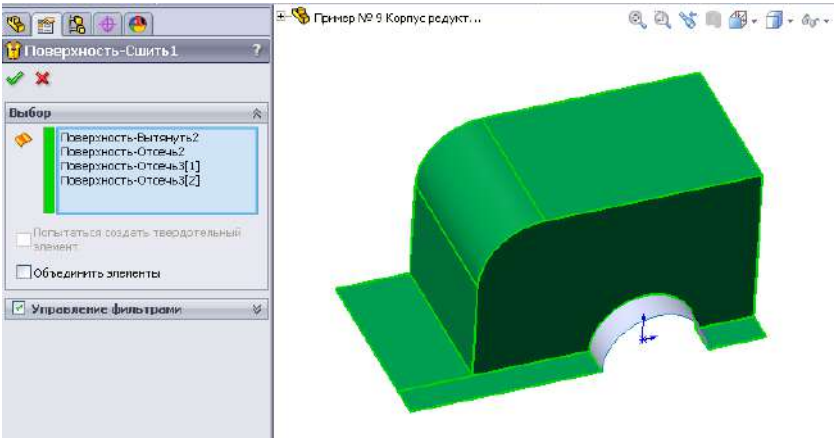


Рисунок 7.38 – Процес зшивання чотирьох поверхонь

17. З'єднаємо три із чотирьох поверхонь командою **«Сшить поверхность»** на панелі інструментів **«Поверхность»**. Можна також скористатися меню **«Вставка | Поверхность | Сшить**

поверхность...» У розділі **«Выбор»** укажемо всі поєднувані поверхні (які зшиваються) (рис. 7.38). Крайки поверхонь, що зшиваються, повинні бути суміжними й стикатися між собою без зазорів і перекриттів. Максимально припустимий зазор між поверхнями що зшиваються, можна вказати в розділі **«Управление фильтрами»**.

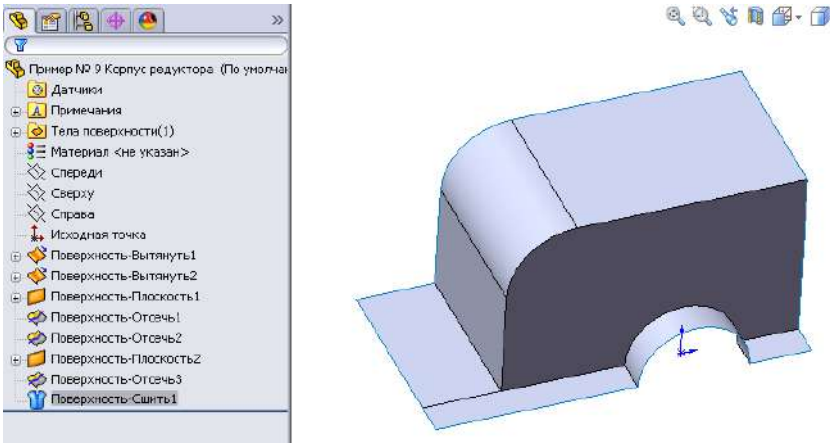


Рисунок 7.39 – Результат зшивання чотирьох поверхонь

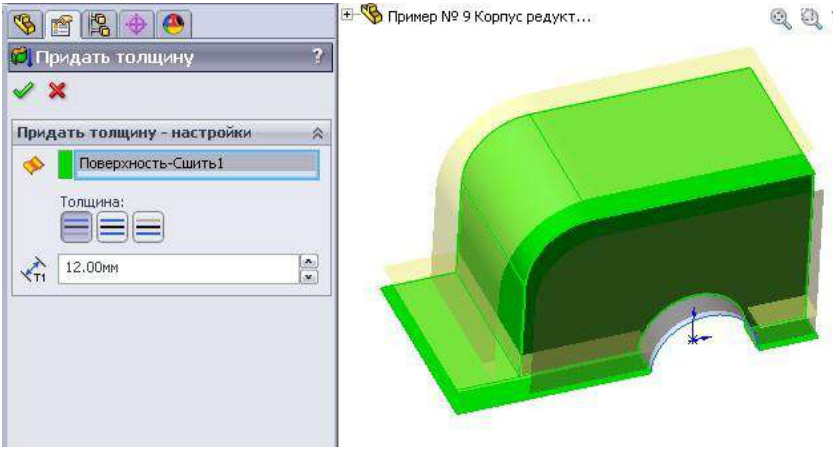


Рисунок 7.40 – Збільшення значення товщини

18. Закінчимо зшивання поверхонь, нажавши кнопку **OK**. У

результаті із чотирьох поверхонь вийде одна поверхня, яка в дереві конструювання буде позначена як елемент **«Поверхность-Сшить1»**, при цьому зовнішній вигляд зшитих поверхонь не зміниться (рис. 7.39). На основі зшитих поверхонь тепер можна побудувати частину деталі, задавши товщину 12 мм. Збільшимо товщину циліндричної поверхні на 22 мм (тому з іншими поверхнями її не зшивали).

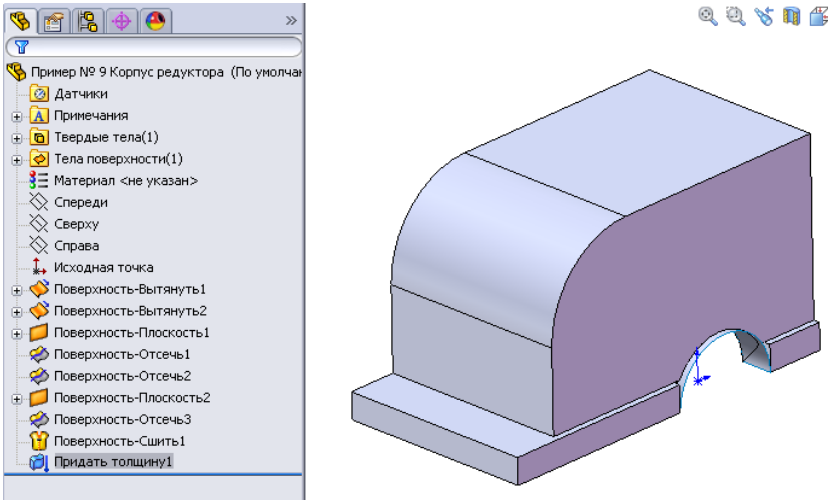


Рисунок 7.41 – Результат збільшення значення товщини

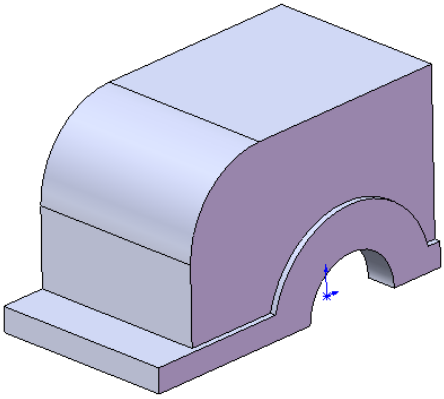


Рисунок 7.42 – Збільшення товщини циліндричної поверхні

19. Оформимо тверде тіло на основі створених поверхонь командою – **«Придать толщину...»** У розділі **«Придать толщину поверхности»** вкажемо поверхню збільшеної товщини – **«Поверхность-Сшить1»**, а в розділі **«Толщина»** задамо значення товщини – 12 мм (рис. 7.40).

20. На закінчення натиснемо кнопку **ОК**, у результаті одержимо наступну деталь (рис. 7.41).

21. Тепер аналогічним образом збільшимо товщину циліндричної поверхні на 22 мм (рис. 7.42).

22. Корпуса редукторів звичайно виготовляють методом лиття, і грані цієї деталі будуть сполучатися через округлення радіусом 3 мм. Звернемося до команди – **«Скругление»** на панелі інструментів **«Элементы»**, у вікні, що з'явилося, вкажемо округлені крайки й радіус округлення (рис. 7.43).

23. Натиснемо кнопку **ОК** і одержимо чверть корпуса редуктора (рис. 7.44). Таким чином, поетапно, з використанням допоміжних поверхонь, був побудований корпус редуктора, а точніше – лише його чверть. Остаточно цю деталь слід добудувати використанням команди **«Зеркальное отражение».**

7.6 Додаткові можливості SolidWorks

У цьому розділі мова йтиме про команди, що дозволяють значною мірою прискорити процес конструювання деталей. До них відносяться всі команди створення масивів, а також команда **«Зеркальное отражение»** панелі інструментів **«Элементы».**

В SolidWorks можна побудувати кілька видів масивів:

- лінійний масив;
- круговий масив;
- масив, керований кривою;
- масив, керований ескізом;
- масив, керований таблицею;
- зразок заповнення.

При створенні будь-яких масивів завжди вказується копійований елемент, кількість копійованих елементів, відстань між ними й спосіб побудови масиву. **«Линейный масив»** активізується натисканням кнопки – **«Линейный масив»** і дозволяє розмножити копійовані елементи деталі, розташувавши їх на однаковій відстані у вигляді стовпців і рядів.

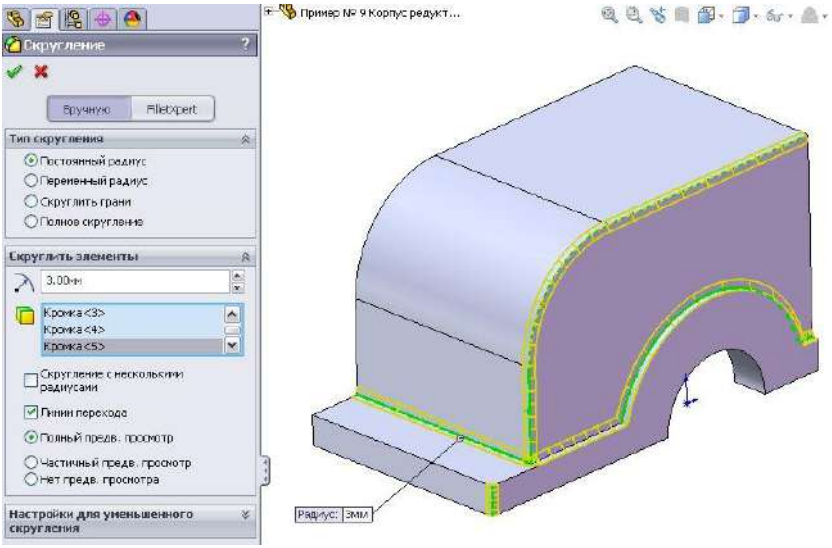


Рисунок 7.43 – Округлення крайок та радіусів

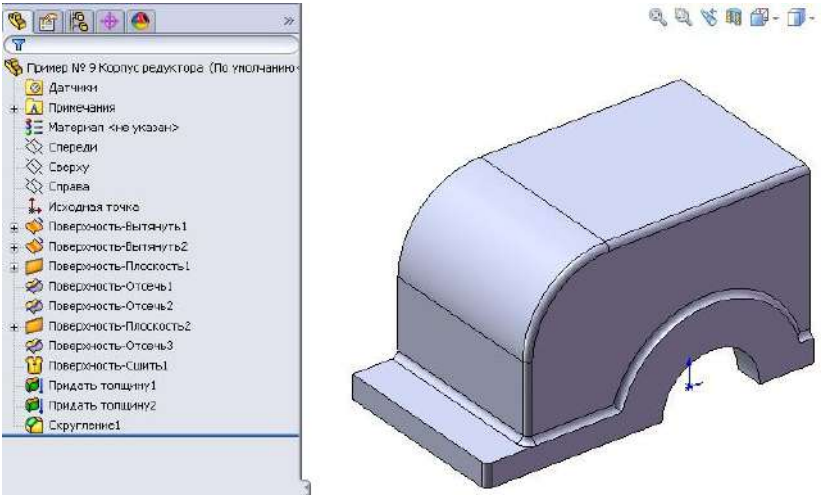


Рисунок 7.44 – Чверть корпуса редуктора

«Круговой масив» запускається однойменною кнопкою. Для його побудови крім копійованого елемента потрібно ще вказати загальну кількість, кут між елементами й вісь, яка служить

центром копіювання.

«Массив, управляемый кривой» – вказується елемент і крива (крайка або спеціально побудований ескіз), уздовж якої розташовуються копійовані елементи.

«Массив, управляемый эскизом» – дозволяє розмножити елемент деталі, розташувавши копійовані елементи по конкретних точках. Ці точки будуються заздалегідь і розташовуються в окремому ескізі.

«Массив, управляемый таблицей» – дозволяє розташувати копійовані елементи по точках, координати яких задаються в спеціальній таблиці.

«Образец заполнения» – ця команда запускається однойменною кнопкою й надає конструкторові можливість створити масив, заповнюючи копійованими елементами певну область.

Завдяки команді – **«Зеркальное отражение»** обрані елементи копіюються, дзеркально відбиваючись від обраної площини.

Розглянемо використання деяких із цих команд на конкретних прикладах. Отже у наступному прикладі ми добудуємо корпус редуктора, частина якого вже була сконструйована раніше (рис. 7.44).

1. На основі чверті корпуса редуктора побудуємо його половину. Для цього активізуємо кнопку – **«Зеркальное отражение»** на панелі інструментів **«Элементы»**. На екрані з'явиться вікно **«Зеркальное отражение»** (рис. 7.45).

У розділі **«Зеркально отразить грань/плоскость»** вкажемо грань деталі, відносно якої буде побудовано дзеркальне відбиття, а в розділі **«Копировать тела»** позначимо тверде тіло чверті корпуса редуктора (рис. 7.45). Натиснемо кнопку **ОК** і одержимо половину корпуса редуктора (рис. 7.46).

2. Аналогічним образом побудуємо другу половину корпуса. Натиснемо кнопку – **«Зеркальное отражение»**. У розділі **«Зеркально отразить грань/плоскость»** позначимо плоску грань деталі. У розділі **«Копировать тела»** вкажемо тверде тіло половини корпуса. У результаті буде побудований корпус редуктора (рис. 7.47).

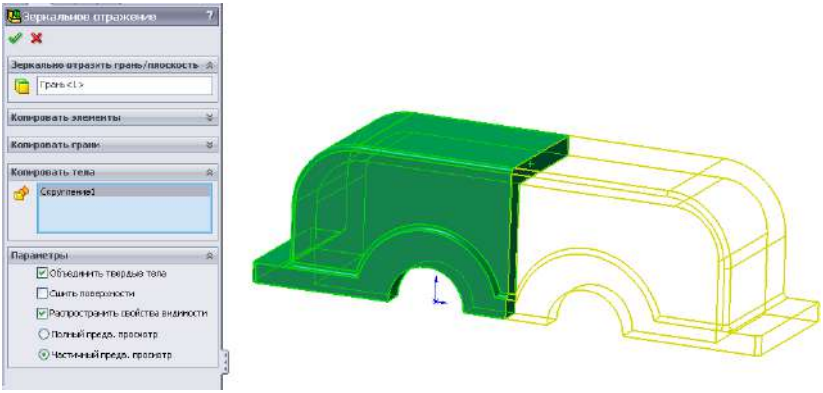


Рисунок 7.45 – Процес дзеркальної добудови корпуса редуктора

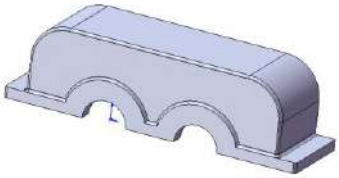


Рисунок 7.46 – Добудована частина корпуса

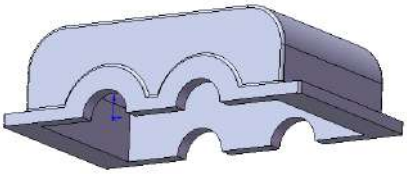


Рисунок 7.47 – Побудований корпус редуктора

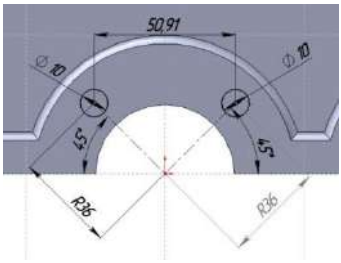


Рисунок 7.48 – Ескіз отворів для кріплення кришок

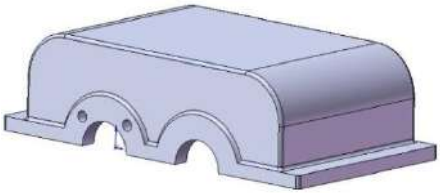


Рисунок 7.49 – Побудовані отвори для кріплення кришок

3. В існуючому корпусі бракує отворів для кріплення кришок. Сконструюємо ці отвори: укажемо плоску грань корпуса, де повинні бути побудовані отвори, і намалюємо ескіз отворів (рис. 7.48).

Для оформлення отворів згідно з побудованим ескізом, активізуємо кнопку – **«Вытянутый вырез»** на панелі інструментів **«Элементы»**. На екрані відкриється вікно **«Вырез-Вытянуть»**, у розділі **«Направление 1»** виберемо граничну умову **«На задану відстань»** і вкажемо відстань 25 мм.

Закінчимо побудову отворів натисканням кнопки **ОК** (рис. 7.49). Отже крім того, що на деталі сформувалися два отвори, у дереві конструювання з'явився рядок – **«Виріз-Витягнути1»**.

4. Оформимо усередині цих отворів різьблення. Звернемося до меню **«Вставка | Примечание | Условное изображение резьбы...»**. У вікні, що з'явилося на екрані, **«Условное изображение резьбы»** вкажемо крайки отворів, а також виберемо стандарт різьблення, довжину різьблення та розмір (рис. 7.50). Довжина різьбової частини отворів становить 15 мм, а розмір – М12.

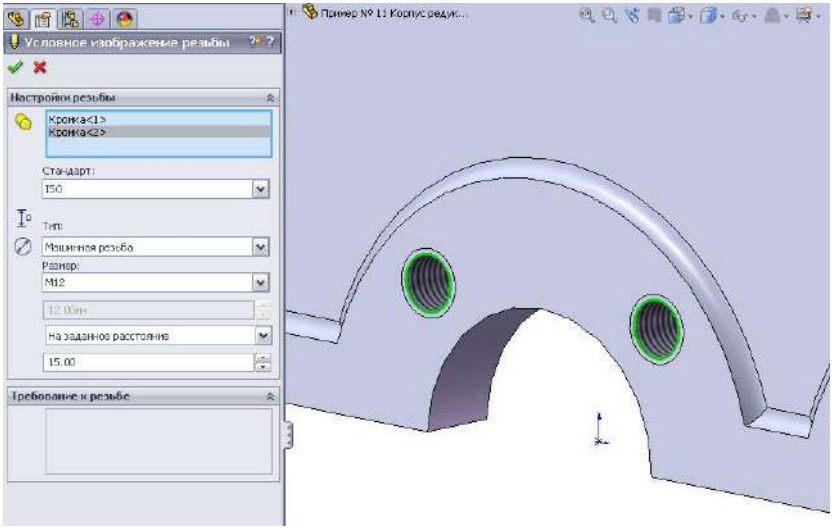


Рисунок 7.50 – Створення різьблення усередині отворів

5. Закінчимо оформлення різьблення, нажавши кнопку **ОК**.

6. Тепер, використовуючи команду **«Линейный масив»**, скопіюємо ці отвори на інші три бобишки. Після натискання кнопки – **«Линейный масив»** на екрані з'явиться вікно

«Линейный масив1» (рис. 7.51).

У розділі **«Направление 1»** укажемо напрямок масиву – крайку корпуса; інтервал між елементами – 105 мм; кількість екземплярів – 2.

У розділі **«Направление 2»** укажемо крайку, перпендикулярну першому напрямку; інтервал між елементами – 127 мм; кількість екземплярів – 2; у якості копійованих елементів у розділі **«Копировать элементы»** вкажемо **«Вырез-Вытянуть1»** (рис. 7.51).

7. Натиснемо кнопку **OK** і одержимо корпус редуктора з різьбовими отворами для кріплення кришок (рис. 7.52).

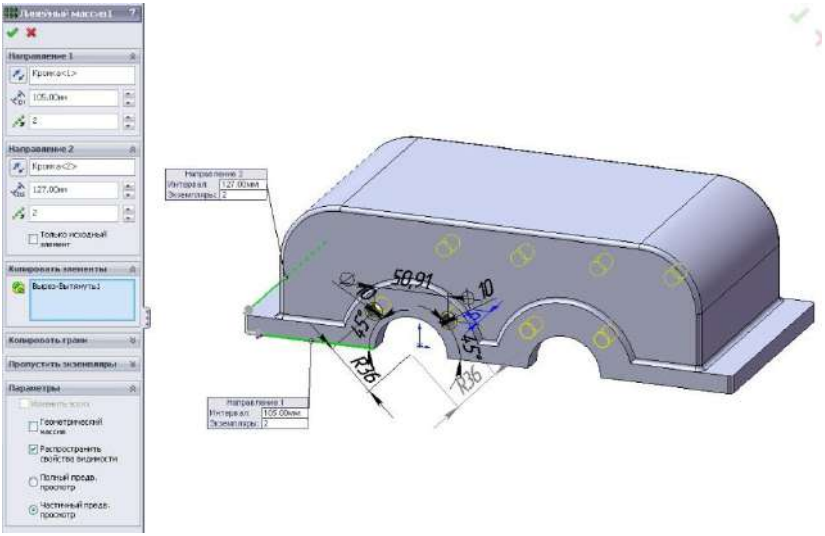


Рисунок 7.51 – Процес копіювання
отворів на інші бобишки

8. Побудуємо чотири гладкі отвори на бурті корпуса. Для цього відзначимо площину бурту й намалюємо ескіз отвору (рис. 7.53).

9. Витягнемо отвір командою **«Вытянутый вырез»**. У вікні **«Вырез-Вытянуть»** позначимо глибину вирізу – **«Насквозь»**, потім натиснемо кнопку **OK** і одержимо отвір на бурті корпуса (рис. 7.54).

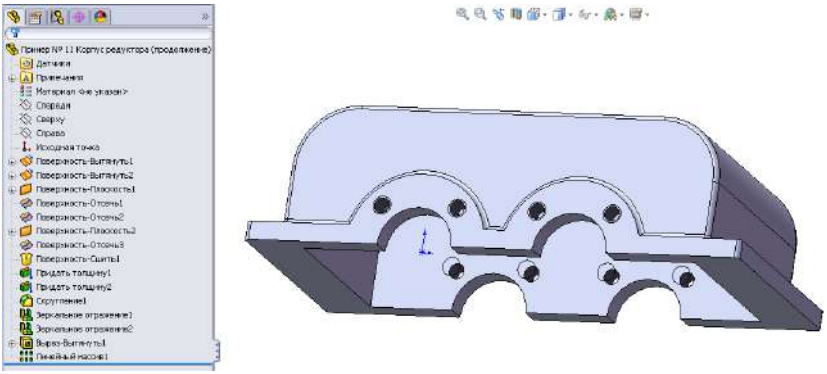


Рисунок 7.52 – Корпус редуктора з різьбовими отворами для кришок

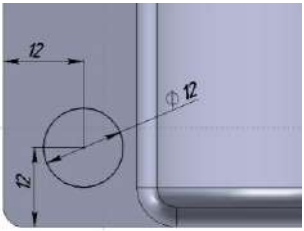


Рисунок 7.53 – Ескіз отвору на бурті корпуса

10. Оформимо чотири такі отвори, використовуючи команду **«Линейный масив»**. Натиснемо кнопку – **«Линейный масив»**, у розділі **«Направление 1»** укажемо крайку корпуса; інтервал між елементами 311 мм; кількість екземплярів 2. У розділі **«Направление 2»** позначимо іншу крайку, перпендикулярну **«Направление 1»**; інтервал між елементами – 128 мм; кількість екземплярів – 2; у якості копійованих елементів укажемо **«Вырез-Вытянуть2»** (рис. 7.55).

11. Натиснемо кнопку **OK** і в результаті одержимо готовий корпус редуктора, побудований за допомогою допоміжних поверхонь, дзеркального відбиття й лінійних масивів (рис. 7.56).

Далі розглянемо створення кругових масивів. Показовим прикладом деталі із круговими масивами є зубчасте колесо. Отже у цьому прикладі ми сконструюємо зубчасте колесо для редуктора.

1. Побудову зубчастого колеса почнемо з оформлення ескізу, для чого виберемо площину **«Спереди»** в тривимірному просторі SolidWorks і ввійдемо в ескіз кнопкою **«Эскиз»** на однойменній панелі інструментів.

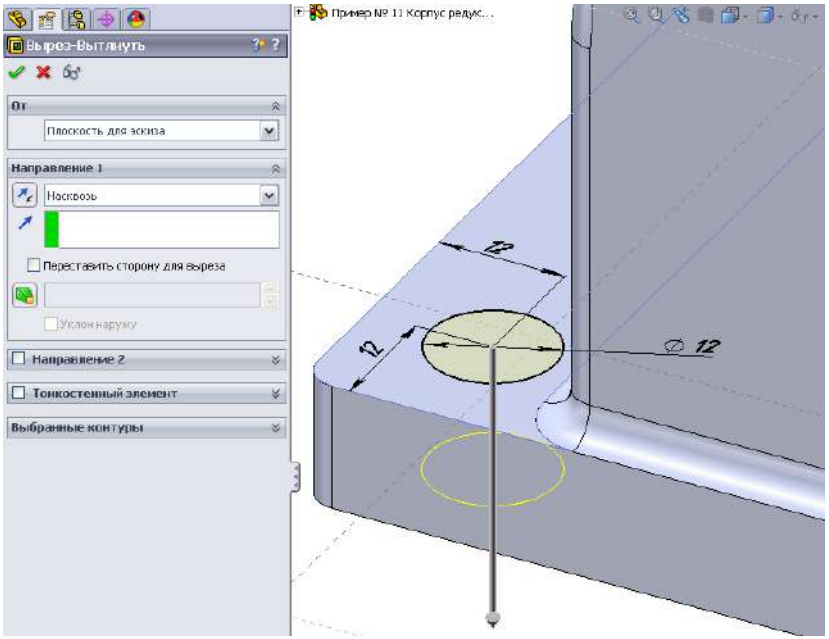


Рисунок 7.54 – Процес побудови отвору
на бурті корпуса

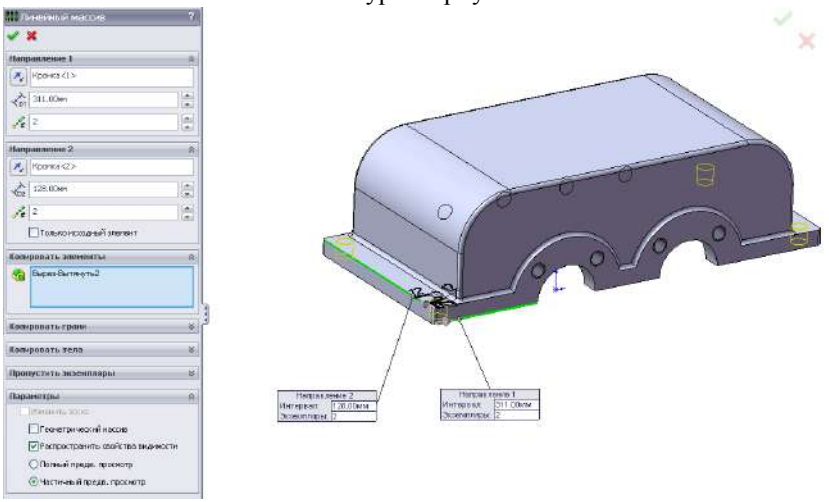


Рисунок 7.55 – Створення чотирьох
отворів за допомогою масиву

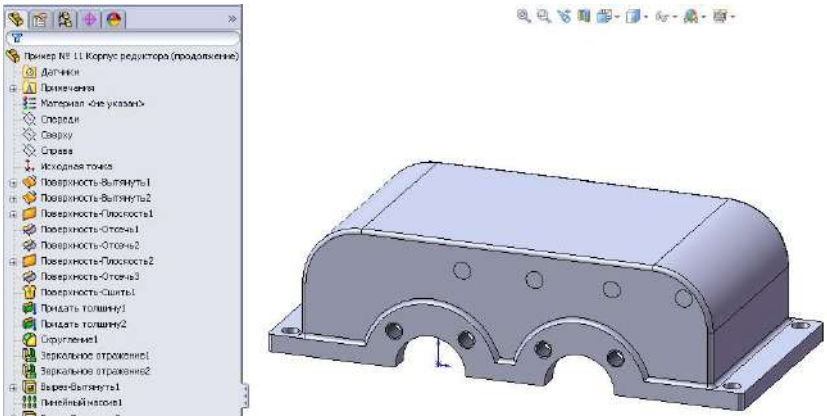


Рисунок 7.56 – Готовий корпус редуктора,

2. Оформимо ескіз зубчастого колеса у вигляді його половини, не забувши зобразити вісь деталі (рис. 7.57). Як видно з рис. 7.57, ескіз зубчастого колеса являє собою прямокутник із трьома фасками 1х45°. На відстані 15 мм від прямокутника побудована вісь деталі, яка також є віссю повороту ескізу.

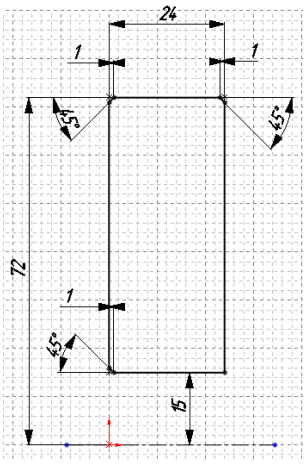


Рисунок 7.57 – Ескіз зубчастого колеса

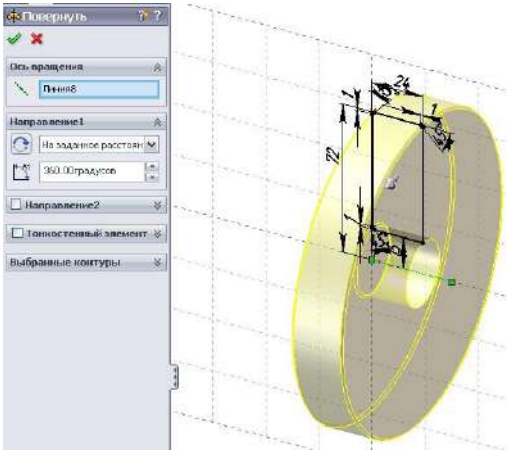


Рисунок 7.58 – Процес побудови зубчастого колеса

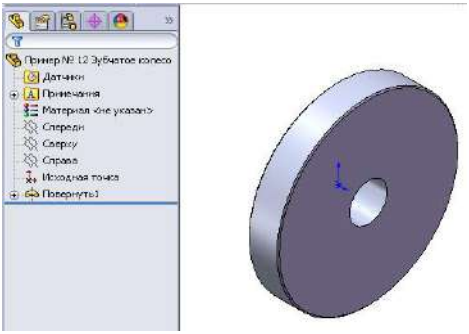


Рисунок 7.59 – Колесо з фасками

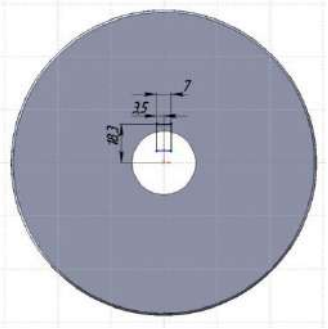


Рисунок 7.60 – Ескіз шпонкового паза

3. Коли ескіз готовий, для побудови деталі залишається лише нажати кнопку – **«Повернутая бобышка/основание»** на панелі інструментів **«Элементы»**. На екрані дисплея з'явиться вікно **«Повернуть»**, у якому необхідно вказати кут повороту ескізу, для колеса він становить 360° (рис. 7.58).

4. Натиснемо кнопку **OK** і в результаті одержимо колесо з фасками (рис. 7.59), а в дереві конструювання з'явиться рядок **«Повернуть1».**

5. Побудуємо шпонковий паз на зубчастому колесі. Для створення ескізу шпонкового паза виберемо одну із плоских поверхонь колеса й увійдемо в ескіз, активізувавши кнопку – **«Эскиз»**. Намалюємо ескіз шпонкового паза (рис. 7.60).

6. Витягнемо ескіз шпонкового паза, для чого активізуємо кнопку – **«Вытянутый вырез»**. На екрані відкриється вікно **«Вырез-Вытянуть»**. У розділі **«Направление 1»** вкажемо граничну умову оформлюваного вирізу – **«Насквозь»** (рис. 7.61).

7. Закінчимо побудову шпонкового паза, нажавши кнопку **OK** . У результаті одержимо заготовку зубчастого колеса, поки без зубів, але з фасками й шпонковим пазом (рис. 7.62).

Тепер перейдемо до оформлення зубів колеса.

1. Оберемо плоску поверхню колеса й побудуємо на ній ескіз западини зуба (рис. 7.63).

2. Тепер оформимо западину, для чого натиснемо кнопку – **«Вытянутый вырез»**. У розділі **«Направление 1»** укажемо граничну умову оформлюваного вирізу – **«Насквозь»**, натиснемо

кнопку **ОК** і одержимо колесо з вирізом у вигляді западини зуба (рис. 7.64).

3. За допомогою кругового масиву скопіюємо западину зуба. Для цього натиснемо кнопку – **«Круговой масив»**. На екрані з'явиться вікно **«Круговой масив»**. У розділі **«Параметры»** вкажемо вісь масиву за допомогою меню **«Вид | Временные оси»**. У тривимірній моделі деталі з'явиться вісь, яку необхідно виділити. Її назва відобразиться в розділі **«Параметры»** (рис. 7.65). У цьому розділі також укажемо сумарний кут масиву – 360, кількість копійованих елементів (западин) – 70, поставимо прапорець **«Равный шаг»** (рис. 7.65).

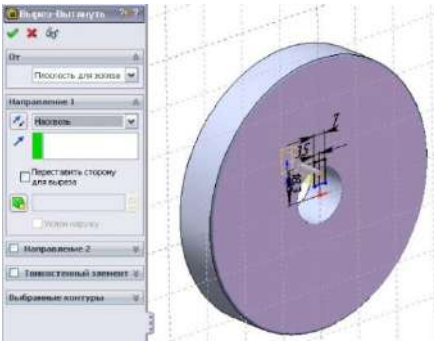


Рисунок 7.61 – Процес побудови шпонкового паза

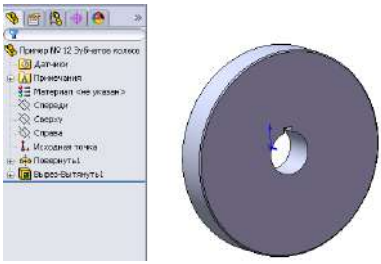


Рисунок 7.62 – Готовий шпонковий паз

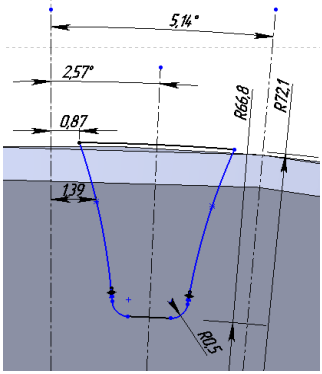


Рисунок 7.63 – Ескіз западини зуба колеса

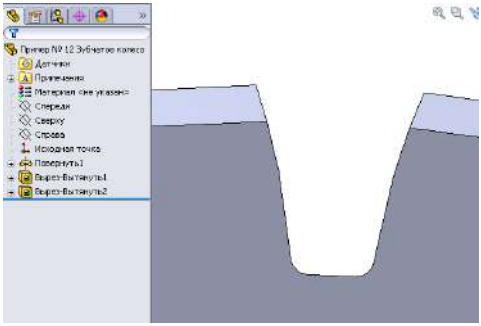


Рисунок 7.64 – Створена западина зуба колеса

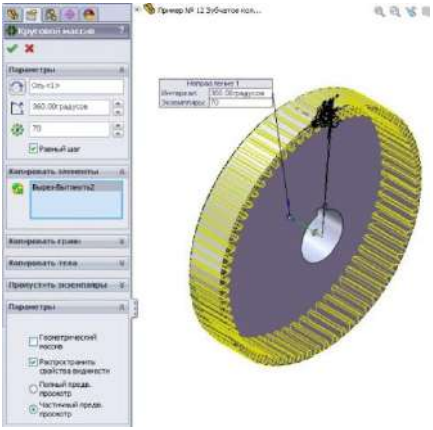


Рисунок 7.65 – Процес створення кругового масиву западин зуба

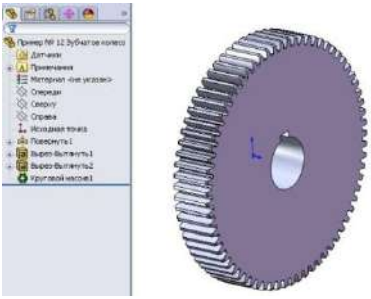


Рисунок 7.66 – Готове зубчасте колесо

У розділі **«Копировать элементы»** необхідно позначити виріз зуба – **«Вырез-Вытянуть2»** (рис. 7.65).

4. Натиснемо кнопку **ОК**, щоб закінчити побудову зубчастого колеса. На екрані відобразиться зубчасте колесо зі шпонковим пазом (рис. 7.66).

Отже сконструювавши зубчасте колесо, ми закінчили розгляд основних способів проектування деталей в SolidWorks. Використовуючи описані прийоми й методи, можна створювати тривимірні об’єкти різної складності.

Крім цього, в SolidWorks існують засоби, що дозволяють проектувати деталі з листового металу, зварені конструкції, створювати ливарні форми, а також прийоми оформлення різних конфігурацій однієї деталі. У наступних лекціях ми розглянемо методи побудови конфігурацій деталей.

Питання для самоперевірки

1. Які є загальні способи створення тривимірних деталей?
2. Розкажіть про метод створення деталі «Витягування».
3. Як створити деталь способом «Обертання»?
4. Розкажіть про створення деталей складної конфігурації.
5. Розкажіть про метод «Витягування елемента по траєкторії».

6. Які є основні види вирізів?
7. Які в SolidWorks є додаткові можливості формування деталей?
8. Як створити фаску на деталі?
9. Для чого потрібна команда «Уклон»?
10. Як працює команда «Купол»?
11. Які операції можна виконати командою «Оболочка»?
12. Наведіть приклади деталей типу обертання.
13. Для чого потрібні команди створення масивів?
14. Як призначити тип матеріалу побудованій деталі?
15. Як розрахувати масові характеристики побудованої деталі?
16. Які є типи сполучень допоміжних площин з об'єктами?
17. Які є загальні правила побудови напрямних кривих?
18. Що являють собою поверхні і як вони будуються?
19. Назвіть два основні методи побудови деталей на базі поверхонь.
20. Назвіть типи масивів застосовуваних у SolidWorks.

8 РОБОТА З КОНФІГУРАЦІЯМИ ДЕТАЛЕЙ

У процесі конструювання механізмів і машин досить часто доводиться створювати кілька варіантів однієї деталі або складання. Між собою ці варіанти можуть різнитися розмірами, наявністю або відсутністю деяких елементів деталі та іншими параметрами. Такі варіанти однієї деталі або складання в SolidWorks можуть зберігатися в одному документі й називаються конфігураціями.

Для створення, вибору й перегляду різних конфігурацій деталі або складання в SolidWorks існує **«Менеджер конфигурации»**. За допомогою менеджера конфігурації можна виконувати наступні процедури:

- створювати (додавати) нові конфігурації;
- редагувати властивості існуючих конфігурацій;
- вибирати й переглядати конфігурації;
- видаляти непотрібні конфігурації.

Для активізації менеджера конфігурації необхідно нажати кнопку, яка розміщена над деревом конструювання. У результаті цієї процедури в лівій частині екрана на місці дерева конструювання з'явиться список існуючих конфігурацій деталі. Ім'я кожної конфігурації записано в окремому рядку.

При цьому вихідна деталь позначається **«По умолчанию [Имя детали]»** (рис. 8.1). Для повернення назад у дерево конструювання потрібно нажати кнопку – **«Дерево Конструирования»**. Далі ми перейдемо до більш докладного розгляду можливостей Менеджера конфігурації SolidWorks.

8.1 Додавання (створення) нової конфігурації

Насамперед, спроектуємо базову деталь або складання, на основі якої будуть створюватися нові конфігурації. Потім перейдемо в менеджер конфігурації.

В SolidWorks існує три способи створення конфігурацій: вручну, за допомогою таблиці параметрів і з використанням діалогового вікна **«Изменить конфигурации».**

8.1.1 Створення конфігурації вручну

Перебуваючи в режимі менеджера конфігурації, помістимо курсор миші в ліву область екрана на ім'я деталі або складання. Клацнемо правою кнопкою миші, щоб вивести на екран контекстне меню. Потім у цьому меню активізуємо команду **«Добавить конфигурацию»** (рис. 8.2). Виконання цієї команди приведе до появи на екрані дисплея діалогового вікна **«Добавить конфигурацию»** (рис. 8.3).

У цьому вікні необхідно привласнити новій конфігурації ім'я, можна також оформити її опис та замітку. Опис і замітка не є обов'язковим атрибутом і являють собою коротку характеристику нової конфігурації.

У замітці звичайно міститься додаткова інформація про конфігурацію.

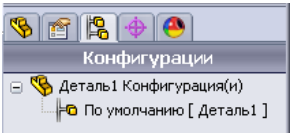


Рисунок 8.1 – Вікно менеджера конфігурації

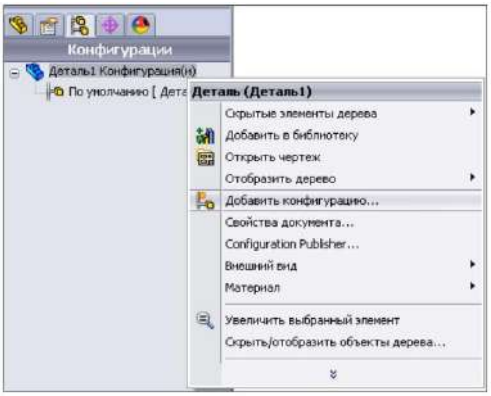


Рисунок 8.2 – Виклик контекстного меню

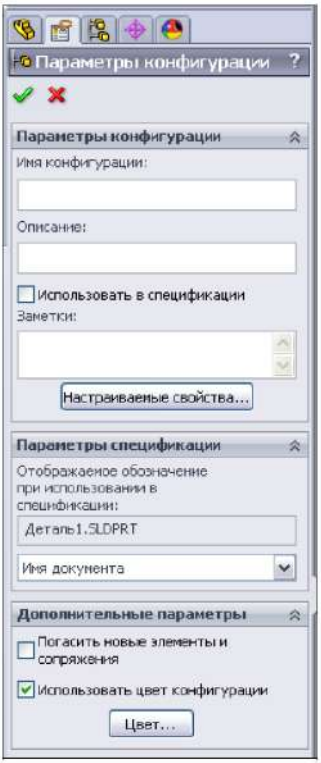


Рисунок 8.3 – Створення конфігурації

При бажанні можна також привласнити новій конфігурації колір, що дозволить легко розрізняти різні конфігурації між собою. Завдання кольору можна здійснити в розділі **«Дополнительные параметры»** вікна **«Добавить конфигурацию».** Після присвоєння імені, створення опису й замітки нова конфігурація ще є точною копією вихідної деталі. Тепер можна перейти в дерево конструювання й внести необхідні зміни в тривимірну модель базової деталі або складання.

Зміна вихідної деталі має на увазі редагування її розмірів, а також додавання нових елементів (отворів, фасок тощо) або видалення існуючих. При проектуванні конфігурації складання можна додати нові деталі або вилучити непотрібні, а також змінити умови сполучення.

8.1.2 Створення конфігурації за допомогою таблиці параметрів

Завдяки таблиці параметрів можна створювати кілька конфігурацій деталей або складань шляхом завдання параметрів у вбудованій таблиці Microsoft Excel.

Для цього на комп'ютері повинна бути встановлена програма Microsoft Excel. Таблиця параметрів зберігається в документі моделі, при цьому в неї губиться зв'язок з вихідним файлом Excel.

У таблицях параметрів можна управляти розмірами, станом погашення деяких елементів деталі, параметрами конфігурації. Існує два способи створення таблиць параметрів: автоматично й вручну.

Для використання таблиці параметрів необхідно, перебуваючи в режимі менеджера конфігурації, активізувати таблицю параметрів натисканням кнопки – **«Таблица**

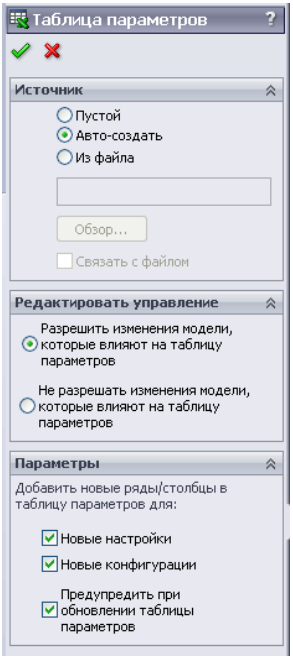


Рисунок 8.4 – Вікно «Таблица параметров»

параметров» панелі інструментів **«Таблица»**. На екрані з'явиться вікно **«Таблица параметров»** (рис. 8.4). У цьому вікні, у розділі Джерело, можна вибрати наступні варіанти:

- **«Пустой»** – таблиця параметрів створюється вручну;
- **«Авто-создать»** – таблиця створюється в автоматично;
- **«Из файла»** – таблиця параметрів у файлі Excel.

Потім на екрані з'явиться таблиця параметрів, де необхідно привласнити імена створюваним конфігураціям, указати імена змінюваних розмірів і ввести в таблицю значення цих розмірів.

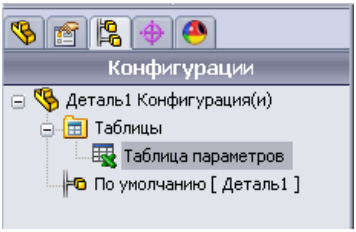


Рисунок 8.5 – Папка «Таблицы» з рядком «Таблица параметров»

При виході з таблиці параметрів відбувається автоматичне створення конфігурацій деталі, а в області менеджера конфігурації з'являється папка **«Таблицы»** з рядком **«Таблица параметров»** (рис. 8.5).

Клацнувши на цьому рядку правою кнопкою миші, ви можете редагувати таблицю параметрів або вилучити її. В SolidWorks існує можливість розміщення таблиці параметрів на аркуші креслення, що досить зручно при оформленні комплексного креслення деталі. Конфігурації складань створюються аналогічно конфігураціям деталей і відрізняються відсутністю або наявністю яких-небудь деталей, а також умовами сполучення між деталями.

8.2 Діалогове вікно «Змінити конфігурації»

Створювати нові, видаляти й редагувати наявні конфігурації деталей в SolidWorks можна легко й просто за допомогою діалогового вікна **«Изменить конфигурации».**

Діалогове вікно **«Изменить конфигурации»** являє собою таблицю, де в першому стовпці представлений список наявних конфігурацій деталі, а в інших стовпцях конфігуровані параметри (розміри, елементи деталей і т.д.) (рис. 8.6).

На відміну від таблиці параметрів, у якій можна змінювати тільки розміри елементів у конфігураціях деталі, у таблиці діалогового вікна **«Изменить конфигурации»** можна як

змінювати розміри деталі, так і управляти відображенням (погашенням) її елементів.

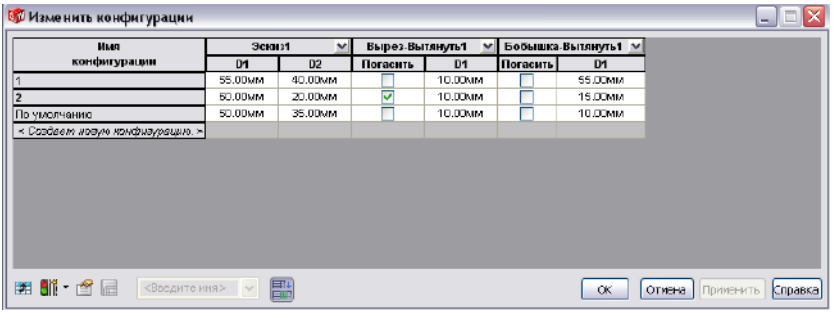


Рисунок 8.6 – Діалогове вікно
«Изменить конфигурации»

У загальному випадку в діалоговому вікні **«Изменить конфигурации»** конструктор може:

- додати нову конфігурацію;
- вилучити наявну конфігурацію;
- редагувати конфігурацію, змінюючи розміри й управляючи відображенням елементів;
- перейменовувати конфігурації.

8.3 Редагування конфігурацій

У будь-які створені в SolidWorks конфігурації деталей або складань завжди можна внести зміни. Для редагування параметрів конфігурації необхідно в менеджерові конфігурації вибрати ім’я, клацнувши по ньому правою кнопкою миші, і в меню, що з’явилося, вибрати рядок **«Свойства...»** (рис. 8.7).

Після цієї процедури на екрані відкриється вікно **«Параметры конфигурации»** (рис. 8.8), де можна змінити ім’я конфігурації, опис і замітку.

Змінити або додати які-небудь властивості користувача можна кнопкою **«Настраиваемые свойства»**, яка також перебуває у вікні **«Параметры конфигурации»**. На екрані дисплея з’явиться вікно **«Суммарная информация»**, у ньому три вкладки: **«Суммарная информация, Настройки и Конфигурация»** (рис. 8.9).

У вкладці **«Суммарная информация»** можна позначити автора конфігурації, ключові слова, замітку, заголовок і тему, також тут відображається інформація про дату створення документа, дату останнього збереження файлу та ім'я користувача.

У вкладках **«Настройки и Конфигурация»** (рис. 8.9) вказуються різні властивості конфігурації: позначення, найменування, матеріал, маса і т.д. Список цих властивостей можна заповнювати й редагувати за бажанням користувача.

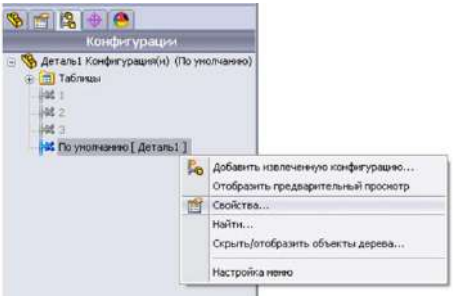


Рисунок 8.7 – Виклик контекстного меню для редагування параметрів конфігурації

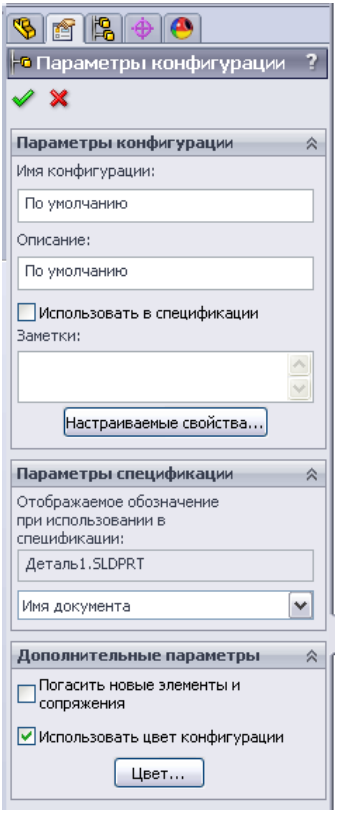


Рисунок 8.8 – Вікно «Параметры конфигурации»

8.4 Редагування й видалення конфігурацій

Для редагування розмірів та елементів уже створеної конфігурації потрібно проробити наступні операції:

1. Активізувати змінювану конфігурацію в менеджері конфігурації.
2. Перейти в дерево конструювання.
3. Внести зміни в конфігурацію деталі або складання.

Редагування конфігурації складання звичайно полягає в зміні

стану погашення або видимості деяких деталей. Усі створені конфігурації при необхідності можна вилучити. Існує три способи їх видалення: вручну, за допомогою таблиці параметрів і з використанням діалогового вікна **«Изменить конфигурации».**

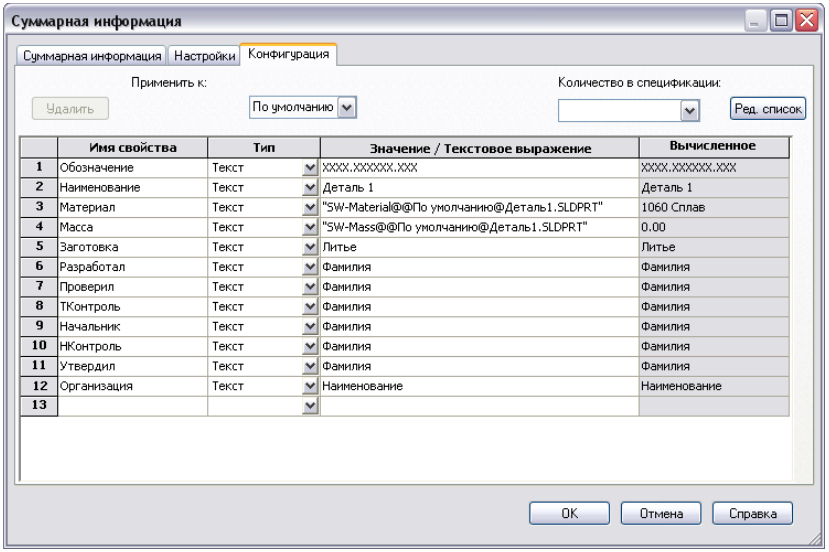


Рисунок 8.9 – Вікно «Суммарная информация»

Щоб вилучити конфігурацію вручну, спочатку потрібно перейти в менеджер конфігурації. Конфігурація, що підлягає видаленню, не повинна бути активною. Необхідно клацнути на конфігурації яка видаляється правою кнопкою миші, й у контекстному меню вибрати команду **«Удалить»**, підтвердивши видалення кнопкою **OK.** Вилучити конфігурацію можна також, використовуючи таблицю параметрів (якщо конфігурації створені за допомогою таблиці параметрів).

Уся процедура проводиться в менеджерові конфігурації, де потрібно клацнути правою кнопкою миші на елементі **«Таблица параметров»** і вибрати в контекстному меню що з'явилося, пункт **«Редактировать таблицу»** або **«Редактировать таблицу в новом окне»** (рис. 8.10). На екрані з'явиться таблиця параметрів, у якій можна вилучити рядок з іменем непотрібної

конфігурації, при цьому рекомендується використовувати команду меню **«Правка | Удалить»**.

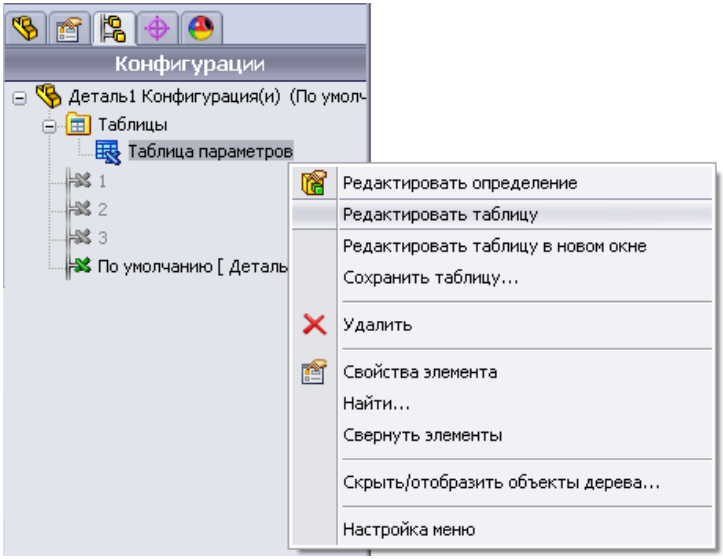


Рисунок 8.10 – Виклик контекстного
меню для вилучення конфігурації

Після виходу з таблиці її вміст обробляється, і непотрібна конфігурація віддаляється. Редагувати й видаляти конфігурації можна й за допомогою таблиці в діалоговому вікні **«Изменить конфигурации»** (рис. 8.6). Для цього необхідно спочатку відкрити вікно **«Изменить конфигурации»**, для чого потрібно клацнути правою кнопкою миші по зображенню деталі або елемента й у контекстному меню, що з'явився, у розділі **«Элемент»**, вибрати команду **«Свойства конфигурации»**.

У результаті на екрані відкриється діалогове вікно **«Изменить параметры»** з таблицею, багато в чому схожою на таблицю параметрів. У цій таблиці можна вилучити непотрібні конфігурації. Для цього необхідно клацнути правою кнопкою миші по імені конфігурації й вибрати в контекстному меню пункт **«Удалить конфигурацию»**. У цій таблиці можна також погасити які-небудь елементи деталі або змінити розміри елементів у

кожній з конфігурацій. Тепер перейдемо до розгляду конкретних прикладів по створенню різних конфігурацій деталей.

8.5 Створення конфігурацій вручну

Отже далі ми розглянемо приклади створення різних конфігурацій вручну, на основі раніше сконструйованих деталей.

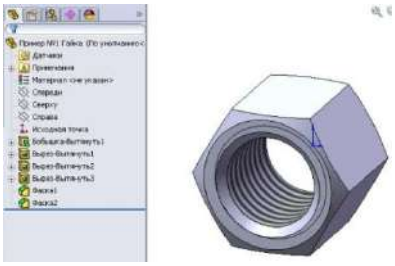


Рисунок 8.11 – Деталь Гайка

Приклад № 1. Гайка.

У якості деталі, для якої будемо створювати різні конфігурації, використовуємо вже спроектовану деталь Гайка (рис. 8.11).

Побудуємо першу конфігурацію, яка буде відрізнятися від вихідної деталі тільки своєю висотою. У вихідної гайки висота становить 15 мм, а в нової конфігурації вона буде 10 мм.

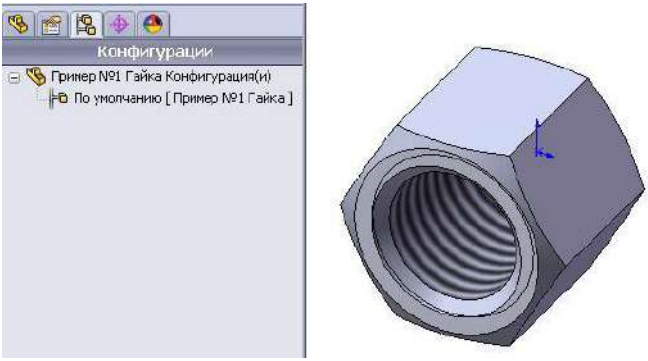


Рисунок 8.12 – Вікно менеджера конфігурації деталі

1. Спочатку відкриємо на екрані дисплея вихідну деталь. Для того щоб створити нову конфігурацію деталі, відкриємо – **«Менеджер конфигурации»**. Дерево конструювання зникне, а на його місці з’явиться вікно менеджера конфігурації. Вихідна

конфігурація деталі буде названа **«По умолчанию [Пример №1 Гайка]»** (рис. 8.12).

2. Тепер у вікні менеджера конфігурації клацнемо правою кнопкою миші по імені деталі (верхній рядок) і в контекстному меню що з'явилося, виберемо рядок **«Добавить конфигурацию...»** (рис. 8.13).

3. На екрані з'явиться діалогове вікно, де потрібно ввести у відповідних полях **«Имя конфигурации, Описание и Заметки»**. У розділі **«Параметры спецификации»** необхідно вибрати ім'я нової конфігурації, під яким вона буде позначатися в специфікації (рис. 8.14).

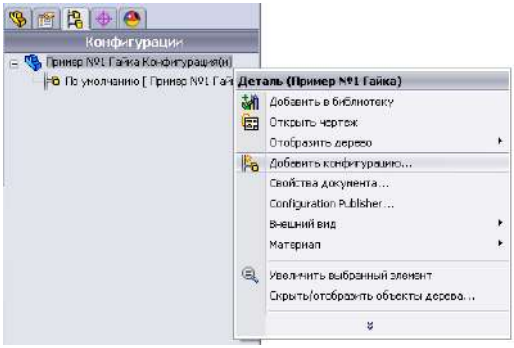


Рисунок 8.13 – Контекстне меню конфігурації

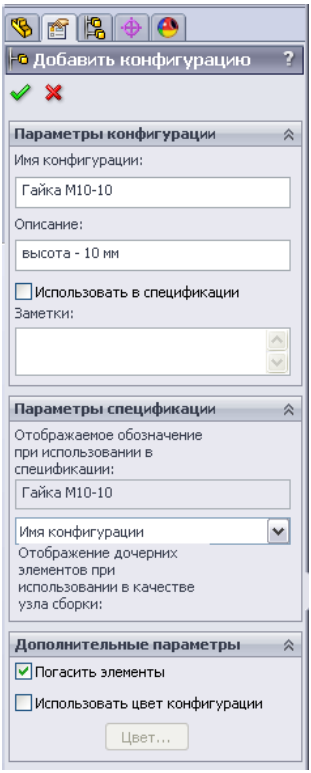


Рисунок 8.14 – Задаємо ім'я нової конфігурації

Укажемо наступні параметри:

«Имя конфигурации» – Гайка М10-10;

«Описание» – висота – 10 мм.

4. Закінчимо установку параметрів нової конфігурації, нажавши кнопку **ОК**. У результаті на екрані з'явиться зображення цієї конфігурації, яка поки ще є копією вихідної деталі. Оскільки нова конфігурація завжди створюється на основі тієї конфігурації, яка перебуває в активному стані.

5. Для зміни висоти гайки в новій конфігурації перейдемо в дерево конструювання. Побудова висоти гайки в дереві конструювання описано в елементі **«Бобышка-Вытянуть1»** (рис. 8.15).

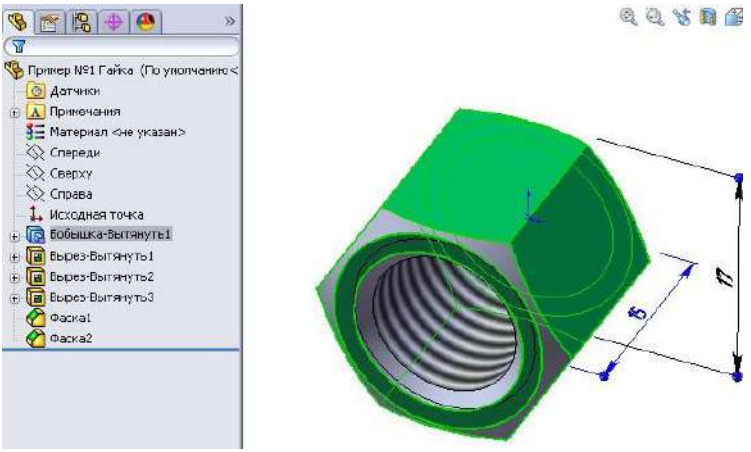


Рисунок 8.15 – Параметри побудови гайки

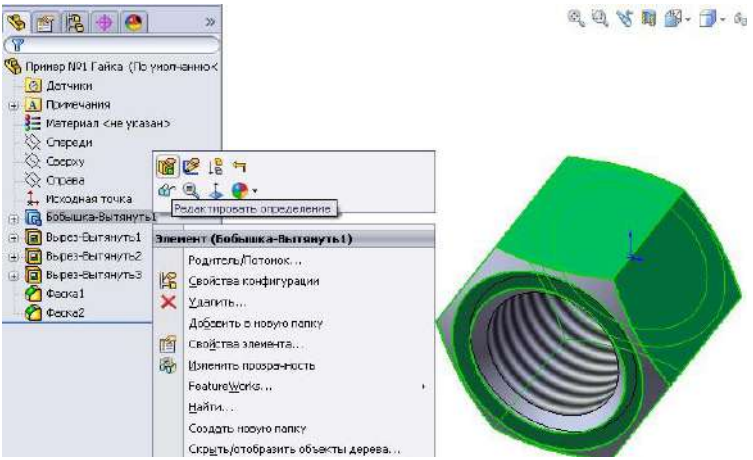


Рисунок 8.16 – Редагування параметрів гайки

6. Клацнемо по цьому рядку правою кнопкою миші й у контекстному меню виберемо команду – **«Редактировать определение»** (рис. 8.16).

7. На екрані з’явиться вікно **«Бобышка-Вытянуть1»**, де поміняємо висоту елемента з 15 мм на 10 мм, не забувши вказати в розділі **«Конфигурации»**, що зміни стосуються лише цієї конфігурації (рис. 8.17).

8. Натиснемо кнопку **OK**, у результаті гайка змінить вид (рис. 8.18). Закінчимо створення конфігурації, зберігши цю модель.

Аналогічно можна створити інші конфігурації деталі, що відрізняються одна від іншої розмірами елементів.

Якщо у вихідній деталі розміри задані за допомогою рівняння, то при зміні керуючого розміру в конфігурації зміняться й інші пов’язані з ним розміри.

Далі побудуємо другу конфігурацію деталі Гайка. Ця конфігурація буде відрізнятися від вихідної наявністю нового елемента – упорного бурту, а також відсутністю фаски, яка виконується за допомогою команди вирізу (елемент **«ВырезВытянуть2»**).

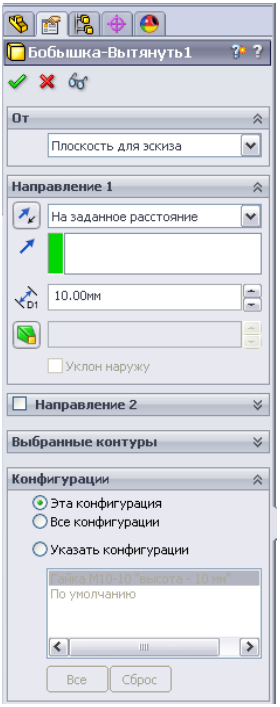


Рисунок 8.17 – Зміна конфігурації гайки

1. Щоб побудувати нову конфігурацію, перейдемо в менеджер конфігурації. У зв’язку з тим, що нова конфігурація будується на основі конфігурації **«По умолчанию [Пример №1 Гайка]»**, необхідно привести її в активний стан.

Для того щоб активізувати потрібну конфігурацію, треба перебуваючи в менеджері конфігурації, клацнути правою кнопкою миші по імені потрібної конфігурації. У контекстному меню що з’явилося, слід вибрати команду **«Отобразить конфигурацию»** (рис. 8.19).

Можна також відкрити конфігурацію, просто двічі клацнувши по її імені. Після цих дій конфігурація стає активною й на екрані з’являється її зображення.

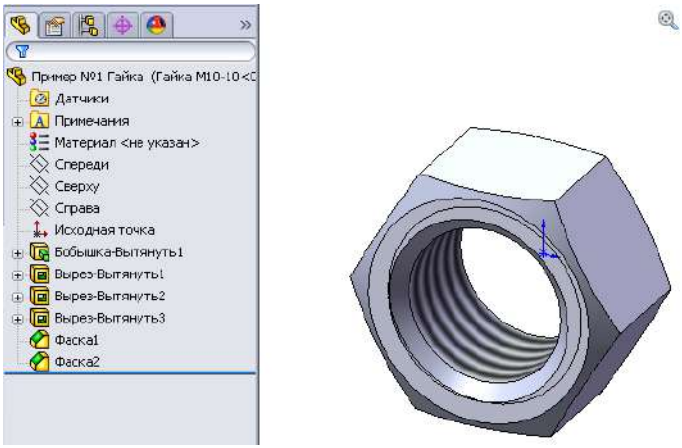


Рисунок 8.18 – Гайка після зміни конфігурації

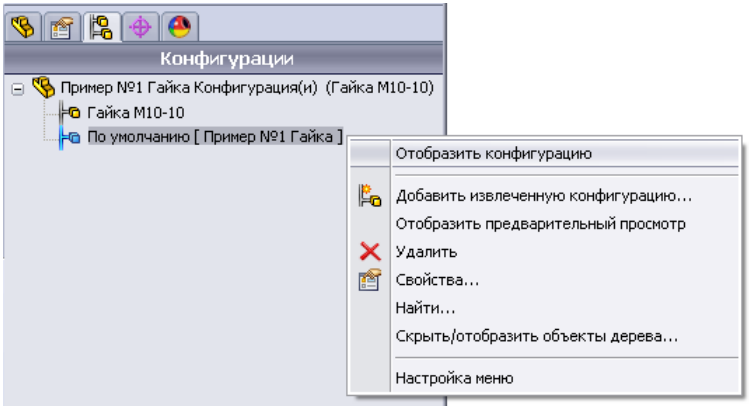


Рисунок 8.19 – Контекстне меню нової конфігурації

2. Додамо нову конфігурацію, для чого клацнемо правою кнопкою миші по імені деталі (верхній рядок) і в контекстному меню що з'явилося, виберемо команду **«Добавить конфигурацию»**. В однойменному діалоговому вікні задамо параметри нової конфігурації:

«Имя конфигурации» – Гайка М10-15-2;

«Описание» – з буртом.

У специфікації конфігурація буде йменуватися Гайка М10-15-2 (рис. 8.20).

3. Після того як визначилися з параметрами нової конфігурації (іменем, описом і заміткою), натиснемо кнопку **OK** і перейдемо в дерево конструювання. Для побудови упорного бурту в новій конфігурації деталі Гайка необхідно спочатку вилучити з дерева конструювання елемент **«Вырез-Вытянуть2»** (фаска, оформлена за допомогою команди вирізу) і елемент **«Фаска2»**. Але тому що ці елементи повинні бути присутні у раніше створених конфігураціях деталі Гайка, то ми не можемо їх вилучити традиційним способом. Для створюваної конфігурації ці елементи потрібно погасити.

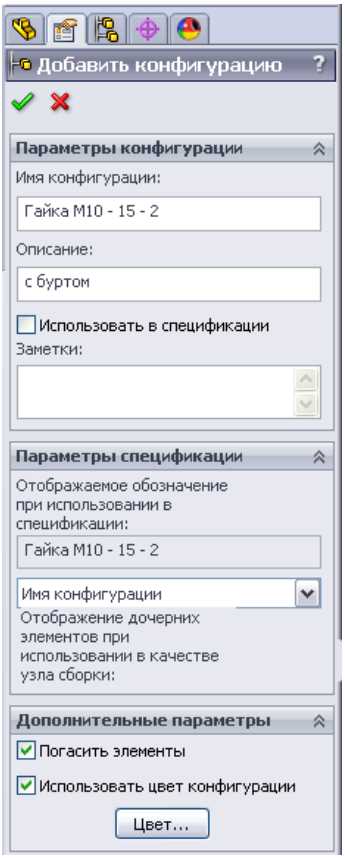


Рисунок 8.20 – Параметри нової конфігурації

4. Погасимо елемент **«Вырез-Вытянуть2»**, для чого виділимо його в дереві конструювання, клацнемо правою кнопкою миші й у контекстному меню що з'явилося, активізуємо команду – **«Погасить»**.

У результаті рядок **«Вырез-Вытянуть2»** згасне, а з конструкції деталі цей елемент зникне (рис. 8.21).

5. Подивимося властивості погашеного елемента. Для цього необхідно виділити елемент у дереві конструювання, клацнути правою кнопкою миші й у контекстному меню, що з'явилося, вибрати команду – **«Свойства элемента...»**. У вікні **«Свойства элемента»** буде зазначено, що обраний елемент у даній конфігурації погашений (рис. 8.22). Для того щоб погасити який-небудь елемент у всіх конфігураціях деталі, необхідно вибрати у вікні **«Свойства элемента»** режим **«Все конфигурации»**.

6. Аналогічним чином погасимо елемент **«Фаска2»** (рис. 8.23).

7. Тепер оформимо бурт за допомогою команди – **«Вытянутая бобышка/основание»**. Бурт повинен розташовуватися з тієї сторони, де раніше перебував елемент **«Вырез-Вытянуть2»**. Діаметр бурту – 22 мм, а висота – 3 мм. Але при такому способі побудови центральний отвір деталі Гайка вийде глухим з однієї сторони (рис. 8.24).

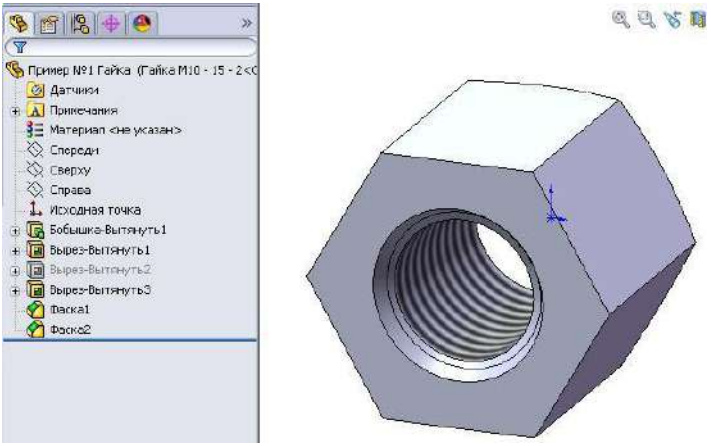


Рисунок 8.21 – Оновлена конфігурація

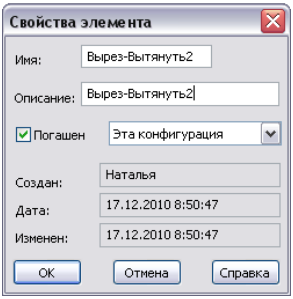


Рисунок 8.22 – Вікно властивостей елемента

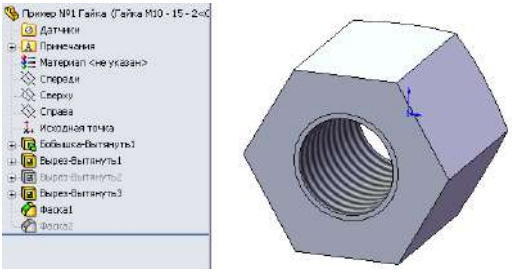


Рисунок 8.23 – Погашено елемент «Фаска2»

8. Оформимо центральний отвір. У зв’язку з тим, що центральний різьбовий отвір гайки був створений раніше як витягнутий виріз із граничною умовою **«Насквозь»**, для оформлення вирізу в новій конфігурації деталі потрібно просто

переставити в дереві конструювання елемент **«Бобышка-Вытянуть2»** (упорний бурт), розташувавши його над елементом **«Вырез-Вытянуть3»** (центральний отвір).

Для цього потрібно захопити рядок з назвою елемента **«Бобышка-Вытянуть2»** у дереві конструювання за допомогою курсору миші й помістити його в нове місце, змінивши тим самим порядок побудови деталі (рис. 8.25).

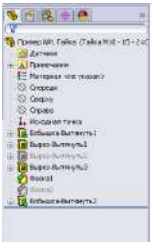


Рисунок 8.24 – Створено глухий отвір



Рисунок 8.25 – Центральний отвір

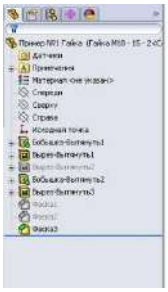


Рисунок 8.26 – Нова конфігурація

У тому випадку, якщо програма SolidWorks не буде переміщати елемент **«Бобышка – Вытянуть2»** у нове положення в дереві конструювання (над елементом **«Бобышка – Вытянуть3»**), рекомендуємо наступний порядок дій: спочатку погасити елемент **«Вырез – Вытянуть3»**, потім перемістити елемент **«Бобышка – Вытянуть2»**, а потім висвітити елемент **«Вырез-Вытянуть3».**

9. У новій конфігурації деталі відсутня фаска на одній із крайок. Скористаємося командою – **«Фаска»**. Розміри фаски – 1×45°.

У результаті буде побудована ще одна конфігурація деталі Гайка (рис. 8.26). У такий спосіб на базі деталі Гайка було створено дві її конфігурації – Гайка М10-10 (рис. 8.18) і Гайка М10-15-2 (рис. 8.26).

Однак процес побудови конфігурацій можна значно прискорити, якщо використовувати таблицю параметрів.

8.6 Створення конфігурацій за допомогою таблиці параметрів

Таблицю параметрів зручно використовувати при створенні конфігурацій, які відрізняються між собою лише розмірами деяких елементів. Побудуємо кілька конфігурацій гвинта із шестигранною головкою.

Приклад № 2. Гвинт із шестигранною головкою.

Нові конфігурації гвинта будуть відрізнятися між собою лише довжиною циліндричної частини. У вихідного гвинта циліндрична частина має довжину 40 мм (рис. 8.27).

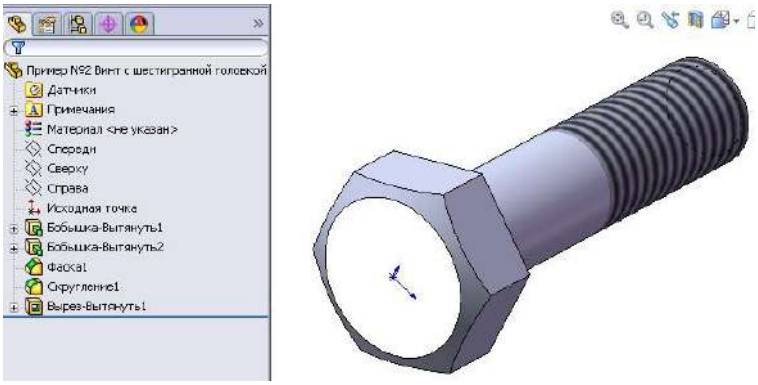


Рисунок 8.27 – Гвинт із шестигранною головкою

1. Для початку потрібно активізувати таблицю параметрів натисканням кнопки – **«Таблица параметров»**. На екрані з'явиться вікно **«Таблица параметров»** (рис. 8.4).

У розділі **«Источник»** виберемо **«Авто-создать»** (автоматичне створення таблиці), а в розділі **«Редактировать управление»** встановимо прапорець **«Разрешить изменения модели, которые влияют на таблицу параметров»**, тобто при зміні моделі таблиця буде обновлятися.

Натиснемо кнопку **OK**.

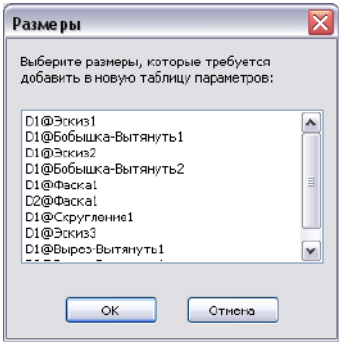


Рисунок 8.28 – Створення таблиці

На екрані з'являться вікна **«Создается таблица параметров и Размеры»** (рис. 8.28). У вікні **«Размеры»** перераховані всі розміри вихідної деталі, які можна змінювати в нових конфігураціях (рис. 8.28).

Виберемо в цьому вікні розмір **«D1@Бобышка-Вытянуть2»**.

Для того щоб відзначити кілька розмірів у вікні **«Размеры»**, слід виділяти назви розмірів курсором миші, утримуючи клавішу **<Ctrl>**.

2. Закінчимо вибір змінюваних розмірів, нажавши кнопку **ОК**. На екрані таблиця параметрів для гвинта із шестигранною головкою, виконана в Microsoft Excel, а в дереві менеджера конфігурації над списком конфігурацій з'явиться новий елемент – **«Таблица параметров»** (рис. 8.29). У цій таблиці гніздо A2 є порожнім й позначається **Family** (Сімейство). У стовпцях подані імена розмірів, а в рядках слід увести імена конфігурацій (ім'я вихідної деталі **«По умолчанию»**, та значення її розміру вже зазначено).

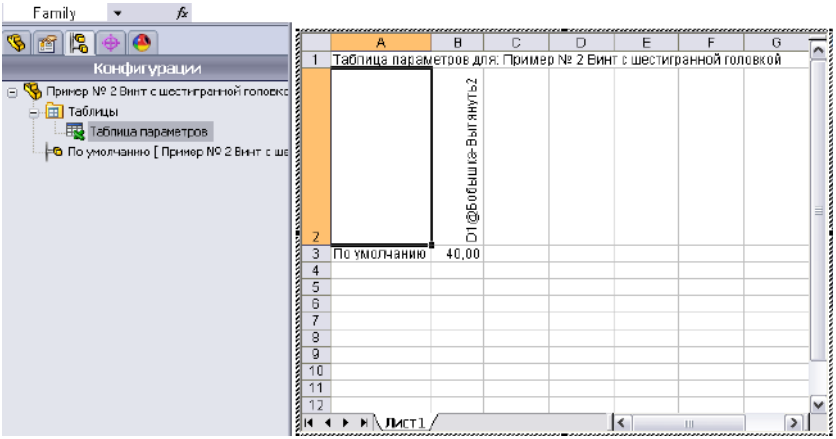


Рисунок 8.29 – Елемент «Таблица параметров» в менеджері конфігурації

3. Додамо в цю таблицю імена нових конфігурацій та їхні розміри (рис. 8.30).

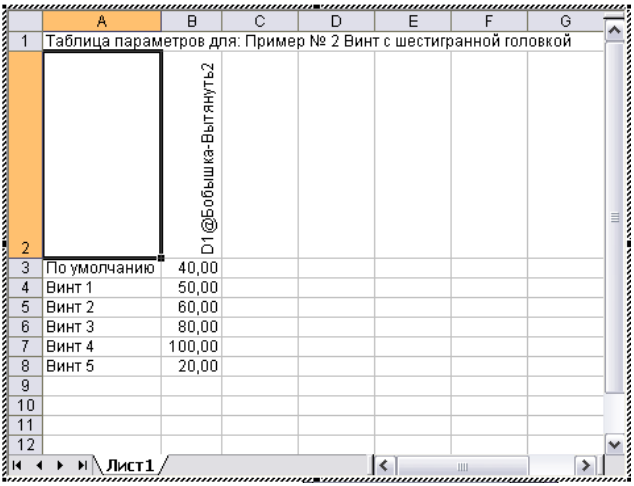


Рисунок 8.30 – Додавання нових конфігурацій деталі

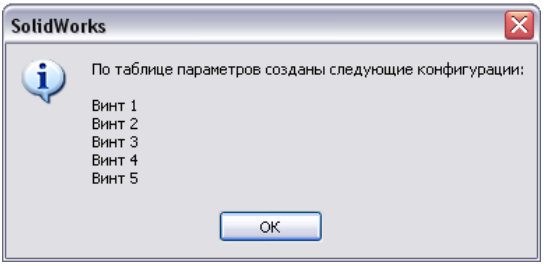


Рисунок 8.31 – Вікно з інформацією про створення конфігурацій деталі

4. Після введення всіх даних, щоб вийти з таблиці параметрів, досить вивести покажчик миші за межі контурів таблиці й клацнути. У результаті програма вийде з режиму Microsoft Excel, і таблиця зникне з екрана. На екрані дисплея відкриється вікно з інформацією про створення конфігурацій деталі (рис. 8.31). Одночасно будуть сформовані конфігурації, параметри яких записані в таблиці.

Для того щоб подивитися створені конфігурації, необхідно в

менеджері конфігурації по черзі активізувати їх подвійним клацанням за назвою конфігурації. Вихідна конфігурація зображена на рис. 8.32, конфігурація **«Гвинт 1»** – на рис. 8.33, **«Гвинт 4»** – на рис. 8.34 і **«Гвинт 5»** – на рис. 8.35.

SolidWorks дозволяє редагувати таблицю параметрів. Для цього потрібно лише перейти в менеджер конфігурації, відкрити папку **«Таблицы»,** клацнути правою кнопкою миші на рядку **«Таблица параметров»** і вибрати в контекстному меню що з'явилося, пункт **«Редактировать таблицу»** (рис. 8.36).

На екрані відобразиться таблиця, у якій можна змінити дані конфігурацій. Крім того, можна вилучити яку-небудь конфігурацію, забравши її ім'я з таблиці параметрів, або додати нову конфігурацію, вписавши її ім'я й розміри в таблицю параметрів.

8.7 Створення конфігурацій за допомогою діалогового вікна

Таблицю в діалоговому вікні **«Изменить конфигурации»** зручно використовувати, якщо деталь або складання **«По умолчанию»** являє собою найбільш повне зображення з максимальною кількістю елементів і розмірів. У ньому можна створити нові конфігурації, вилучити, а також відредагувати існуючі, шляхом зміни розмірів і погашенням непотрібних елементів.

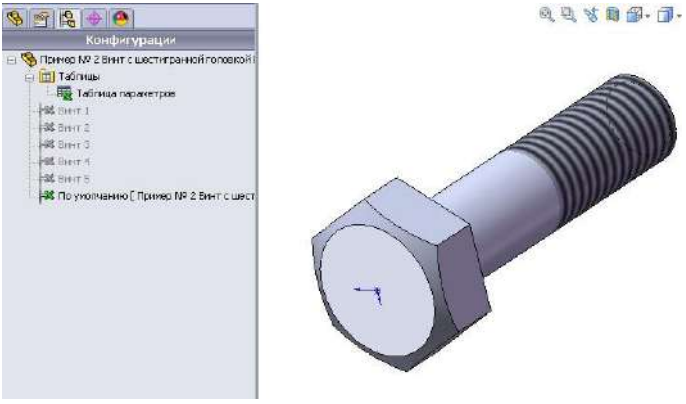


Рисунок 8.32 – Вихідна конфігурація деталі «Гвинт»

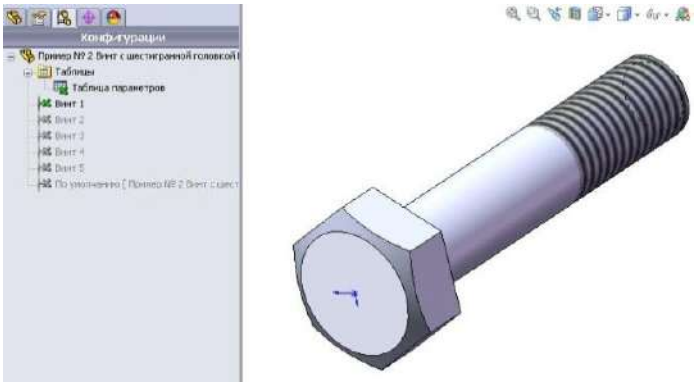


Рисунок 8.33 – Конфігурація деталі «Гвинт 1»

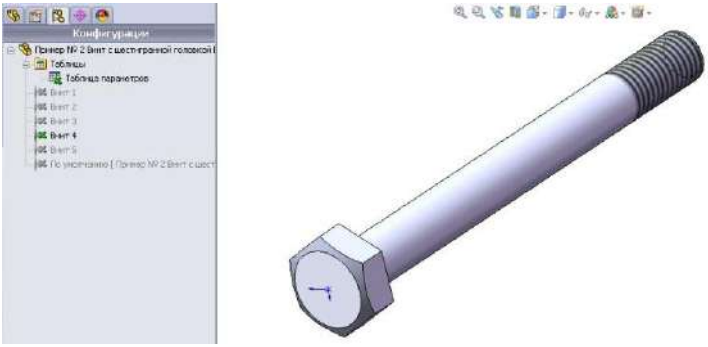


Рисунок 8.34 – Конфігурація деталі «Гвинт 4»

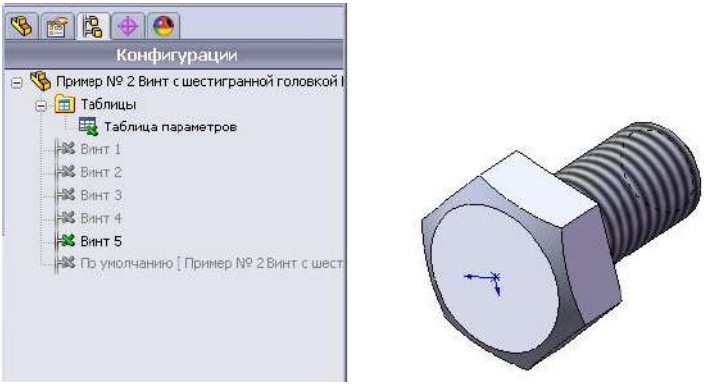


Рисунок 8.35 – Конфігурація деталі «Гвинт 5»

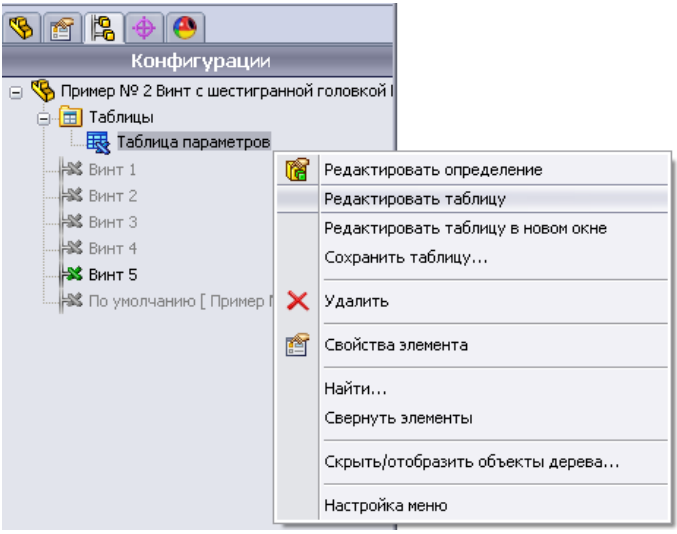


Рисунок 8.36 – Процес редагування таблиці параметрів

8.8 Приклад № 3. Шайба

У якості деталі, для якої будемо створювати й редагувати конфігурації за допомогою діалогового вікна **«Изменить конфигурации»**, використовуємо раніше створену деталь Шайба (рис. 8.37).

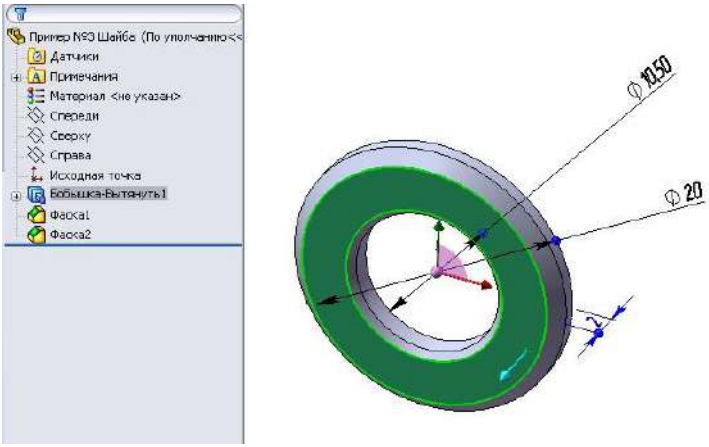


Рисунок 8.37 – Вихідна конфігурація деталі Шайба

Конфігурація деталі за замовчуванням така: зовнішній діаметр шайби 20 мм, внутрішній – 10,5 мм, товщина – 2 мм, зовнішня фаска – 1×45, внутрішня фаска – 0,5×45°.

Створимо нові конфігурації цієї деталі за допомогою діалогового вікна **«Изменить конфигурации»**. Перша конфігурація буде відрізнятися від конфігурації за замовчуванням своїми розмірами.

1. Виділимо в дереві конструювання або в графічній області елемент деталі **«Бобышка-Вытянуть1»** і клацнемо правою кнопкою миші. У результаті на екрані з'явиться контекстне меню (рис. 8.38), виберемо пункт **«Свойства конфигурации»** – відкриється вікно **«Изменить конфигурации»** (рис. 8.39). Для того щоб у таблиці діалогового вікна **«Изменить конфигурации»** відобразилися всі розміри елемента, необхідно нажати кнопку – **«Все параметры»** в нижньому рядку цього вікна.

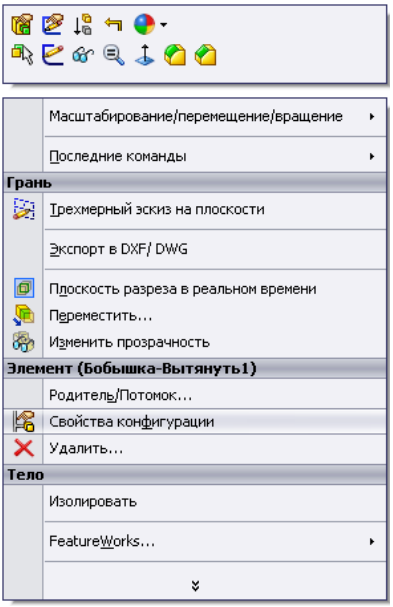


Рисунок 8.38 – Виклик контекстного меню

2. Клацнемо по рядку **<Создает новую конфигурацию>** і введемо ім'я нової конфігурації – **«Шайба-1»**.

У результаті в цій таблиці з'явиться новий рядок **«Шайба-1»**, у якому будуть записані розміри елемента **«Бобышка-Вытянуть1»** (рис. 8.40). Ці розміри на даному етапі не відрізняються від розмірів конфігурації за замовчуванням.

3. Змінимо розміри нової конфігурації, увівши нові значення в таблицю. Нехай зовнішній діаметр шайби буде рівний 28 мм, внутрішній – 15 мм, товщина шайби й фаски свої розміри в новій конфігурації не міняють.

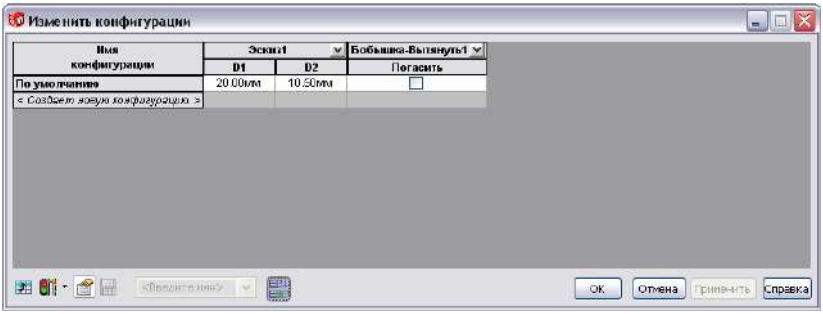


Рисунок 8.39 – Процес зміни конфігурації

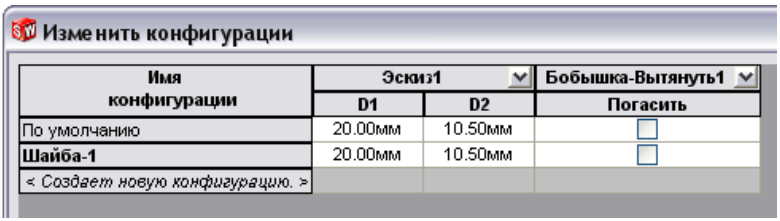


Рисунок 8.40 – Записані розміри елемента

4. Натиснемо кнопку для того, щоб закінчити створення нової конфігурації. У результаті на екрані з'явиться зображення створеної конфігурації (рис. 8.41).

Тепер створимо нову конфігурацію, яка буде відрізнятися від конфігурації **«Шайба-1»** відсутністю фасок, тобто розглянемо спосіб погашення елементів деталі.

1. Спочатку виділимо в дереві конструювання або в графічній області елементи **«Фаска1»** і **«Фаска2»**. При виділенні елементів необхідно втримувати натиснутої клавішу **<Ctrl>**.

2. У контекстному меню правої кнопки миші в розділі **«Элементы»** виберемо команду – **«Свойства конфигурации»**. У результаті на екрані відкриється діалогове вікно **«Изменить конфигурации»** (рис. 8.42).

3. Створимо нову конфігурацію, для цього активізуємо рядок **<Создает новую конфигурацию>** у таблиці й введемо ім'я нової конфігурації – **«Шайба-2»** (рис. 8.42). У рядку конфігурації **«Шайба-2»** поставимо прапорці **«Фаска1»** і **«Фаска2»** – у новій конфігурації дані елементи будуть погашені (рис. 8.42).

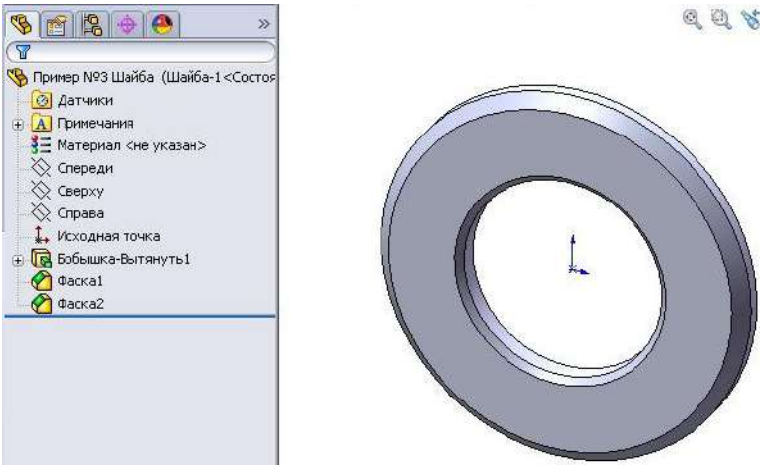


Рисунок 8.41 – Зображення створеної конфігурації

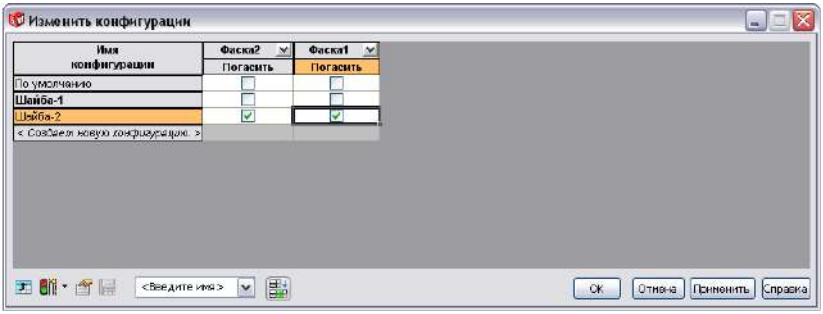


Рисунок 8.42 – Діалогове вікно «Изменить конфигурации»

4. Натиснемо кнопку **ОК** для того, щоб закінчити створення нової конфігурації без фасок (рис. 8.43).

Таким чином, для деталі Шайба було створено дві конфігурації, аналогічні конфігураціям, створюваним вручну. Використовувати діалогове вікно **«Изменить конфигурации»** можна й для редагування раніше створених конфігурацій.

1. Змінимо розміри конфігурації шайби за замовчуванням за допомогою діалогового вікна **«Изменить конфигурации».** Клацнемо двічі елемент **«Бобышка-Вытянуть1»** у графічній області, щоб з'явилися всі розміри цього елемента (рис. 8.44).

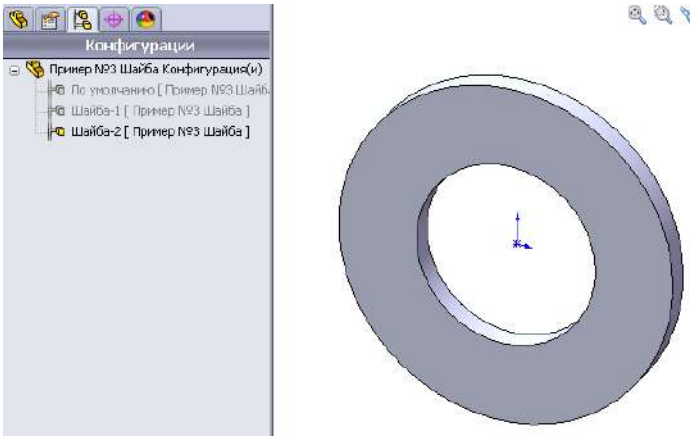


Рисунок 8.43 – Створена нова конфігурація без фасок

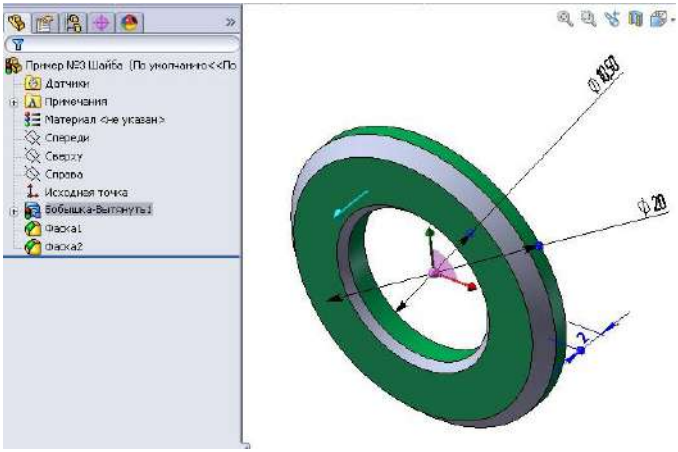


Рисунок 8.44 – Розміри конфігурації
шайби за замовчуванням

2. Виділимо курсором розмір глибини витягування елемента **«Бобышка-Вытянуть1»** – 2 мм і клацнемо правою кнопкою миші, щоб відкрилося контекстне меню зі списком команд (рис. 8.38). У цьому вікні виберемо команду – **«Свойства конфигурации»**. У результаті на екрані відкриється діалогове вікно **«Изменить конфигурации»** (рис. 8.45).

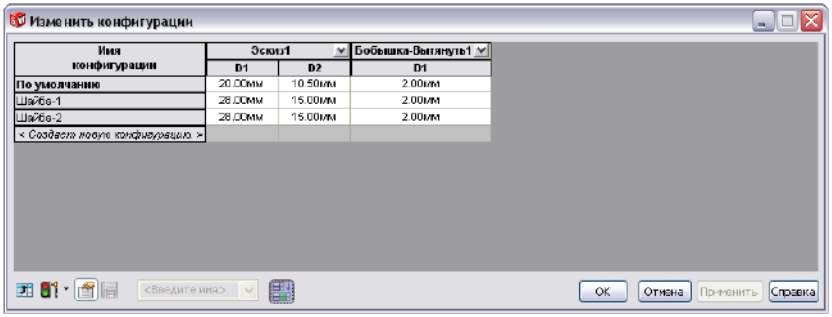


Рисунок 8.45 – Діалогове вікно «Изменить конфигурации»

Перед відкриттям вікна **«Изменить конфигурации»** необхідно активізувати розмір, щоб глибина витягування елемента **«Бобышка-Вытянуть1»** гарантовано ввійшла в якості параметра, в таблицю вікна **«Изменить конфигурации».**

3. У таблиці вкажемо нові розміри, як на рис. 8.46.

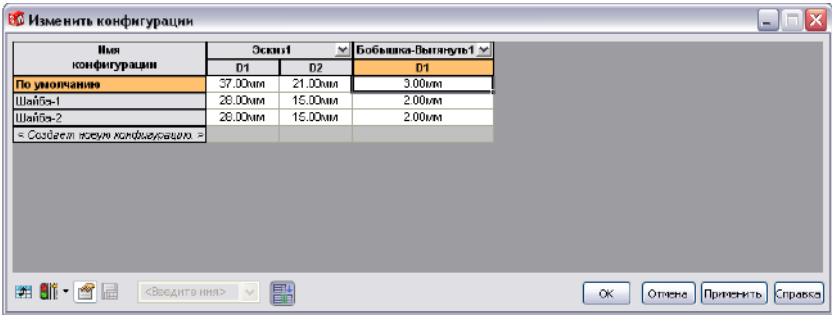


Рисунок 8.46 – Нові розміри конфігурації шайби

4. Натиснемо кнопку **ОК** для того, щоб закінчити редагування конфігурації (рис. 8.47). Аналогічним чином можна змінювати розміри й інших елементів деталі з використанням діалогового вікна **«Изменить конфигурации».**

У даній лекції були розглянуті основні прийоми побудови конфігурацій деталі. Можливість створення конфігурацій в SolidWorks дає безліч переваг, як при побудові складань, так і при оформленні комплексних креслень.

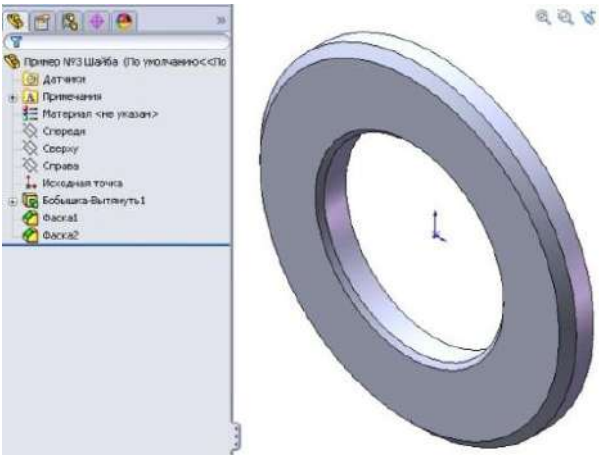


Рисунок 8.47 – Нова конфігурація шайби

Питання для самоперевірки

1. Що таке конфігурація деталі?
2. Як створити нову конфігурацію деталі?
3. Як відредагувати конфігурацію деталі?
4. Розкажіть як створити конфігурацію деталі за допомогою таблиці параметрів?
5. Як видалити конфігурацію деталі?
6. Які функції виконує «Менеджер конфигурации»?
7. Розкажіть алгоритм створення конфігурації деталі вручну.
8. Яке призначення діалогового вікна «Изменить конфигурации»?
9. Куди треба заносити дані нової конфігурації деталі?
10. Що таке «Таблиця параметрів»?
11. Розкажіть алгоритм створення конфігурації деталі за допомогою діалогового вікна.
12. Як відредагувати конфігурацію деталі за допомогою діалогового вікна?
13. Які недоліки створення конфігурації деталі вручну?
14. Які переваги створення конфігурації деталі за допомогою таблиці параметрів?
15. Які дані крім обов’язкових параметрів можна додати в створювану конфігурацію деталі?

9 СТВОРЕННЯ ДЕТАЛЕЙ З ЛИСТОВОГО МАТЕРІАЛУ

На даній лекції розглянемо основні принципи й способи побудови деталей з листового матеріалу в SolidWorks. Звичайне створення конструкції з листових матеріалів супроводжується побудовою її розгорнення (плоского стану деталі), до того ж і деталь, і її розгорнення, згідно ЄСКД, повинні розташовуватися на кресленні деталі – усі ці вимоги легко реалізуються при проектуванні деталей з листових матеріалів в SolidWorks.

9.1 Основні способи побудови деталей з листового матеріалу

В SolidWorks існує два основні способи створення деталей з листового матеріалу:

- проектування деталей безпосередньо з листового матеріалу;
- конструювання тривимірної деталі як твердого тіла, а потім перетворення її в деталь із листового матеріалу.

Перед проектуванням деталей з листового матеріалу необхідно активізувати панель інструментів **«Листовой металл в меню Инструменты | Настройка | Панели инструментов»**, установивши прапорець **«Листовой металл».**

9.2 Створення деталі з листового матеріалу

Отже розглянемо два способи побудови деталей з листового матеріалу:

- у першому способі основою для побудови деталі є її розгорнення, тобто деталь створюється із плоского стану;
- у другому способі деталь відразу будується в зігнутому стані як деталь із листового матеріалу.

Розглянемо ці способи детально, один за одним.

9.2.1 Створення деталей із плоского стану

Такий спосіб створення листового матеріалу зручно використовувати, коли основною є конфігурація розгорнення, і саме її розміри найбільш важливі при конструюванні деталі.

На основі ескізу розгорнення будується тверде тіло –

твердотільне розгорнення. У загальному випадку це тіло має вигляд фігурного тривимірного листа. Потім на плоскій поверхні твердотільного розгорнення створюється ескіз, у якому рисуються лінії згину. При виході з ескізу, розгорнення згинається згідно із цими лініями. Розглянемо кроки побудови деталі з листового матеріалу докладніше.

1. Виконаємо ескіз розгорнення й витягнемо його на товщину листа.

2. Створене твердотільне розгорнення необхідно перетворити в деталь із листового металу, для цього потрібно нажати кнопку – **«Сгибы»** на панелі інструментів **«Листовой металл»** або вибрати команду меню: **«Вставка | Листовой металл | Сгибы...»** (рис. 9.1).

3. На екрані в розділі менеджера властивостей з'явиться вікно **«Сгибы»**, у якому необхідно вказати основні параметри згинів (рис. 9.2).

4. У розділі **«Настройки сгиба»** необхідно вказати зафіксовану грань або крайку в полі й радіус згину. У розглянутому способі побудови зафіксованою гранню є плоска грань розгорнення. Заданий радіус згину буде використовуватися при побудові згинів за замовчуванням. Якщо необхідно побудувати згин з іншим радіусом, змінити значення однократно можна тільки після оформлення згинів.

5. У розділі **«Допуск сгиба»** (рис. 9.3) виберемо тип допуску згину й величину. По своїй суті, допуск згину – це довжина листового матеріалу, яка припадає на радіус згину (рис. 9.4).

На вибір користувача пропонується кілька типів завдання допусків згинів:

- таблиця згинів – створюється на підставі значень товщини листа й кута згину. Таблиця згинів для виконання операцій з листовим металом перебуває в каталозі установки: \lang\english\Sheetmetal Bend Tables\ sample.btl. При необхідності таблицю згинів можна редагувати;
- коефіцієнт K – обчислюється по формулі K = p / T, де p – відстань від внутрішньої грані до нейтрального листа, T – товщина листа;

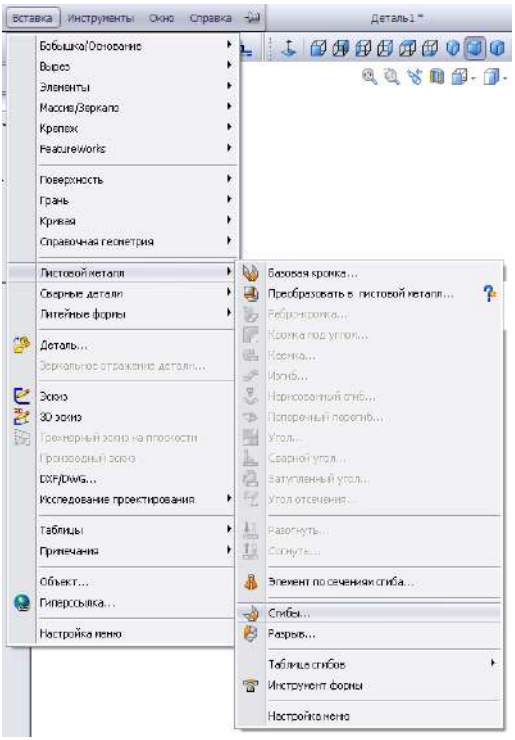


Рисунок 9.1 – Вибір команди «Сгибы»

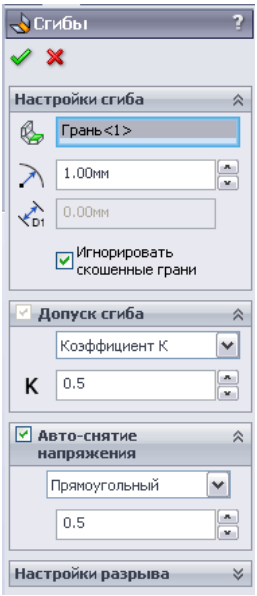


Рисунок 9.2 – Основні параметри згинів

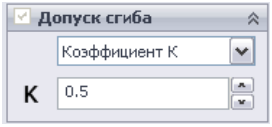


Рисунок 9.3 – Вибір типу допуску згину й величини

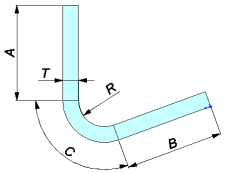


Рисунок 9.4 – Радіус згину

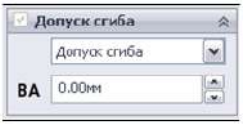


Рисунок 9.5 – Необхідне значення допуску згину

- допуск згину – вводиться необхідне значення в поле BA (рис. 9.5);
- обчислення згину – величина зменшення згину обчислюється по формулі (рис. 9.6): BD = 2xOS – BA;

- розрахунки згину здійснюється за допомогою таблиць. У цих таблицях можна визначати різні кутові діапазони, задавати рівняння для цих діапазонів і розраховувати розгорнуту довжину деталі. За замовчуванням таблиці розрахунків згинів знаходяться у каталозі установки програми: \lang\english\Sheetmetal Bend Tables. Таких таблиць може бути декілька, і створюються вони користувачем. При виборі цього типу допуску необхідно вказати ще й файл із таблицею.

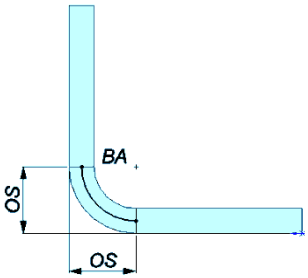


Рисунок 9.6 – Обчислення згину

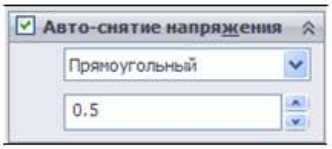


Рисунок 9.7 – Значення параметра «Пропорция смещения»

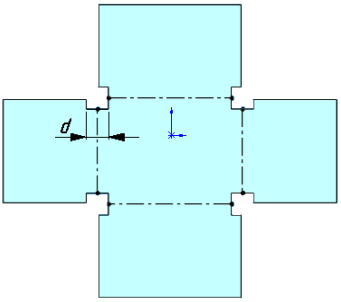


Рисунок 9.8 – Визначення ширини вирізу для зняття напруг

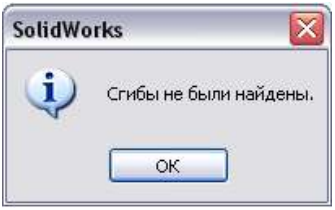


Рисунок 9.9 – Повідомлення що згини не були знайдені

6. У вікні **«Сгибы»** при необхідності можна вибрати створення в автоматичному режимі вирізу для зняття напруги в кутах згинів. Для цього потрібно поставити прапорець **«Авто-снятие напряжения»**, а потім вибрати тип вирізу. Якщо вибрати **«Прямоугольный»** або **«Скругленный»**, то необхідно вказати

значення параметра **«Пропорция смещения»** (рис. 9.7). Ширина вирізу для зняття напруг визначається по формулі d = ПС×Т, де ПС – пропорція зсуву, Т – товщина листа (рис. 9.8).

7. Після того як задані настроювання згину, допуск згину й спосіб зняття напруг, необхідно нажати кнопку **ОК**. На екрані з'явиться вікно з повідомленням, що згини не були знайдені (рис. 9.9), на нього потрібно відповісти **ОК.**

У результаті ви повернетеся до вихідного плоского розгорнення, але дерево конструювання перетерпить деякі зміни. У ньому з'являться нові елементи: **«Список вырезов, Листовой металл1, Плоское состояние1, Согнутое состояние1»** і в погашеному стані елемент **«Развертка1»** (рис. 9.10).

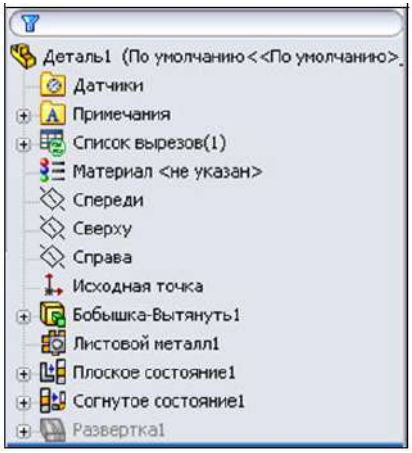


Рисунок 9.10 – Нові елементи у дереві конструювання

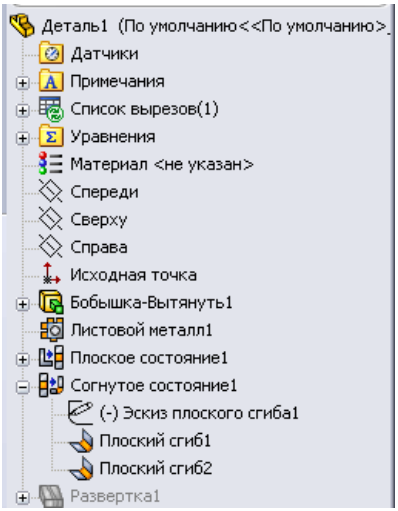


Рисунок 9.11 – Елементи згинів

8. Далі слід вибрати: **«Согнутое состояние1 | Эскиз плоского сгиба1 | Редактировать эскиз»**. Ви ввійдете в режим редагування ескізу й одержите можливість малювання ліній згину. Після того як будуть намальовані лінії згину, необхідно вийти з режиму редагування ескізу.

На деталі з'являться згини, а в дереві конструювання – елементи: **«Плоский сгиб1, Плоский сгиб2»** і далі, по кількості

ліній згинів (рис. 9.11). За замовчуванням згини виконуються під кутом 90° і радіусом, який був зазначений раніше у вікні **«Сгибы»**.

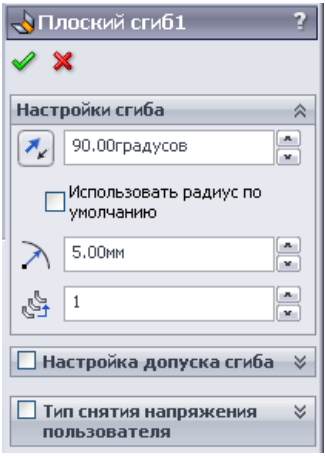


Рисунок 9.12 – Вікно параметрів згину

9. Коли деталь із листового металу вже набула зігнутого стану, можна редагувати радіуси й напрямок (кут) згину. Для цього необхідно вибрати відповідний плоский згин у дереві конструювання, клацнути правою кнопкою миші на назві цього згину й вибрати команду – **«Редактировать определение»**. У вікні **«Плоский сгиб»** можна змінити радіус згину, його кут і напрямок за допомогою кнопки – **«Реверс»** (рис. 9.12).

Даний спосіб проектування деталі зручний тим, що можна спочатку створити розгорнення об'єкта, а потім його зігнути на власний розсуд. Цей спосіб проектування деталей з листового металу знайшов досить широке застосування.

Однак SolidWorks дозволяє проектувати деталі й у зворотному порядку, тобто спочатку створити об'ємну деталь із листового металу, а потім її розгорнення.

9.2.2 Створення деталей з листового металу в зігнутому стані

Такий спосіб проектування використовується, коли відомо, як повинна виглядати деталь у зігнутому стані. Розгорнення в цьому випадку має другорядне значення.

Незалежно від зовнішнього вигляду деталі її побудова починається зі створення ескізу базової крайки. Цей ескіз являє собою певний контур, який перетворюється в базову крайку деталі після натискання кнопки – **«Базовая кромка/выступ»**.

При виконанні цієї команди деталь позначається як деталь із листового металу, при цьому у вікні **«Базовая кромка»** задається товщина листа, допуск згину й спосіб зняття напруг (рис. 9.13).

Базова крайка повинна бути першим елементом при створенні нової деталі з листового металу. До того ж у деталі з листового металу в SolidWorks може бути тільки один елемент, позначений як базова крайка (рис. 9.13).

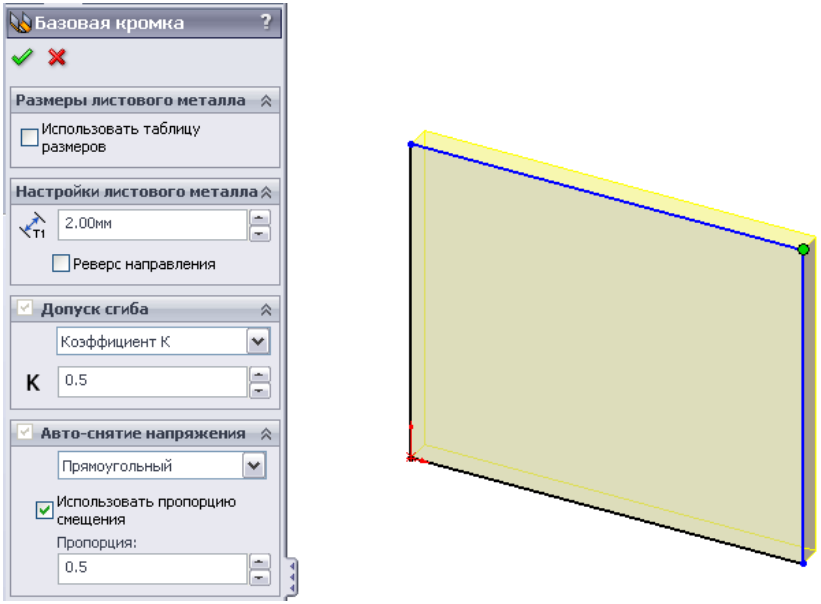


Рисунок 9.13 – Створення базової крайки

Після виконання цієї команди в дереві конструювання з'являються нові елементи: **«Список вырезов(1), Листовой металл1, Базовая кромка1 и Развертка1»** (рис. 9.14).

Тепер на основі базової крайки можна побудувати бічні крайки різної форми. Для цього використовуються наступні команди:

- **«Ребро-кромка»** – це елемент деталі з листового металу. При побудові ребра-крайки за одну операцію поєднуються згин і виступ (рис. 9.15). Для побудови ребра-крайки необхідно вказати радіуси згинів, довжину ребер, а також одну або кілька базових крайок деталі;
- команда **«Кромка под углом»** активізується однойменною кнопкою. На відміну від команди **«Ребро-**

кромка», крайка під кутом може мати криволінійну форму (рис. 9.16). Із цієї причини обов'язково будується ескіз крайки, де вимальовується її профіль;

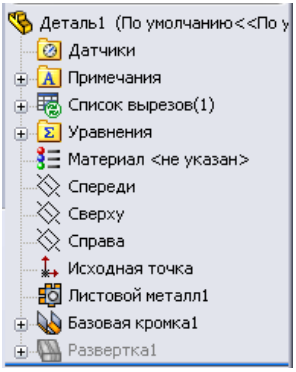


Рисунок 9.14 – Нові елементи

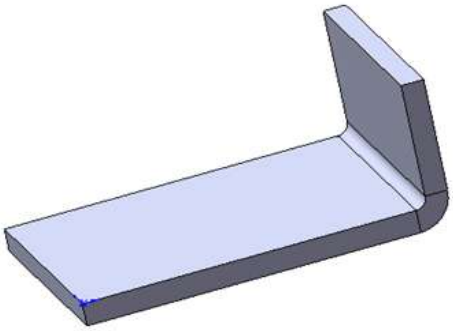


Рисунок 9.15 – Поєднуються згин і виступ

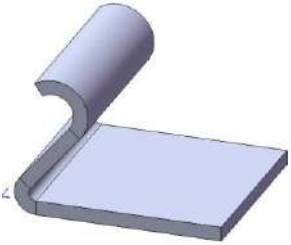


Рисунок 9.16 – Крайка під кутом

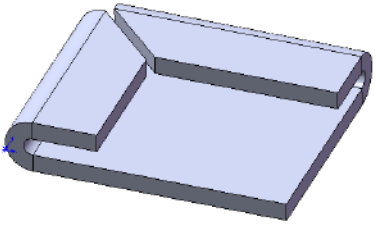


Рисунок 9.17 – Кілька однакових облямівок від різних крайок

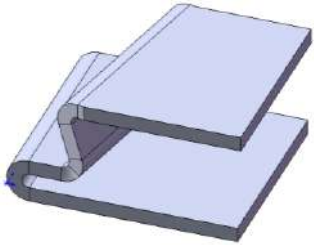


Рисунок 9.18 – Два вигини

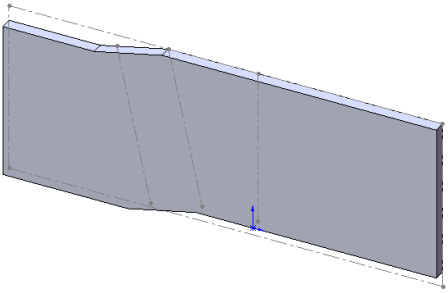


Рисунок 9.19 – Розгорнення деталі

- команда – **«Каемка»** дозволяє побудувати прямолінійну бічну сторону деталі, яка буде розташовуватися паралельно основі. Одночасно можна побудувати кілька однакових облямівок від різних крайок (рис. 9.17). Для цього необхідно вказати їхню довжину, відстань від облямівок до базової крайки й зазор між ними;
- команда – **«Изгиб»** створює два вигини на деякій крайці деталі, при цьому відбувається додавання матеріалу в деталь із листового металу на величину вигину (рис. 9.18). При виконанні цієї команди потрібно створити ескіз вигину у вигляді однієї лінії, а також указати радіус згину, кут згину й величину зсуву (величину вигину).

Для того щоб побудувати розгорнення деталі з листового металу, необхідно в дереві конструювання вибрати рядок **«Развертка1»**, активізувати контекстне меню натисканням правої кнопки миші й клацнути по кнопці меню – **«Высветить».**

Уся побудована раніше деталь розвернеться в площині, де розташована основа. У результаті ви побачите розгорнення деталі, на якому штрихпунктиром будуть нанесені лінії згину (рис. 9.19).

9.3 Перетворення твердого тіла в деталь із листового матеріалу

В SolidWorks існує можливість створити твердотільну деталь, а потім перетворити її в деталь із листового металу. Розглянемо етапи побудови деталі з листового металу цим способом.

1. Спочатку необхідно створити тверде тіло. Звичайно така деталь має вигляд багатокутної призми.

2. Потім цю деталь потрібно перетворити в тонкостінну деталь, використовуючи команду – **«Оболочка»** на панелі інструментів **«Элементы».**

3. Наступний етап – створення розрізів за допомогою команди – **«Разрыв»** панелі інструментів **«Листовой металл»**. У розділі **«Настройки разрыва»** вказуються ті крайки, уздовж яких необхідно зробити розрізи, а також величина зазору.

9. Потім активізується команда – **«Сгибы»** панелі інструментів **«Листовой металл»**, де вказуються радіус згину й зафіксована крайка або грань, по периметру якої пройдуть лінії

згину.

У підсумку призматична твердотільна деталь перетвориться в деталь із листового металу. На цій деталі будуть зображені згини, які можна розгорнути.

Для одержання повного розгорнення деталі потрібно лише нажати кнопку – **«Развертка»**. Для повернення деталі в колишній (зігнутий) стан – достатньо ще раз нажати кнопку **«Развертка».**

Щоб розігнути лише деякі грані деталі, слід скористатися кнопкою – **«Разогнуть»** на панелі інструментів **«Листовой металл»**. На екрані з'явиться вікно **«Разогнуть».**

У поле **«Зафиксированная грань»** слід указати ту грань, положення якої в просторі залишиться незмінним, а в поле **«Разогнуть»** необхідно вказати ті згини, які ви збираєтеся розігнути. У результаті одержите неповне розгорнення листової деталі.

Аналогічно, щоб зігнути лише деякі грані, слід скористатися командою – **«Согнуть»**. У вікні, що з'явилося, **«Согнуть»** необхідно вказати зафіксовану грань, а також згини, які необхідно зігнути.

Описаним способом можна створювати деталі з листового металу на основі твердого тіла не тільки в останній версії SolidWorks, але й у попередніх версіях цієї програми. Однак в SolidWorks з'явилася нова команда, яка дозволяє діяти більш простим способом.

Для початку необхідно побудувати деталь. Потім досить скористатися командою – **«Преобразовать в листовой металл»** панелі інструментів **«Листовой металл»**. Можна також скористатися командою меню **«Вставка | Листовой металл | Преобразовать в листовой металл...».**

У вікні менеджера властивостей вказуються зафіксована крайка (грань), товщина листа, крайки й радіуси згинів, а також розриви. У результаті за допомогою лише однієї команди створюється деталь із листового металу.

Ми розглянули поетапно загальні принципи побудови деталей з листового металу, які використовуються в SolidWorks, тепер перейдемо до більш докладного їхнього розгляду на конкретних прикладах.

9.4 Приклади деталей з листового матеріалу

Отже далі ми розглянемо конкретні приклади побудови деталей з листового матеріалу, а саме в першому прикладі розглянемо побудову деталі на основі її розгорнення (створення деталі із плоского стану), а в другому прикладі відразу побудуємо деталь у зігнутому стані.

Приклад № 1. Скоба.

Побудуємо деталь Скоба із листового матеріалу на основі її розгорнення.

1. Спочатку створимо ескіз розгорнення. Оскільки деталь є симетричною по двом осям, побудуємо тільки чверть ескізу (рис. 9.20).

2. Тепер, використовуючи команду – **«Зеркально отразить объекты»** й намалювавши осьові лінії, побудуємо ескіз розгорнення (рис. 9.21).

3. Витягнемо цей ескіз на 2 мм, використовуючи команду – **«Вытянутая бобышка/основание»**. У результаті одержимо твердотільне розгорнення деталі Скоба (рис. 9.22).

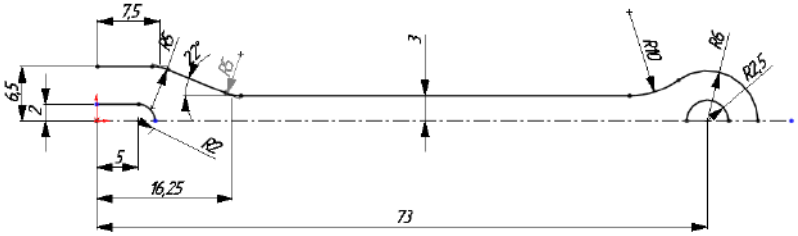


Рисунок 9.20 – Чверть ескізу деталі Скоба

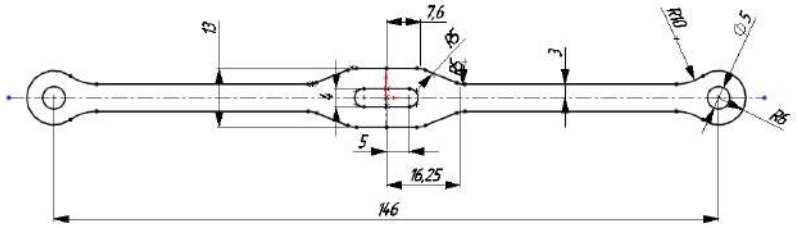


Рисунок 9.21 – Ескіз розгорнення деталі Скоба

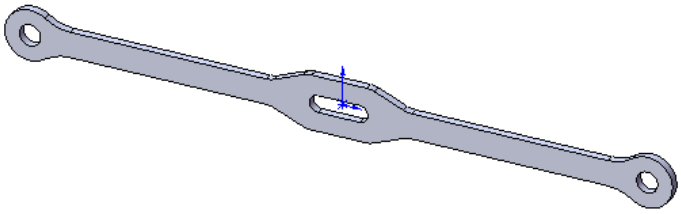


Рисунок 9.22 – Твердотільне
розгорнення деталі Скоба

4. Перетворимо це розгорнення в деталь із листового металу: натиснемо кнопку – **«Сгибы»** або виберемо в меню: **«Вставка | Листовой металл | Сгибы...»**. Основні параметри – Грань1 і радіус згину 5 мм (рис. 9.23). Тобто мається на увазі та грань, на якій будуть намальовані лінії згину – плоска грань розгорнення.

5. Натиснемо кнопку **ОК**, щоб закінчити перетворення деталі. На екрані з'явиться повідомлення – **«Сгибы не были найдены»**, на що також потрібно відповісти **ОК**. У результаті ви повернетеся до вихідного (плоского) стану деталі, але в дереві конструювання з'являться нові елементи: **«Листовой металл1, Плоское состояние1, Согнутое состояние1 и Развертка1»** (рис. 9.24).



Рисунок 9.23 – Завдання основних
параметрів згинів

6. Далі виберемо в дереві конструювання рядок **«Согнутое состояние1 | Эскиз плоского сгиба1»**, натисканням правої

кнопки миші на цьому рядку виведемо на екран контекстне меню й активізуємо команду – **«Редактировать эскиз»**.

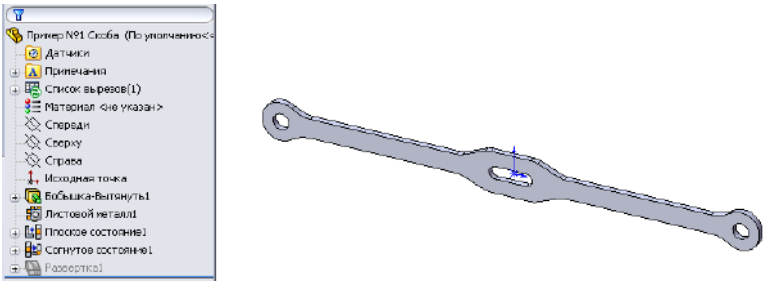


Рисунок 9.24 – Додані нові
елементи в дереві конструювання

У цьому випадку редагування ескізу полягає в малюванні ліній згину. При малюванні слід пам'ятати, що початок і кінець лінії згину повинні перебувати в просторі, а не на листовому металі, і лінії згину не повинні перетинатися між собою (рис. 9.25).

7. Вийдемо з ескізу. У результаті на деталі з'являться згини, а в дереві конструювання – елементи **«Плоский сгиб1, Плоский сгиб2 и Плоский сгиб3»** (рис. 9.26). За замовчуванням згини виконуються під кутом 90° і радіусом 5 мм.

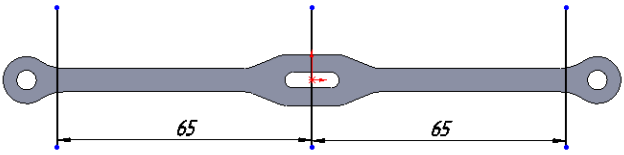


Рисунок 9.25 – Редагування ескізу деталі Скоба

8. Тепер, коли деталь вже в зігнутому стані, необхідно відредагувати радіуси, кути й напрямок створених згинів. Для цього в дереві конструювання виберемо спочатку **«Плоский сгиб1»**, клацнемо правою кнопкою миші й активізуємо в контекстному меню команду – **«Редактировать определение»**.

Деталь розігнеться, і на екрані з'явиться панель **«Плоский сгиб1»**, де можна змінити радіус згину, його кут і напрямок, як на рис. 9.27.



Рисунок 9.26 – Згини
деталі Скоба

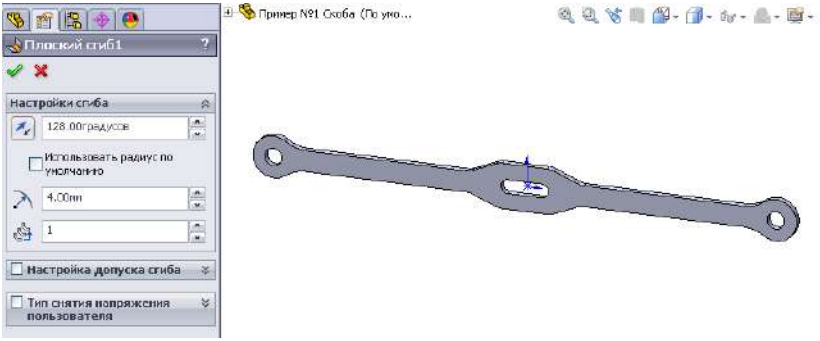


Рисунок 9.27 – Зміна радіусу
згину, його кута і напрямку

9. Закінчивши настроювання згину, натиснемо **ОК** – і на екрані з’явиться деталь зі зміненим згином (рис. 9.28).

10. Аналогічним образом поміняємо настроювання **«Плоский сгиб2»**: змінимо кут згину на 26, радіус згину залишимо за замовчуванням 5 мм (рис. 9.29). Після натискання кнопки **ОК** деталь змінить свій вид (рис. 9.30).

12. Настроювання **«Плоского сгиба3»** у точності збігаються з настроюваннями **«Плоского сгиба2»**. У результаті одержимо деталь Скоба в остаточному вигляді (рис. 9.31).

У такий спосіб була побудована деталь із листового металу на основі розгорнення. Проектування деталі у зворотному порядку ми розглянемо докладніше на прикладі деталі Перегородка.



Рисунок 9.28 – Зміна параметрів згину

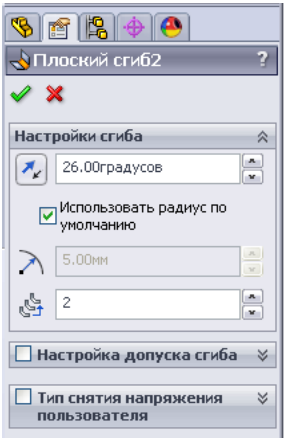


Рисунок 9.29 – Процес зміни параметрів

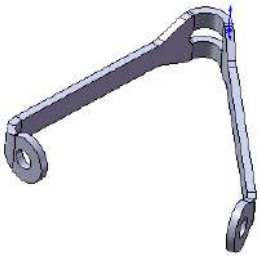
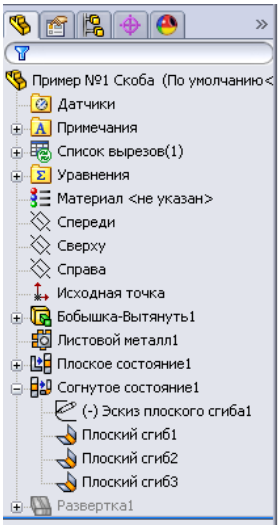


Рисунок 9.30 – Нові параметри згину



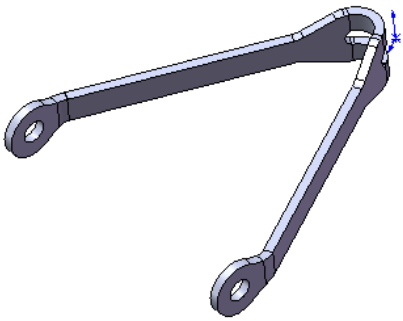


Рисунок 9.31 – Деталь Скоба в остаточному вигляді

Приклад № 2. Перегородка.

1. Відкриємо нову деталь, увійдемо в ескіз і намалюємо контур основи перегородки. Основа має вигляд прямокутника розміром 66х25 мм (рис. 9.32).

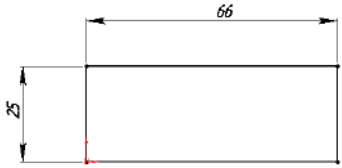


Рисунок 9.32 – Контур основи перегородки

2. На основі цього ескізу створимо листовий метал, для чого активізуємо кнопку – **«Базовая кромка/выступ»** на панелі інструментів **«Листовой металл»**. У вікні настроювань **«Базовая кромка»**, у розділі **«Настройки листового металла»**, необхідно вказати товщину листового металу – 0,8 мм (рис. 9.33).

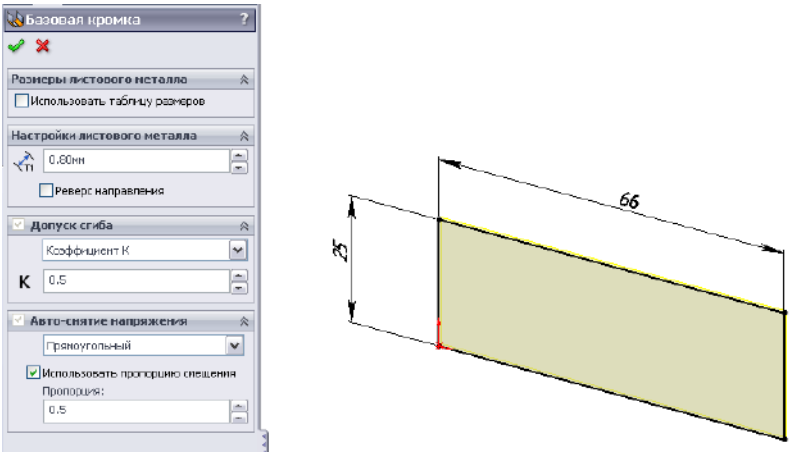


Рисунок 9.33 – Вибір товщини
листового металу

3. Натиснемо кнопку **OK**, на екрані з’явиться основа перегородки – лист товщиною 0,8 мм, а в дереві конструювання – нові елементи: **«Листовой металл1, Базовая кромка1 и Развертка1»**.

4. Побудуємо бічну стінку перегородки. Для цього активізуємо команду – **«Кромка под углом»** на панелі інструментів **«Листовой металл»**. Укажемо базову крайку, під кутом до якої створимо бічну стінку. Після цього буде автоматично створена додаткова площина, перпендикулярна площині основи, і програма відкриє в ній ескіз (рис. 9.34).

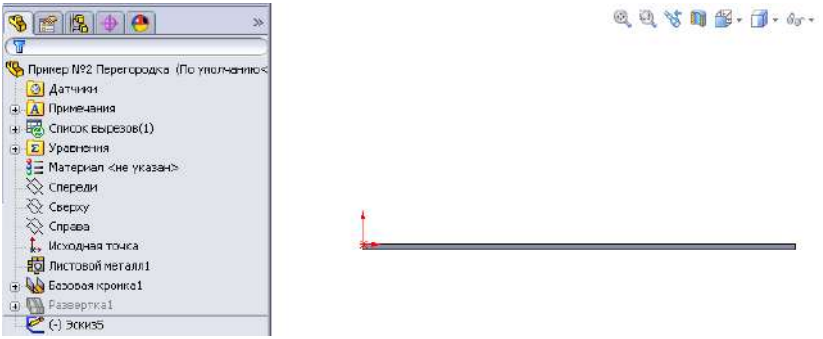


Рисунок 9.34 – Створена
додаткова площина

5. На цьому ескізі зобразимо вид (профіль) бічної стінки. Ця стінка має прямолінійний контур довжиною 6 мм і розташована під кутом 75° до основи. Намалюємо лінію з такими параметрами (рис. 9.35). У загальному випадку ескіз стінки може містити одну або кілька ліній, а також дуги.

6. Закінчимо побудову контуру крайки, вийшовши з ескізу. Після цього автоматично відкриється вікно **«Кромка под углом».** У цьому вікні необхідно заповнити розділи **«Настройки кромки под углом, Начать/Закончить смещение и Допуск сгиба пользователя»** (рис. 9.36).

У розділі **«Настройки кромки под углом»** зазначене ім’я крайки, уздовж якої створюється нова крайка під кутом – **Кромка<1>**, радіус згину, якої у даній деталі складе 1 мм, і розташування крайки щодо краю основи (**«Сгиб снаружи»**). У розділі **«Начать/Закончить смещение»** можна вказати величину зсуву крайки щодо країв, тим самим звузивши її ширину. Товщина листа бічної стінки автоматично вибирається рівною товщині листа основи, і змінити її неможливо.

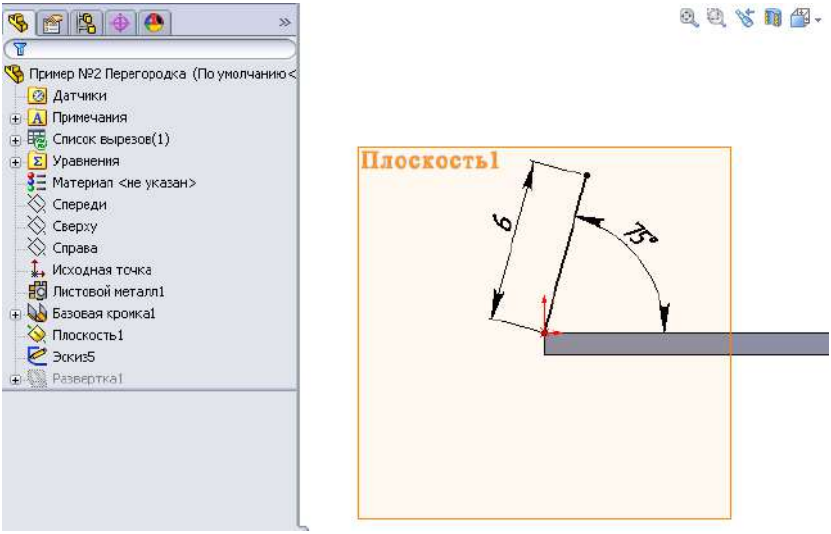


Рисунок 9.35 – Створюємо вид (профіль) бічної стінки

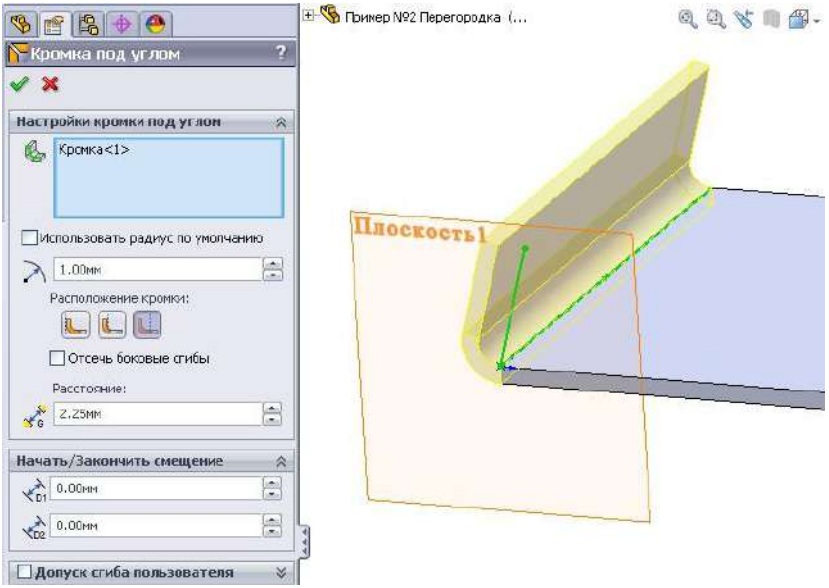


Рисунок 9.36 – Процес побудови бічної стінки

7. Закінчимо побудову бічної стінки, нажавши кнопку **OK.** Побудуємо наступну крайку, використовуючи команду – **«Ребро-кромка»** (рис. 9.37).

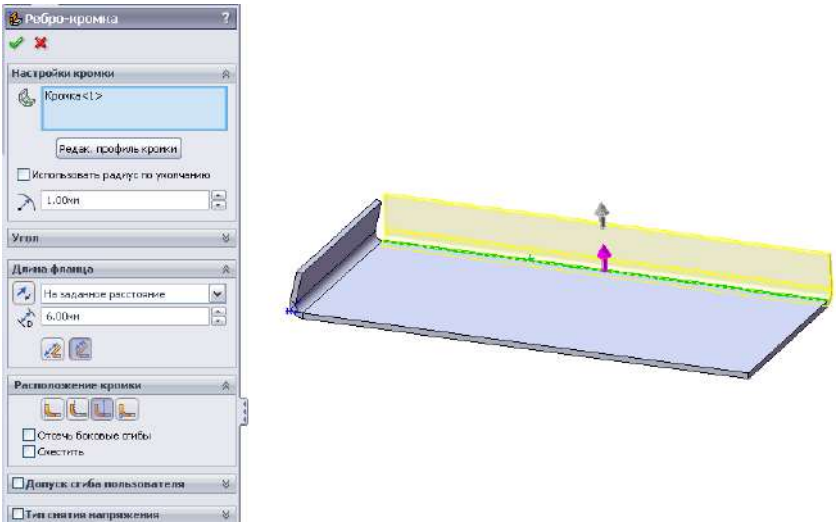


Рисунок 9.37 – Побудова наступної крайки

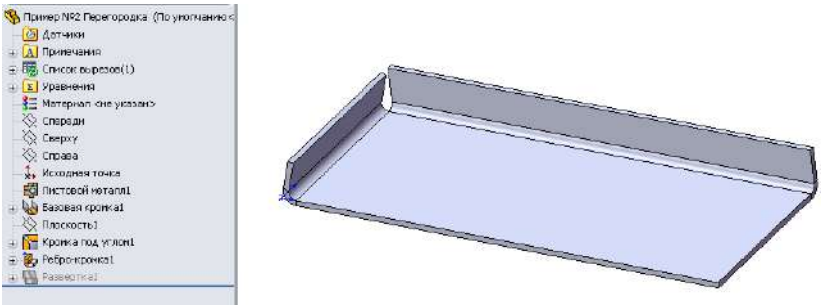


Рисунок 9.38 – Додано новий
елемент «Ребро-кромка1»

8. У розділі **«Настройки кромки»** вкажемо крайку, від якої буде відбуватися побудова бічної стінки, радіус згину 1 мм і кут 90°. У розділі **«Длина фланца»** позначимо довжину крайки 6 мм і вкажемо, що довжина відміряється без обліку згину –

«Виртуальная резкость внутри». Відзначимо також розташування крайки – **«Сгиб снаружи»**. Закінчимо побудову ребра-крайки натисканням кнопки **OK.** При цьому в дереві конструювання з'явиться новий рядок: **«Ребро-кромка1»** (рис. 9.38).

9. Аналогічним чином побудуємо ще одне ребро-крайку, тільки під кутом 75° (рис. 9.39).

10. Закінчимо побудову ребер, нажавши кнопку **OK,** у результаті одержимо зігнутий стан деталі Перегородка (рис. 9.40).

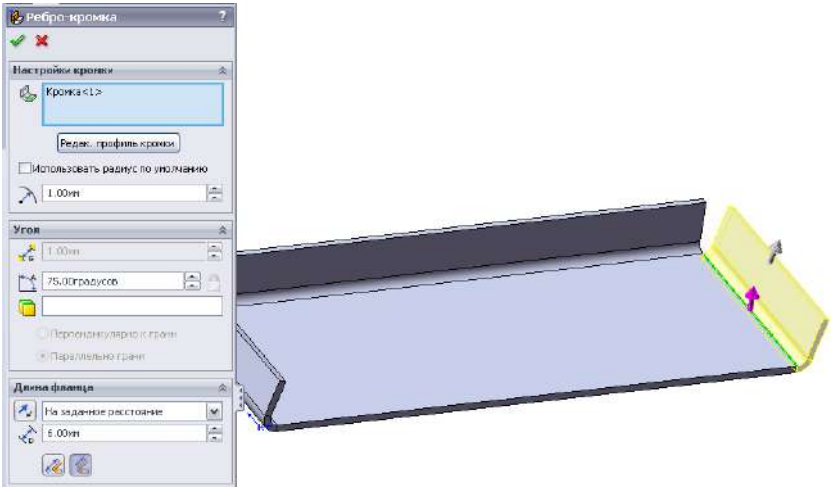


Рисунок 9.39 – Побудова ребра-крайки
під кутом 75°

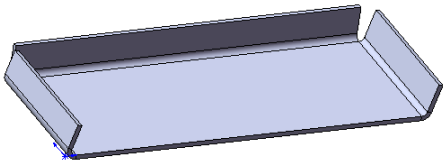


Рисунок 9.40 – Зігнутий стан
деталі Перегородка

11. Тепер побудуємо виріз на дні перегородки. Для цього відкриємо ескіз на площині базової крайки й намалюємо ескіз

вирізу (рис. 9.41). Потім оформимо виріз, активізувавши кнопку – **«Вытянутый вырез»** на панелі інструментів **«Элементы»**. Тим самим закінчимо побудову деталі Перегородка в зігнутому стані (рис. 9.42).

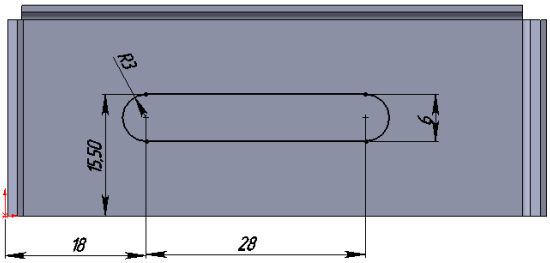


Рисунок 9.41 – Ескіз вирізу на дні перегородки

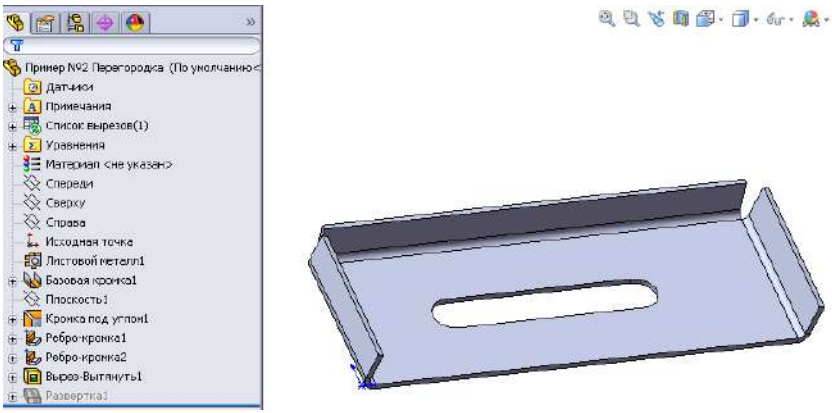


Рисунок 9.42 – Деталь Перегородка
в зігнутому стані

12. Після того як побудована деталь у зігнутому стані, можна створити її розгорнення. Для цього в дереві конструювання виберемо рядок **«Развертка1»**, активізуємо контекстне меню, нажавши праву кнопки миші, і виберемо команду меню – **«Высветить»**. Можна також побачити розгорнення деталі, активізувавши команду – **«Развертка»** на панелі інструментів **«Листовой металл»**. Уся побудована раніше деталь розвернеться в площині, де розташована основа (рис. 9.43).

У результаті буде побудовано розгорнення деталі, на якій штрихпунктиром нанесені лінії згину. Для того щоб повернути деталь у зігнутий стан, необхідно знову активізувати правою кнопкою миші рядок **«Развертка1»** і вибрати в контекстному меню команду – **«Погасить»**, або можна просто віджати кнопку – **«Развертка»** на панелі інструментів **«Листовой металл»**.

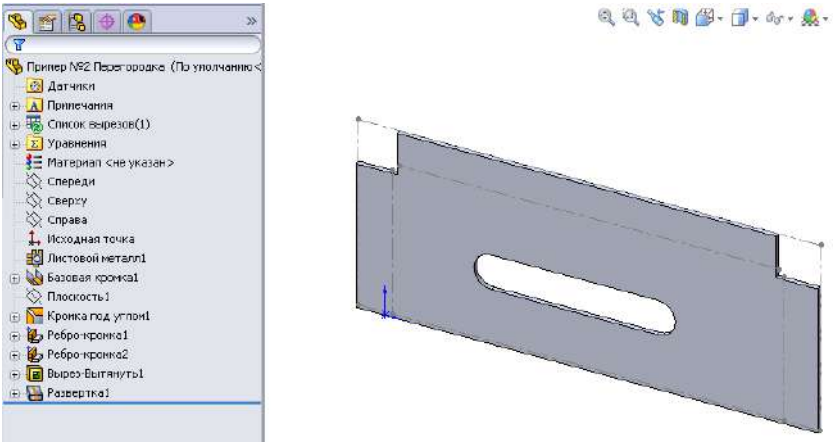


Рисунок 9.43 – Розгорнення
деталі Перегородка

9.5 Конструювання деталі із твердого тіла й перетворення в деталь із листового матеріалу

Далі ми розглянемо конкретні приклади побудови деталей із твердого тіла з наступним перетворенням їх у деталі з листового матеріалу двома способами.

Приклад № 3. Короб.

Деталь Короб являє собою квадратну ємність типу коробки.

1. Побудову деталі Короб почнемо зі створення ескізу днища на площині **«Спереди»** (рис. 9.44). На основі ескізу побудуємо об’єкт у вигляді квадратної призми. Для цього активізуємо кнопку – **«Вытянутая бобышка/основание»** й витягнемо квадратну основу на 60 мм (рис. 9.45).

2. Перетворимо отриману призму в тонкостінний елемент за допомогою кнопки – **«Оболочка»**, яка розміщена на панелі інструментів **«Элементы»**. Можна також скористатися командою

меню: **«Вставка | Элементы | Оболочка...»**. У вікні **«Оболочка»** (рис. 9.46) укажемо товщину стінки оболонки – 2 мм, грань деталі, яка буде вилучена при створенні оболонки – **Грань<1>**, тип оболонки – **«Оболочка наружу».**

3. Натиснемо кнопку **ОК**, закінчивши створення оболонки. У результаті буде побудована тонкостінна деталь, а в дереві конструювання з'явиться новий елемент – **«Оболочка1»** (рис. 9.47).

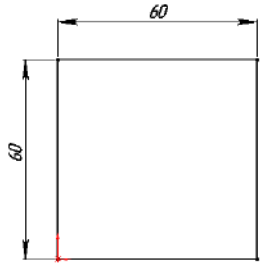
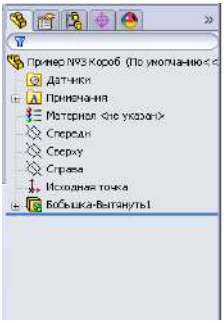


Рисунок 9.44 – Ескіз днища



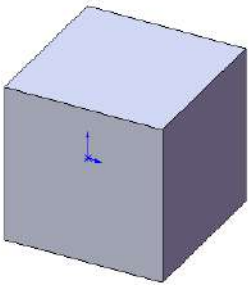
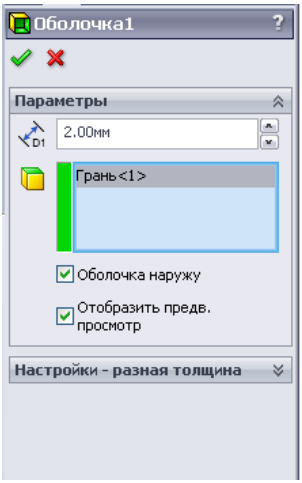


Рисунок 9.45 – Квадратна призма



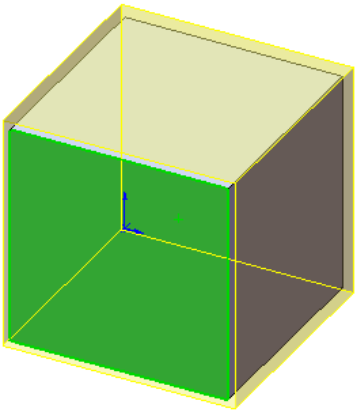


Рисунок 9.46 – Задаємо товщину стінки оболонки

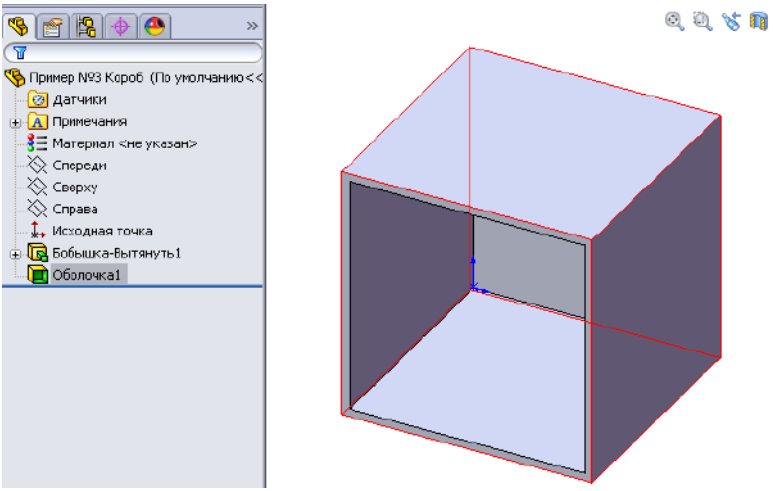


Рисунок 9.47 – Додано новий елемент
в дереві конструювання

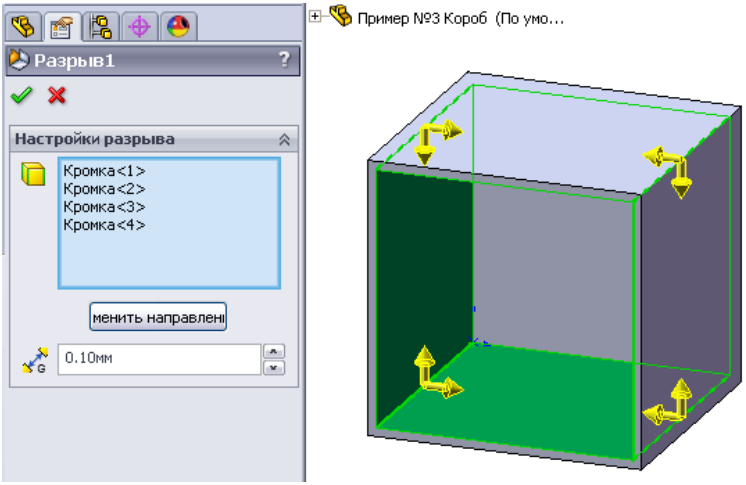


Рисунок 9.48 – Створюємо розрізи
за допомогою команди «Разрыв»

Але для створення розгорнення на цій деталі необхідно оформити розрізи, указати місця й радіуси згинів.

9. Створимо розрізи за допомогою команди – **«Разрыв»** на

панелі інструментів **«Листовой металл»** (рис. 9.48). У розділі **«Настройки разрыва»** необхідно указати ті крайки, уздовж яких будуть зроблені розрізи, а в рядку **«Зазор»** – величину створюваного зазору в місці розриву крайки (рис. 9.48). При виборі крайок, на яких передбачається створити розрізи, рекомендується позначати їх зсередини деталі.

5. Указавши крайки, натиснемо кнопку **OK**, закінчивши створення розривів на тонкостінній деталі. У результаті на деталі з'являться розриви, а в дереві конструювання новий рядок – **«Разрыв1»** (рис. 9.49). Для перетворення цієї деталі в деталь із листового матеріалу необхідно вказати згини, по яких будуть розгортатися грані короба.

6. Активізуємо команду **«Сгибы»** (рис. 9.50), уведемо радіус згину 3 мм і виберемо зафіксовану крайку або грань, по периметру якої пройдуть лінії згину – **Грань<1>**. У розділі **«Допуск сгиба»** виберемо **«Коэффициент К»**, задамо його значення, а також тип зняття напруг – **«Прямоугольный»** із пропорцією зсуву 0,5.

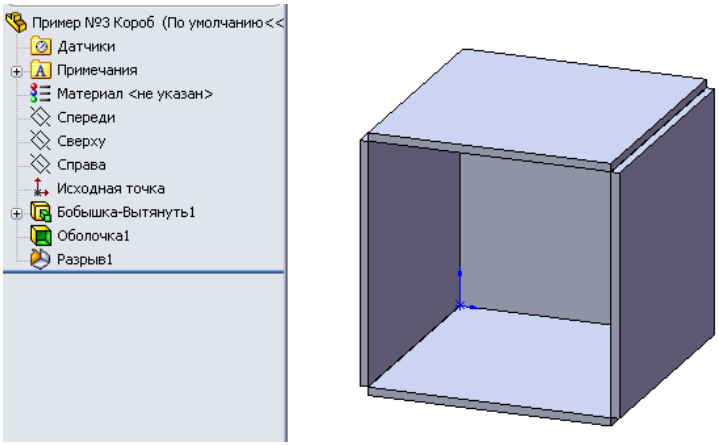


Рисунок 9.49 – Закінчено створення
розривів на тонкостінній деталі

При створенні розгорнення твердого тіла в кутах (кінцевих точках розривів) виникають напруги, тому SolidWorks може створювати на цих кутах рельєфні підрізи для зняття напруг.

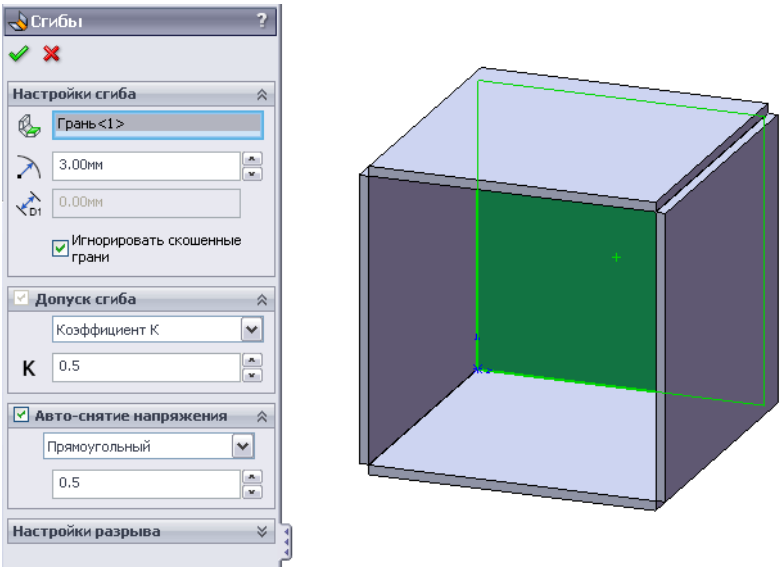


Рисунок 9.50 – Вказуємо
параметри згинів

У розділі **«Авто-снятие напряжения»** потрібно вибрати вид підрізу: **«Прямоугольный, Скругленный или Без зазоров»** (без використання підрізів). Також необхідно вказати пропорцію зсуву, тобто величину ширини й глибини прямокутного або округленого вирізу.

7. Натиснемо кнопку **OK**, і по периметру грані з'являться округлення й рельєфні підрізи (рис. 9.51). При цьому в дереві конструювання з'являться елементи: **«Листовой металл1, Плоское состояние1, Согнутое состояние1 и Развертка1»**, тобто тонкостінна деталь буде перетворена в деталь із листового матеріалу.

8. Тепер деталь Короб повністю готова до побудови розгорнення. Для побудови повного розгорнення в дереві конструювання виберемо рядок **«Развертка1»**, активізуємо контекстне меню, нажавши праву кнопки миші, і виберемо в цьому меню команду – **«Высветить»**. У результаті вся побудована раніше деталь розвернеться в площині основи короба (рис. 9.52).

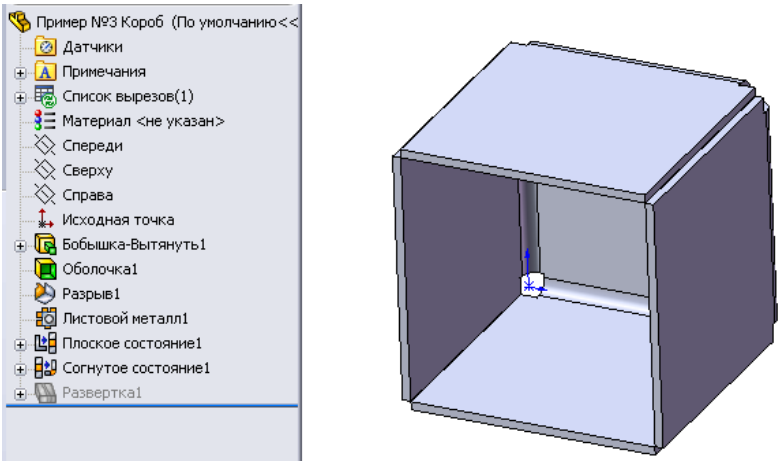


Рисунок 9.51 – По периметру грані створено
округлення й рельєфні підрізи

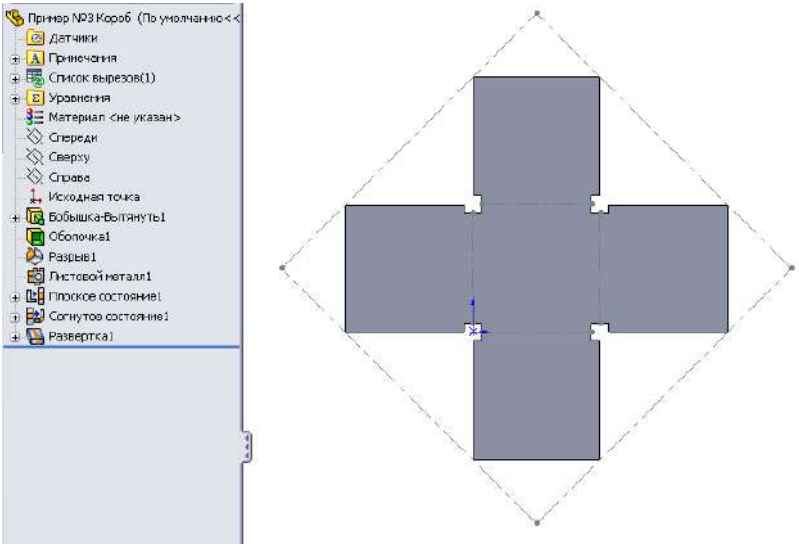


Рисунок 9.52 – Деталь розгорнута
в площині основи короба

Таким чином, буде побудовано розгорнення деталі, на якому штрихпунктиром нанесені лінії згину. Розгорнення можна

одержати й іншим способом, нажавши кнопку – **«Развертка»** на панелі **«Листовой металл»**.

9. Для повернення деталі в колишній стан ще раз натисніть кнопку – **«Развертка»** або погасіть елемент **«Развертка1»** у дереві конструювання.

10. Для того щоб розігнути лише деякі грані деталі, слід нажати кнопку – **«Разогнуть»** й вказати ту грань, положення якої в просторі повинне залишитися незмінним – **Грань<1>**. У полі **«Разогнуть»** вкажемо ті згини, які будемо розгинати: **«Острый сгиб4»** і **«Острый сгиб2»** (рис. 9.53).

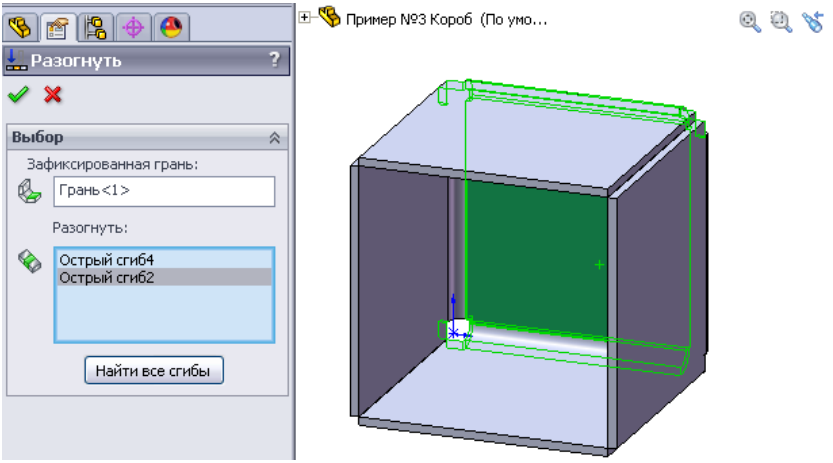


Рисунок 9.53 – Вибір окремих граней для розгорнення

11. Натиснемо кнопку **ОК** і одержимо неповне розгорнення листової деталі Короб (рис. 9.54).

12. Для того щоб зігнути лише деякі грані деталі, слід скористатися командою – **«Согнуть»**. У вікні настроювань, що з'явилося, необхідно вказати зафіксовану грань, а також згини, які необхідно зігнути (рис. 9.55).

13. Зафіксуємо, як і в попередній побудові, **Грань<1>** і зігнемо деталь командою **«Острый сгиб2»**, таким чином, повернувши Короб в колишнє положення. Закінчимо перетворення деталі, нажавши кнопку **ОК** (рис. 9.56).

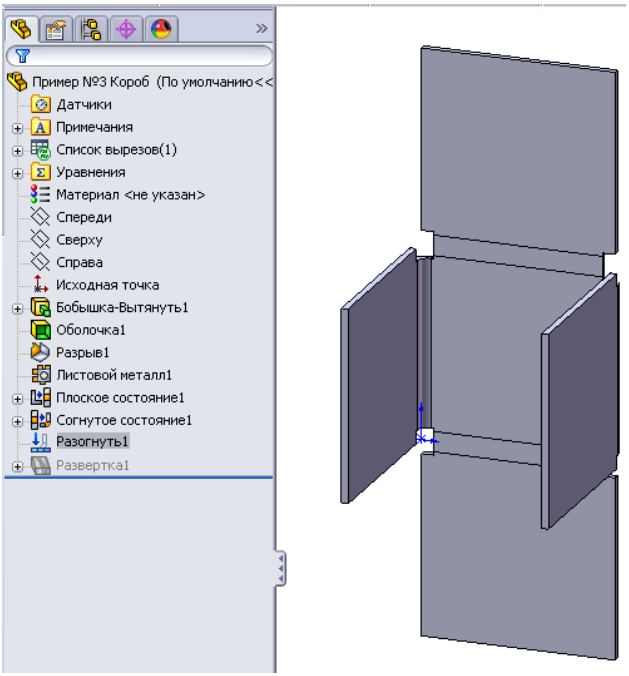


Рисунок 9.54 – Неповне розгорнення
листової деталі Короб

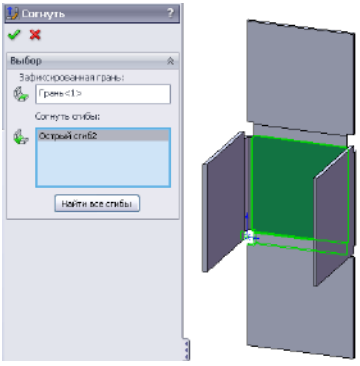


Рисунок 9.55 – Згин
окремих граней

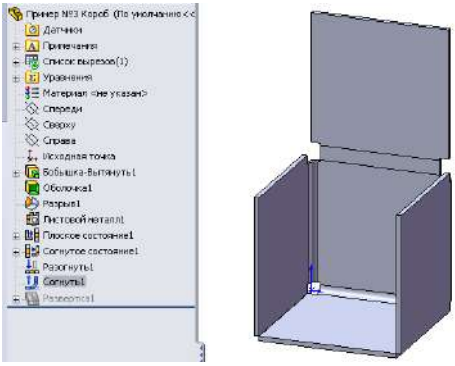


Рисунок 9.56 – Закінчена побудова
тонкостінного Короба

Розглянемо ще один спосіб побудови деталей з листового

металу на основі твердого тіла на прикладі деталі Пластина. Цей спосіб відрізняється від інших тим, що дозволяє перетворити твердотільну деталь в листовий метал, використовуючи лише одну команду.

Приклад № 9. Пластина

Деталь Пластина будується на основі призматичної деталі.

1. Побудову деталі Пластина почнемо з оформлення ескізу деталі. Побудуємо ескіз на площині **«Спереди»** (рис. 9.57).

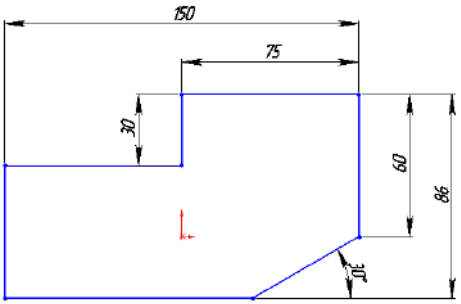


Рисунок 9.57 – Ескіз деталі Пластина

2. Побудуємо деталь у вигляді призми. Для цього активізуємо кнопку – **«Вытянутая бобышка/основание»** й витягнемо ескіз на 80 мм (рис. 9.58).

3. Перетворимо цю твердотільну деталь у деталь із листового металу за допомогою команди – **«Преобразовать в листовой металл»** (рис. 9.59).

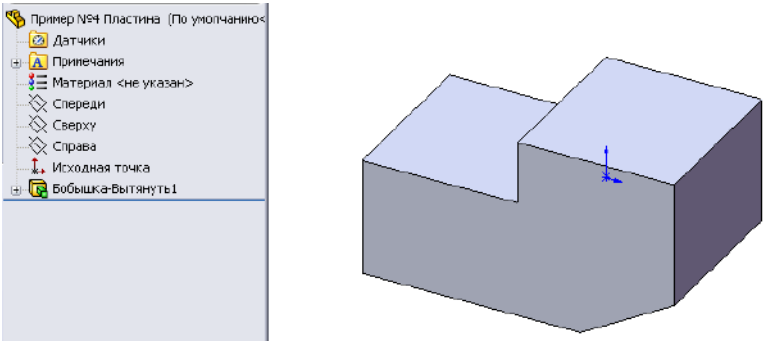


Рисунок 9.58 – Побудована деталь у вигляді призми

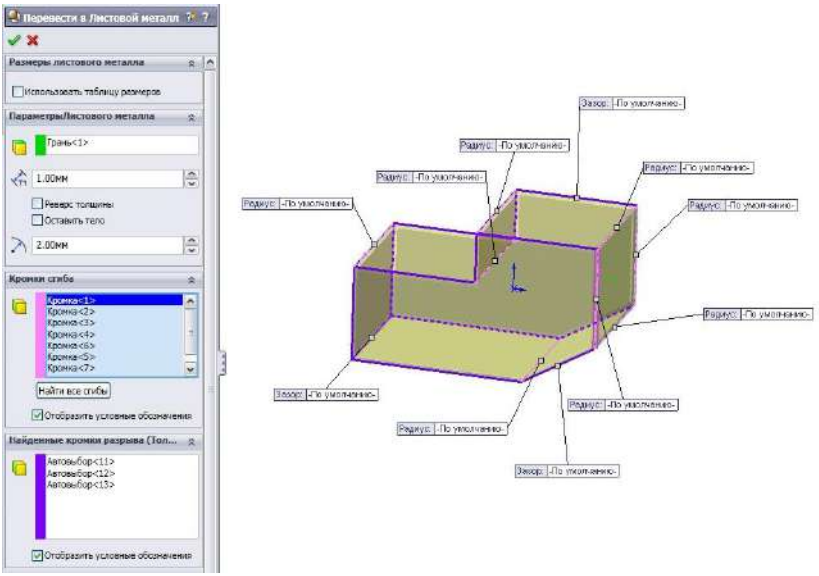


Рисунок 9.59 – Процес перетворення
у деталь із листового металу

У розділі **«Параметры Листового металла»** необхідно задати наступні параметри:

- виберіть зафіксований об’єкт;
- товщина листа;
- радіуси згинів за замовчуванням.

Нехай при побудові деталі буде зафіксована **Грань<1>**, задамо товщину листа – 1 мм і радіус згинів за замовчуванням – 2 мм. У розділі **«Кромки сгиба»** потрібно вказати крайки деталі, на яких будуть формуватися згини.

У розділі **«Найденные кромки разрыва»** в автоматичному режимі вказуються крайки, по яких будуть зроблені розриви (рис. 9.59). Маркером **«Радиус»** відзначається крайка, на якій буде оформлений згин, а маркером **«Зазор»** – крайка, на якій буде створений зазор. У розділі **«Эскизы разрывов»** можна вказати ескізи, згідно з якими будуть зроблені розриви у створюваній деталі. Ескізи розривів при цьому повинні бути побудовані заздалегідь.

У розділі **«Параметры угла по умолчанию»**, у поле **«Зазор по умолчанию для всех разрывов»** для всіх розривів потрібно задати величину зазору в розриві.

Також можна вказати співвідношення перекриття для всіх розривів за замовчуванням в однойменному полі. У розділі **«Настроенный пользователем допуск сгиба»** можна вибрати тип допуску згину і його параметри.

9. Закінчимо перетворення твердотільної деталі в деталь із листового металу, нажавши кнопку **OK.** У результаті на деталі з'являться згини, розриви й рельєфні підрізи для зняття напруг, а в дереві конструювання нові елементи: **«Листовой металл1, Преобразовать-Твердое тело1»** і **«Развертка1»** (у погашеному стані) (рис. 9.60).

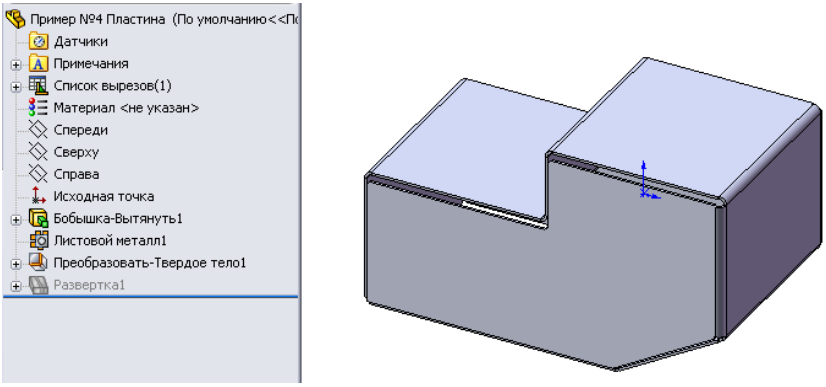


Рисунок 9.60 – Створено згини,
розриви й рельєфні підрізи

5. Для одержання розгорнення цієї деталі натисніть кнопку **«Развертка»**, яка розміщена на панелі **«Листовой металл»**. У результаті одержите її повне розгорнення (рис. 9.61). При цьому рядок **«Развертка1»** у дереві конструювання перейде з погашеного стану в активний.

Розгорнення деталі можна побудувати, використовуючи можливості дерева конструювання. Для цього активізуйте рядок **«Развертка1»** натисканням правої кнопки миші й клацніть у контекстному меню що з'явилося, по рядку **«Высветить».**

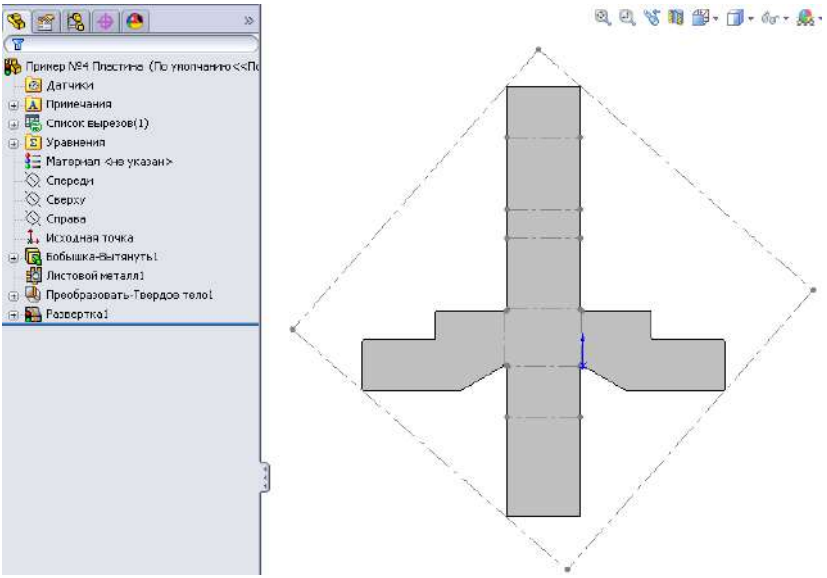


Рисунок 9.61 – Розгорнення
деталі Пластина

У цій лекції ми розглянули способи конструювання деталей з листового матеріалу. Побудова креслення деталі з листового матеріалу має деякі особливості, тому розглянемо ці приклади окремо, у подальших лекціях.

Питання для самоперевірки

1. Які способи створення деталей з листового матеріалу можливі в SolidWorks?
2. Розкажіть про створення розгорнення на основі ескізу.
3. Як перетворити твердотільну деталь в деталь з листового металу?
4. На якому листі креслення повинне бути розміщене розгорнення деталі?
5. На основі яких даних створюється таблиця згинів?
6. Коли використовують спосіб створення деталей із плоского стану?
7. Розкажіть алгоритм створення деталей із плоского стану.

8. Які можливі типи допусків згинів?
9. Як визначити ширину вирізу для зняття напруг при згині?
10. Як розраховується величина зменшення згину?
11. Що таке допуск згину?
12. Як і коли можна змінити радіус згину деталі?
13. Коли використовують спосіб створення деталей з листового металу в зігнутому стані?
14. Розкажіть алгоритм створення деталей з листового металу в зігнутому стані?
15. Як за допомогою лише однієї команди створюється деталь із листового металу?

10 РОБОТА ЗІ ЗВАРНИМИ КОНСТРУКЦІЯМИ

За допомогою інструментів зварних деталей в SolidWorks можливе проектування рамних або фермових конструкцій по довільному набору плоских або тривимірних ескізів у файлі деталі, а також використання специфічних конструкційних елементів, таких як оброблення під зварювання, кінцеві заглушки, косинки й елементи зварювального шва.

10.1 Основні принципи створення зварних конструкцій

У даний час зварені з'єднання є найпоширенішими в порівнянні з іншими типами нероз'ємних з'єднань. Цьому сприяє висока міцність з'єднань, технологічність і економічність. Розроблена технологія зварювання конструкційних сталей, чавуну, мідних, алюмінієвих, титанових та інших сплавів кольорових металів, а також деяких пластмас.

При проектуванні зварених з'єднань слід враховувати їхні недоліки:

- зварювання приводить до зміни механічних властивостей основного металу убік погіршення через нагрівання місця шва;
- через неоднорідність нагрівання виникають залишкові напруги і як наслідок цього, залишкові деформації;
- зварені з'єднання можуть мати істотну анізотропію властивостей у звареному шві;
- у зварених з'єднаннях виникають місцеві напруження, які суттєво впливають на міцність, особливо в умовах змінного навантаження;
- висока концентрація напруг та інші несприятливі фактори приводять до малої довговічності зварених з'єднань, особливо в умовах ударного навантаження;
- контроль якості звареного шва досить складний і не завжди економічно виправданий.

Конструкція деталей що зварюються, залежить від способу стикування деталей і зварного шва, спочатку ми розглянемо коротку класифікацію основних типів зварних з'єднань. По виду взаємного розташування деталей що зварюються, зварні

з’єднання виконуються:

- **стиковими** – коли деталі приварюються торцевими поверхнями. Вони є найбільш раціональними, тому що їхня міцність дорівнює міцності основного металу. Для практичної реалізації цих з’єднань, залежно від товщини, необхідно обробити відповідним чином крайки деталей що з’єднуються (рис. 10.1). При цьому форма оброблюваних крайок сприяє більш успішному формуванню звареного шва, який збігається за формою з торцевим перетином деталей що зварюються;
- **напускними** – коли бічні поверхні частково перекривають один одного. З’єднання цього типу виконуються кутовими швами, які мають форму, близьку до рівнобедреного трикутника (рис. 10.2). Залежно від розташування щодо зовнішньої сили шви бувають фланговими (рис. 10.2, а), лобовими (рис. 10.2, б), косими (рис. 10.2, в) і комбінованими (рис. 10.2, г);
- **тавровими** – коли елементи що з’єднуються, перпендикулярні або, що досить рідко, похилі (рис. 10.3). Таврові з’єднання можуть бути виконані кутовим швом (рис. 10.3, а) з однієї сторони або по обидва боки, стиковим швом (рис. 10.3, б, в);
- **кутовими** – коли елементи що з’єднуються, перпендикулярні один до одного й приварюються крайками (рис. 10.4). Таке зварене з’єднання є різновидом таврового.

Особливість зварених конструкцій така, що вони складаються начебто з окремих деталей, але усі деталі з’єднані в одне ціле за допомогою зварювання. І розглядати таку деталь із погляду розрахунків на міцність і твердість треба як єдине ціле, з урахуванням ослаблення зварених швів.

В SolidWorks зварні конструкції можна створювати двома способами:

- використовуючи тривимірні ескізи, створюється зварений виріб із профілів, обраних з бібліотечної бази або створених самостійно. При цьому можливе відсікання зайвих частин профілів і установка торцевих пробок;
- зварена деталь створюється з декількох твердих тіл, як

багатотільний об’єкт. При цьому можливе округлення кутів, підготовка крайок для зварювального шва, формування зварювального шва й установка кутових з’єднань.

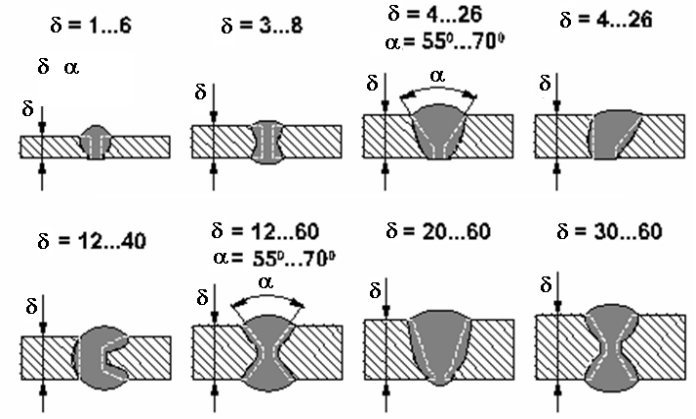


Рисунок 10.1 – Стикові типи зварних з’єднань

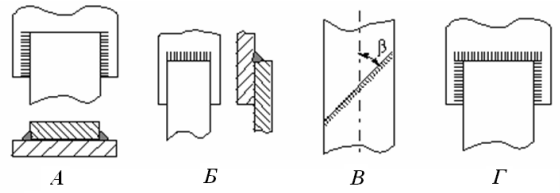


Рисунок 10.2 – Напускні типи зварних з’єднань

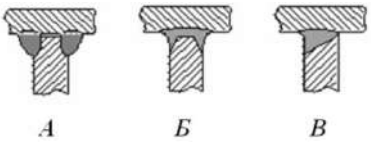


Рисунок 10.3 – Таврові типи зварних з’єднань

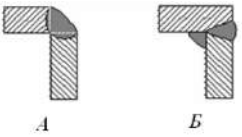


Рисунок 10.4 – Кутові типи зварних з’єднань

До основних команд інструментальної панелі **«Сварные детали»** відносяться наступні команди:

- «Сварная деталь» для створення елемента звареної деталі;
- «Конструкция»;
- «Угловое соединение»;
- «Торцевая пробка»;
- «Скругленный шов»;
- «Отсечь/вытянуть»;
- «Сварной шов».

Щоб додати панель «Сварные детали» на екран, пройдіть шлях «Инструменты | Настройка | Команды | Плавающие панели инструментов» і перемістіть мишею в диспетчер команд кнопку – «Сварные детали».

10.2 Створення зварної конструкції із тривимірного ескізу

Розглянемо спосіб створення зварної конструкції із тривимірного ескізу. В якості прикладу скористаємося ескізом естакади (файл деталі Естакада.sldprt). Якщо панелі **«Сварная деталь»** немає на екрані монітора, то викличте її через **«Инструменты | Настройка»** й на вкладці **«Панель инструментов»** встановіть прапорець **«Сварные детали»** (рис. 10.5). Зверніть увагу, що в інструментальній панелі **«Сварные детали»** є команда – **«Трехмерный эскиз»**. Це та ж сама команда, що й на панелі інструментів **«Эскиз».**

Тому якщо ви створюєте тільки одну зварну деталь, то немає необхідності виносити кнопку команди **«Трехмерный эскиз»** в інструментальну панель **«Эскиз»**, а можна скористатися відповідною кнопкою в інструментальній панелі **«Сварные детали».** Після того як інструментальна панель з'явилася на екрані, можна приступити до створення зварної конструкції на основі завантаженого тривимірного ескізу.

Натиснемо кнопку – **«Сварная деталь»**. У дереві конструювання повинен з'явитися елемент **«Сварная деталь».** Тепер скористаємося кнопкою – **«Конструкция»** для витяжки профілів уздовж зазначених траєкторій у тривимірному ескізі. У менеджері властивостей відкриється діалогове вікно **«Конструкция»** (рис. 10.6).

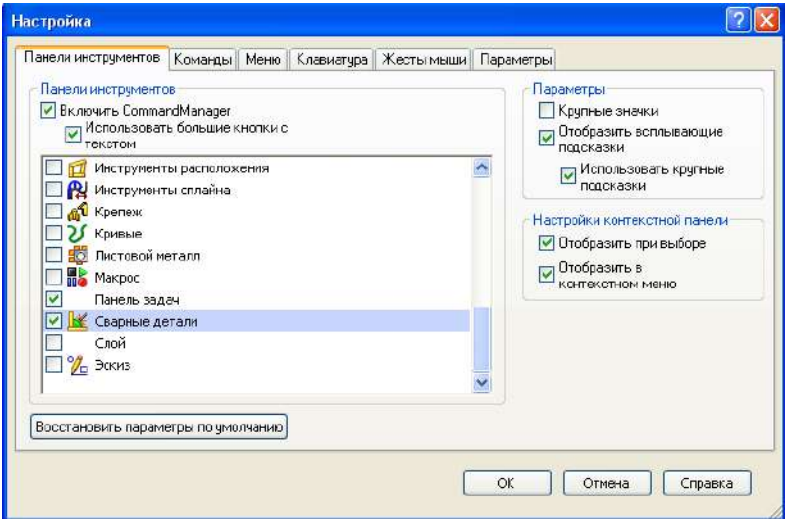


Рисунок 10.5 – Настройка панелі «Сварная деталь»

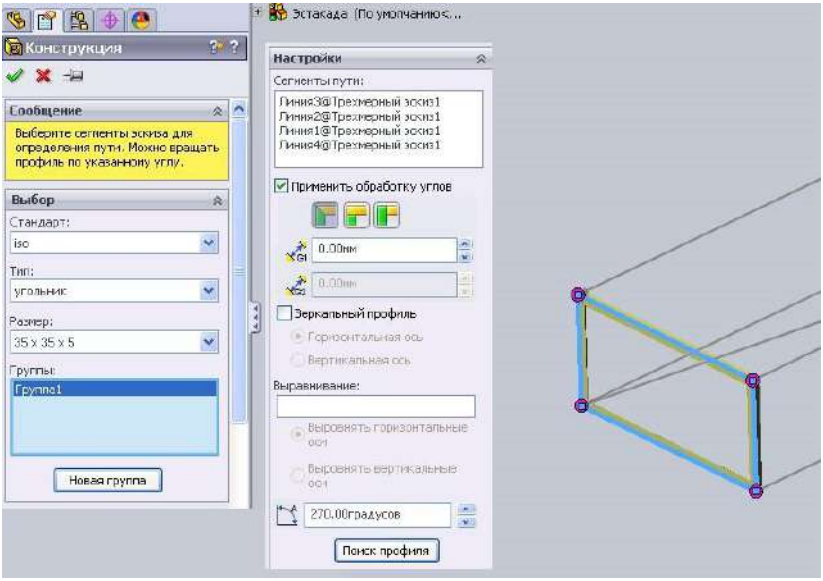


Рисунок 10.6 – Процес створення зварної конструкції

У полі **«Стандарт»** виберемо із двох стандартів метричний **iso**. У полі **«Тип»** можна вибрати профіль з існуючих, наприклад, косинець. Надалі ми покажемо, як створювати власні профілі. У полі **«Размер»** можна вибрати розміри існуючих профілів, скажемо, косинець розміром 35×35×5 мм, що означає: ширина полиць косинця – 35 мм, а товщина металу – 5 мм.

Тепер залишилося задати в полі **«Группы»** елементи ескізу, які будуть оформлені обраним типом профілю, наприклад, елементи переднього прямокутника (рис. 10.6).

У полі що з'явилося, **«Настройки»** можна вибрати спосіб обробки кутів, установивши прапорець **«Применить обработку углов»** і нажавши одну із кнопок: – **«Кромка под углом»**, – **«Стыковое соединение1»** або – **«Стыковое соединение2»**, а також, при необхідності, повернути профіль на 270°. Після всіх установок натисніть кнопку **OK.**

Аналогічним образом задайте профілі для внутрішнього прямокутника. У цьому випадку також задайте параметр – **«Угол поворота»** рівним 270°, щоб друга полиця косинця дивилася усередину паралелепіпеда (рис. 10.7).

Тепер установимо профілі по інших горизонтальних ребрах паралелепіпеда. Треба відзначити, що для кожного ребра буде потрібна окрема команда, тому що кожний косинець необхідно орієнтувати в просторі шляхом добору параметра – **«Угол поворота»** так, щоб зовнішні полки косинця дивилися ззовні паралелепіпеда, а також зробити обрізку зайвих кінців косинця.

На прикладі верхнього правого ребра покажемо оброблення профілю для звареної конструкції. Знову викличте з інструментальної панелі **«Сварные детали»** команду – **«Конструкция»** й установіть профіль, задавши параметр – **«Угол поворота»** рівним 90° (рис. 10.8).

Подивіться уважно на рис. 10.8, і ви побачите, що відбулося накладення кінця тільки що побудованого горизонтального куточка на кінці двох інших куточків. Щоб видалити дане накладення, необхідно скористатися командою – **«Отсечь/вытянуть»** з інструментальної панелі **«Сварные детали»**. Дана команда дозволяє відтинати або витягати елементи деталі до поверхонь інших елементів так само, як інструменти обрізки.

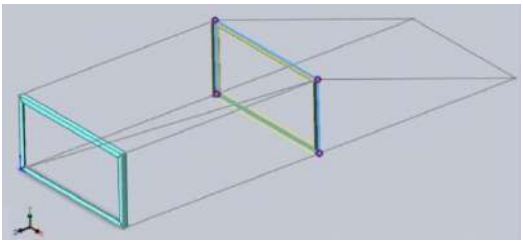


Рисунок 10.7 – Оформлення ескізу обраним типом профілів

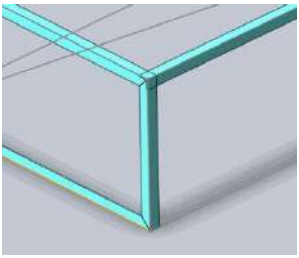


Рисунок 10.8 – Поворот косинця усередину

У цьому випадку нам необхідно відітнути кінець горизонтального профілю. Натисніть в інструментальній панелі кнопку – **«Отсечь/вытянуть»**, клацніть мишею в полі **«Обрезаемое тело»** й укажіть вставлений профіль.

Тепер клацніть мишею в полі **«Граница отсечения»** й установіть режим **«Тела»**, а потім укажіть два залишені косинця (рис. 10.9). Можна також установити прапорець **«Зазор сварки»** й задати величину зазору для звареного шва.

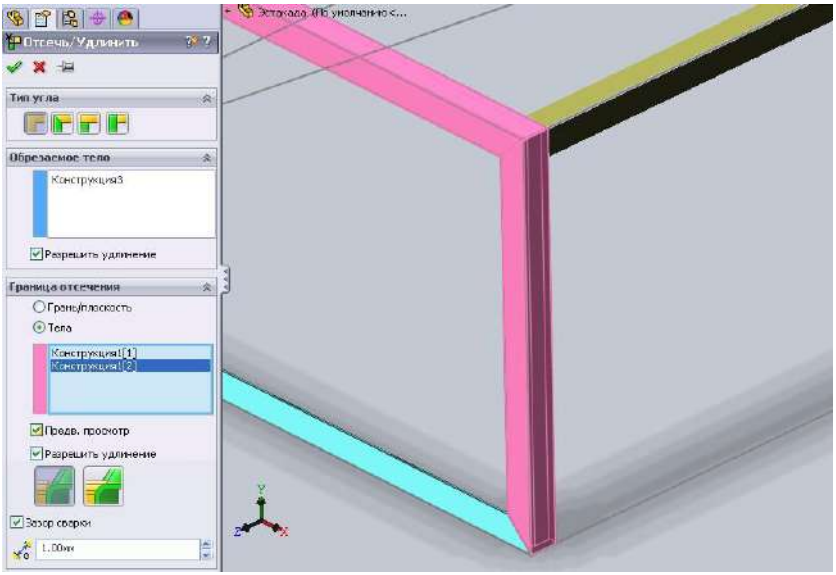


Рисунок 10.9 – Видалення накладень косинців

Перевірте по рис. 10.9, чи правильно все встановлено, і натисніть кнопку **OK.** У результаті повинна вийти конструкція, показана на рис. 10.10. Те ж саме необхідно проробити й із другим кінцем горизонтального профілю.

Аналогічним чином проробіть із наступними трьома горизонтальними профілями для завершення побудови звареної конструкції паралелепіпеда. У підсумку у вас повинна вийти конструкція, показана на рис. 10.11.

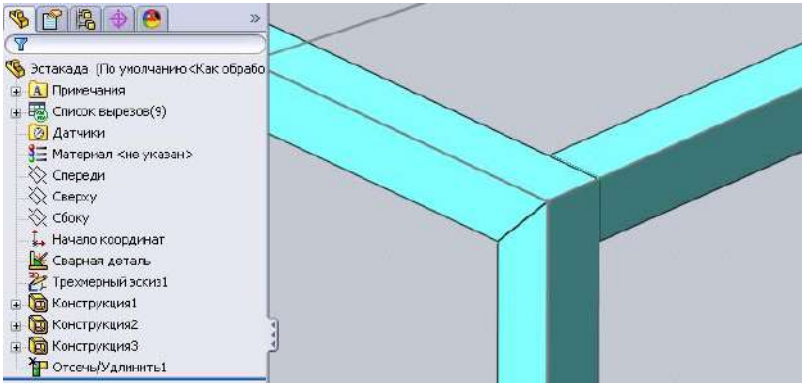


Рисунок 10.10 – Кінцевий вигляд конструкції

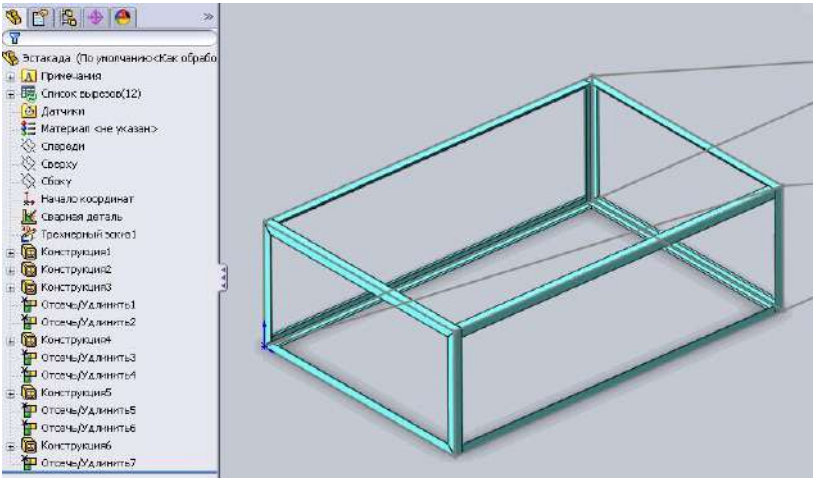


Рисунок 10.11 – Завершення побудови
звареної конструкції паралелепіпеда

Командою – **«Отсечь/вытянуть»** з інструментальної панелі **«Сварные детали»** можна одночасно обробити обидва кінці профілю. Тепер перейдемо до створення пандуса естакади.

Поперечний профіль пандуса будемо виготовляти з іншого профілю – квадратної труби. Для цього викличте знову на панелі інструментів **«Сварные детали»** команду – **«Конструкция»** й установіть в полі **«Тип»** профіль **«квадратная труба»**, а в полі **«Размер»** задайте 40×40×4. У полі **«Сегменты пути»** вкажіть мишею поперечну лінію пандуса тривимірного ескізу (рис. 10.12) і натисніть кнопку **OK**.

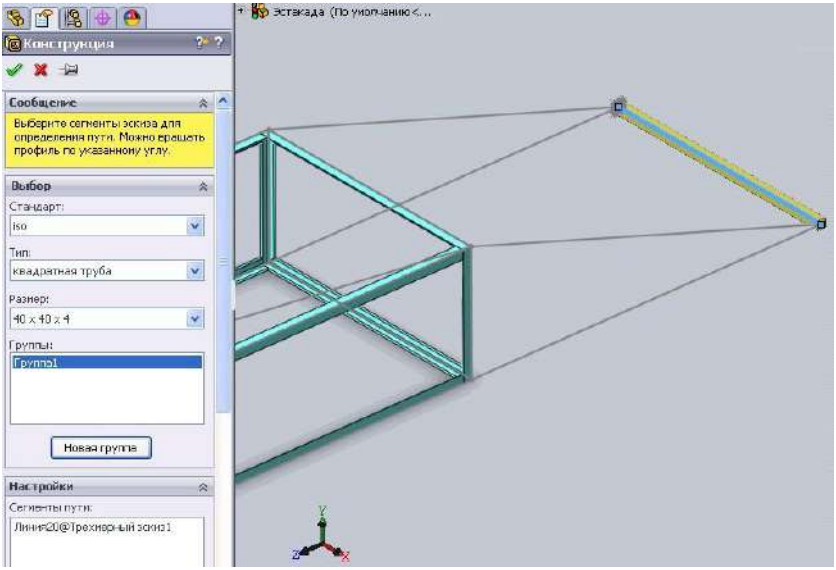


Рисунок 10.12 – Процес створення
пандуса естакади

Інші елементи пандуса тривимірного ескізу побудуйте таким же косинцем, яким був виконаний увесь корпус естакади. При завданні параметрів у діалоговому вікні **«Настройки»** обов'язково встановіть прапорець **«Применить обработку углов»** і задайте граничну умову – **«Стыковое соединение1»**. Натисніть кнопку **OK** – і в результаті повинна вийти наступна зварна конструкція (рис. 10.13).

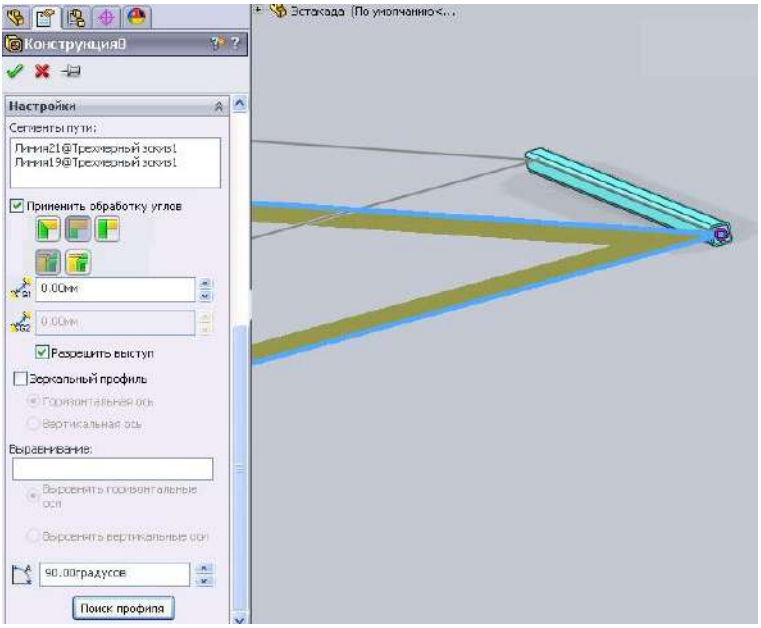


Рисунок 10.13 – Створення пандуса

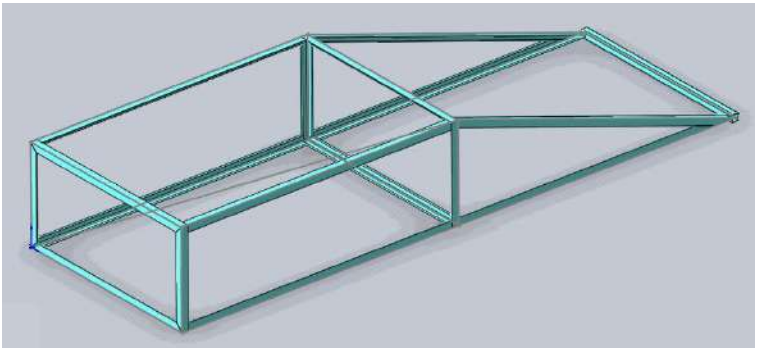


Рисунок 10.14 – Готова зварна конструкція естакади

Проробіть аналогічну операцію із другою стороною естакади, обріжте зайві кінці профілів і одержите готову зварну конструкцію естакади (рис. 10.14).

Залишилося внести останній штрих – додати пробки на відкриті кінці квадратного профілю. Для цього з

інструментальної панелі **«Сварные детали»** викличте команду – **«Торцевая кнопка»**. Укажіть мишею грань квадратного профілю, де повинна розміщатися торцева пробка, задайте товщину пробки **T1**, наприклад, 5 мм і встановіть прапорець **«Углы фаски»**, щоб зробити фаски на пробці.

Перевірте по рис. 10.15 завдання параметрів і натисніть кнопку **OK.** Якщо все зроблено правильно, то у звареній конструкції на кінці квадратного профілю з'явиться пробка, що закриває внутрішню порожнину профілю.

Аналогічним образом створіть пробку на другому кінці профілю. Таким чином, проектування естакади як цільної зварної деталі закінчено. Збережіть деталь, нажавши кнопку **«Сохранить».**

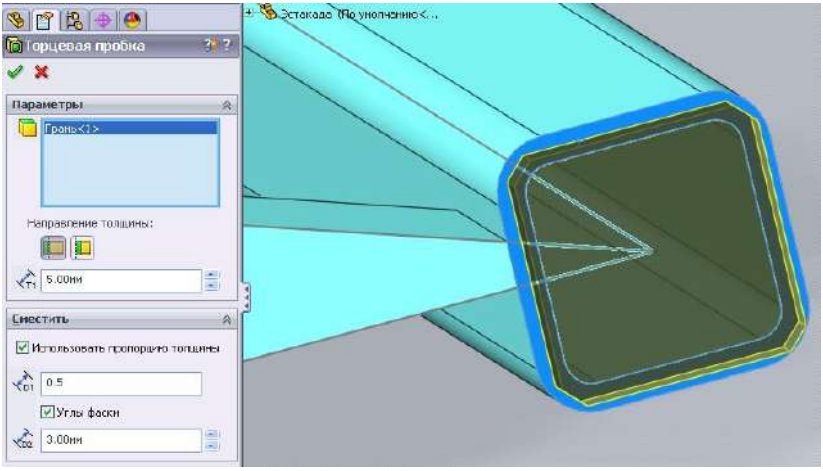


Рисунок 10.15 – Додавання пробки на відкриті кінці квадратного профілю

10.3 Створення власних профілів

Отже ми розглянули створення зварної деталі естакади на основі профілів, які наявні у базі SolidWorks. Але користувач програми може створити свій власний профіль як деталь бібліотечного елементу, потім помістити його в певну папку, щоб потім його можна було вибрати надалі.

При створенні ескізів власних профілів потрібно враховувати

наступне:

- при створенні елемента конструкції зварної деталі за допомогою створюваного профілю за замовчуванням вихідна точка ескізу стає точкою пробиття;
- при створенні елемента конструкції зварної деталі можна вибрати будь-яку вершину на ескізі в якості альтернативної точки пробиття;
- при створенні елемента конструкції зварної деталі можна додати точки ескізу в ескіз і вибрати їх як альтернативні точки пробиття.

Точка пробиття визначає місце розташування профілю щодо сегмента ескізу, який використовується для створення елемента конструкції. Точка пробиття за замовчуванням – це вихідна точка ескізу в деталі бібліотечного елемента профілю.

У якості точки пробиття можна також використовувати будь-яку вершину або точку ескізу, зазначену в профілі. На рис. 10.16 показаний той самий профіль, але з різними точками пробиття. Для створення профілю зварної деталі відкрийте ескіз нової деталі. У якості профілю давайте створимо ескіз двотавра (рис. 10.17).

Посередині двотавра за допомогою інструмента ескізу – **«Точечный»** створіть точку в центрі ескізу і задайте її положення щодо вихідної точки. Ця точка надалі нам буде потрібна в якості точки пробиття профілю.

У побудованому ескізі вихідна точка збігається з нижнім лівим кутом профілю, відповідно за замовчуванням вона буде точкою пробиття. Відразу відзначимо, що це не зовсім вдалий вибір, тому що для симетричних деталей точку пробиття краще вибирати посередині ескізу. Далі ми покажемо, як можна швидко змінити точку пробиття.

Закрийте побудований ескіз двотавра й клацніть у дереві конструювання по елементу **«Эскиз1»**. Тепер виберіть **«Файл | Сохранить»** як і у вікні **«Тип файла»** виберіть **Lib Feat Part (Детали библиотечных элементов) (*.sldlfp)**. Потім у полі **«Имя файла»** введіть ім’я ескізу **Двотавр 40х50х10.sldlfp** і натисніть кнопку **«Сохранить».**

Значок деталі поруч із назвою деталі в дереві конструювання зміниться на значок бібліотечного елемента (рис. 10.18).

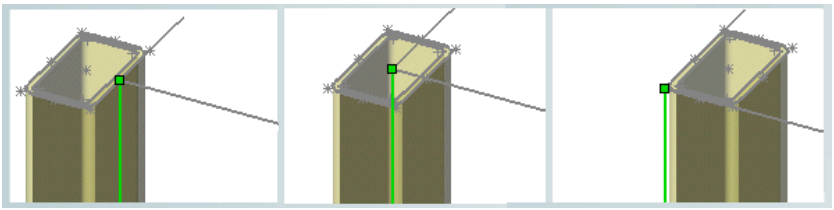


Рисунок 10.16 – Різні точки пробиття в профілі

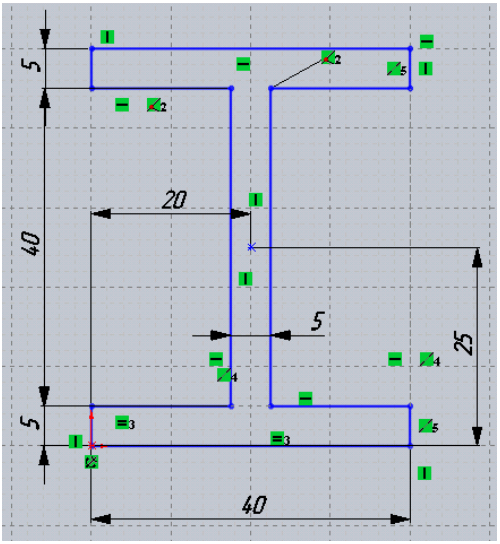


Рисунок 10.17 – Ескіз двотавра

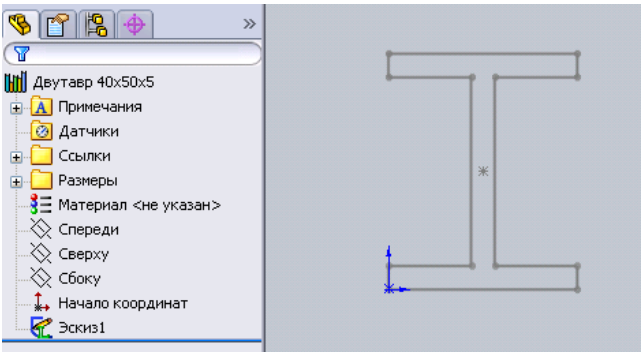


Рисунок 10.18 – Значок бібліотечного
елемента двотавра

Закрийте файл деталі. Зараз бібліотечний елемент зберігся в поточній папці, де зберігаються поточні робочі файли SolidWorks. Для того щоб можна було постійно користуватися власними профілями, деталь бібліотечного елемента профілю необхідно помістити у відповідну папку, тоді її можна буде вибрати у вікні **«Конструкция»**, що з'являється в менеджері властивостей (рис. 10.19).

Профілі зварних деталей перебувають у папці за замовчуванням: **<каталог установки SolidWorks>\ SolidWorks Corp\ SolidWorks\ data\ weldment profiles**. Структура подпапок у папці **weldment profiles** визначає параметри, які відображаються у вікні **«Конструкция»** менеджера властивостей. Обрані елементи й відповідна папка в провіднику Windows визначаються в такий спосіб.

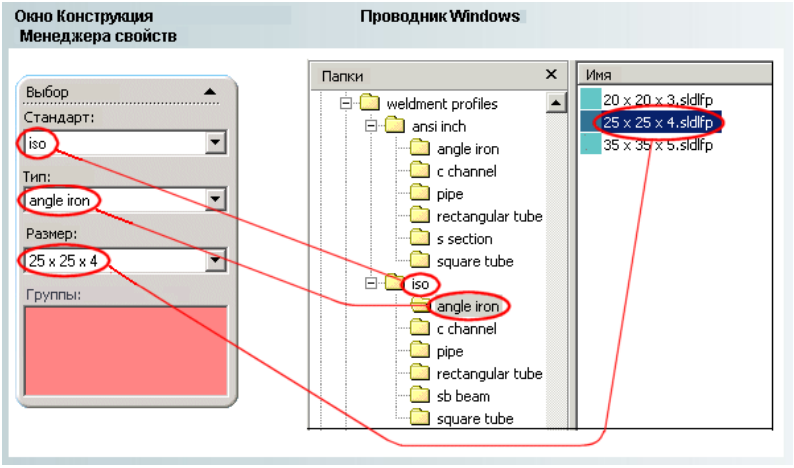


Рисунок 10.19 – Переміщення деталі
бібліотечного елемента профілю

Головна папка містить одну або декілька папок стандартів. У прикладі на рис. 10.19 **weldment profiles** є головною папкою й містить дві папки стандартів (**ansi inch** та **iso**). У менеджері властивостей ім'я кожної папки стандартів відображається як елемент для вибору в списку **«Стандарт»**.

Папки стандартів містять одну або кілька папок типів,

наприклад, **angle iron**, **c channel**, **pipe** тощо. У менеджері властивостей після вибору стандарту імена всіх його підпапок типів відображаються в списку **«Тип».**

Папки типів містять одну або кілька деталей бібліотечних елементів. У менеджері властивостей після вибору типу імена деталей бібліотечних елементів відображаються в списку **«Размер».**

Щоб зберегти власні профілі в існуючій структурі папок, виконайте одну з наступних дій:

- додайте нову деталь профілю в кожну з папок типів. Наприклад, деталь власного профілю можна зберегти в папці **Квадратна труба**, яка є підпапкою папки **iso**. У менеджері властивостей при виборі **iso** у списку **«Стандарты»** й **«Квадратна труба»**, в списку **«Тип»** з'явиться власне ім'я профілю;
- додайте нову папку типу в існуючу папку стандарту, збережіть деталь власного профілю в новій папці типу. Наприклад, у папці **iso** створіть папку **«Собственные элементы»**. Потім збережіть деталі власного профілю в папці **«Собственные элементы»**. У менеджерові властивостей при виборі пункту **iso** у списку **«Стандарты»** пункт **«Собственные элементы»** з'явиться в якості одного з елементів вибору в списку **«Тип»**. При виборі пункту **«Собственные элементы»** в списку **«Тип»**, імена деталей власного профілю з'являться в списку **«Размер»;**
- додайте нову папку стандартів у папку **weldment profiles**, створіть папку типів у папці стандартів і збережіть деталі власних профілів у папці типів. Наприклад, у папці **weldment profiles** створіть папку **«Мой стандарт»**. Потім збережіть деталі власних профілів у цій папці, наприклад, створений бібліотечний елемент **«Мой профиль»**. У менеджері властивостей з'явиться папка **«Мой стандарт»** у якості одного з елементів для вибору в списку **«Стандарты»**. При виборі його в списку **«Размер»** з'явиться ім'я бібліотечного елемента **«Мой профиль».**

Якщо потрібно зберегти профілі в окремій папці, можна створити окрему структуру папок, а потім указати її як папки для

файлу профілю зварної деталі. Давайте збережемо ескіз профілю як деталь бібліотечного елемента по третьому варіанту.

Для цього в провіднику Windows створіть наступну структуру папок **«каталог установки SolidWorks> SolidWorks Corp \ SolidWorks \ data \ weldment profiles\ ГОСТ \Двутавр»** і скопіюйте засобами Windows у цю папку створений бібліотечний файл **«Двутавр 40x50x10.sldlfp».**

А зараз знову відкрийте тривимірний ескіз естакади. Тепер спробуйте використовувати самостійно створений профіль двотавра в тривимірному ескізі. Створіть зварну деталь, нажавши кнопку – **«Сварная деталь».**

На панелі інструментів **«Сварные детали»** натисніть команду – **«Конструкция»**. У поле **«Выбор»** задайте параметри створеного профілю двотавра так, як показано на рис. 10.20, і виберіть у якості сегмента траєкторії найближчу крайку ескізу.

Натисніть кнопку **OK,** і в тривимірний ескіз повинен додатися створений нами профіль двотавра. Подивіться уважно, і ви побачите, що профіль двотавра прив'язався до тривимірного ескізу лівим нижнім кутом – це вихідна точка ескізу профілю, яка є точкою пробиття (рис. 10.21).

Як було відзначено раніше, вибір цієї точки зроблений невдало, тому що для симетричних профілів точку пробиття краще робити посередині профілю. У цьому випадку такий вибір зроблений нами навмисно, щоб показати, як можна швидко змінити точку пробиття.

Для того щоб змінити точку пробиття, натисніть правою кнопкою миші на елемент конструкції **«Конструкция1»** у дереві конструювання, а потім у контекстному меню, що випадає, виберіть пункт – **«Редактировать определение».**

У вікні, що відкрилося, менеджера властивостей у полі **«Настройки»** натисніть кнопку **«Поиск профиля»**. Можна вибрати кожну з вершин або точок ескізу на профілі. У нашому випадку виберіть спеціально створену для цього точку посередині профілю й натисніть кнопку **OK.**

Профіль зрушується для вирівнювання нової точки пробиття по сегменту ескізу елемента конструкції (рис. 10.22). Інші двотаврові профілі тривимірного ескізу естакади можна побудувати способами, описаними раніше.

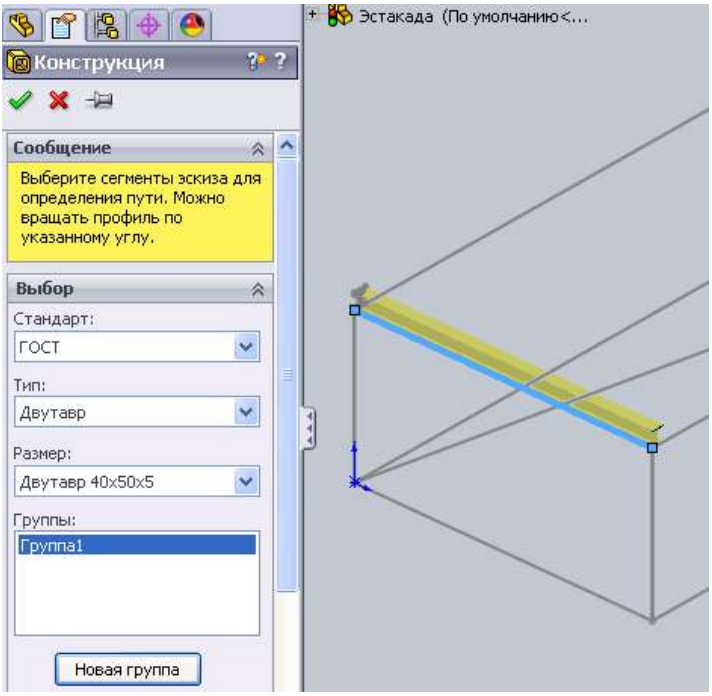


Рисунок 10.20 – Використання самостійно створеного профіля двотавра

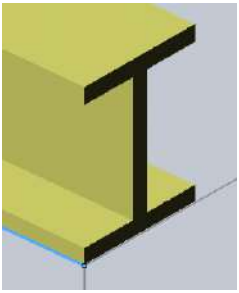


Рисунок 10.21 – Прив'язка лівим нижнім кутом

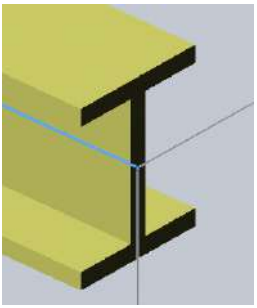


Рисунок 10.22 – Змінена точка пробиття

Закінчіть побудову деталі й збережіть її під іменем **Естакада2.sldprt**.

10.4 Створення зварної конструкції за допомогою багатотільної деталі

Загальний принцип створення зварної конструкції з використанням багатотільної деталі полягає в наступній послідовності дій.

1. Створюється тривимірна модель зварної деталі так, як вона повинна виглядати після процесу зварювання. Навіть якщо зварна деталь насправді повинна складатися з роздільних деталей, модель треба побудувати цілком в одному файлі деталі, а не шляхом складання.

Багатотільні деталі не слід використовувати замість складань. Основним правилом є те, що одна деталь (багатотільна чи ні) повинна відповідати одній позиції деталі в специфікації.

Багатотільна деталь складається з декількох твердих тіл, які не є динамічними, тобто такими, що мають можливість переміщення в просторі. Якщо необхідно представити динамічне переміщення тіл, слід використовувати складання.

2. Із цільної деталі створюють багатотільну деталь шляхом уведення елементів розрізу.

3. Обробляють крайки деталі під зварний шов шляхом додавання фасок.

4. Установлюють елементи посилення, додаючи трикутний або багатокутний профіль.

5. Формують зварний шов.

Розглянемо різні варіанти створення зварних конструкцій залежно від виду зварного з’єднання.

10.5 Моделювання стикового зварного з’єднання

При конструюванні стикового звареного з’єднання особливу увагу приділяють обробленню крайок, яке залежить від товщини металу, що зварюється.

Розглянемо побудову моделі стикового зварного з’єднання в SolidWorks на прикладі зварювання листа металу товщиною 10 мм. Відкрийте нову деталь у режимі малювання ескізів і побудуйте ескіз, показаний на рис. 10.23.

Потім за допомогою панелі інструментів **«Элементы»** й команди – **«Вытянутая бобышка/основание»** витягніть

отриманий ескіз на 10 мм (товщина пластини). Допустимо, що так повинна виглядати готова зварна деталь, отримана технологією зварювання із двох деталей половинної довжини.

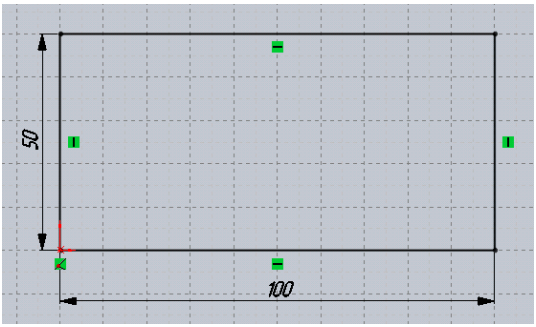


Рисунок 10.23 – Ескіз моделі
стикового зварного з'єднання

Щоб сформувати шов, нам треба попередньо розділити деталь і створити з неї багатотільну деталь. Для цього на бічній поверхні деталі довжиною 100 мм створіть ескіз і намалюйте посередині лінію, яка буде лінією розрізу (рис. 10.24).

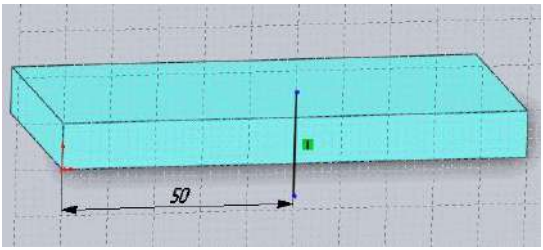


Рисунок 10.24 – Формування
розрізу деталі

Вийдіть із ескізу. Тепер розділимо деталь за допомогою команди – **«Разделить»** панелі інструментів **«Элементы»**. Клацніть у полі **«Инструменты для отсечения»** й укажіть мишею лінію поділу на деталі.

Натисніть кнопку **«Разрезать деталь»**. Якщо вам надалі буде потрібно створити окремі файли для кожної з деталей, що

зварюються, або зробити їхні креслення, то цим деталям можна дати імена в полі **«Файл»** розділу **«Результат»** (рис. 10.25).

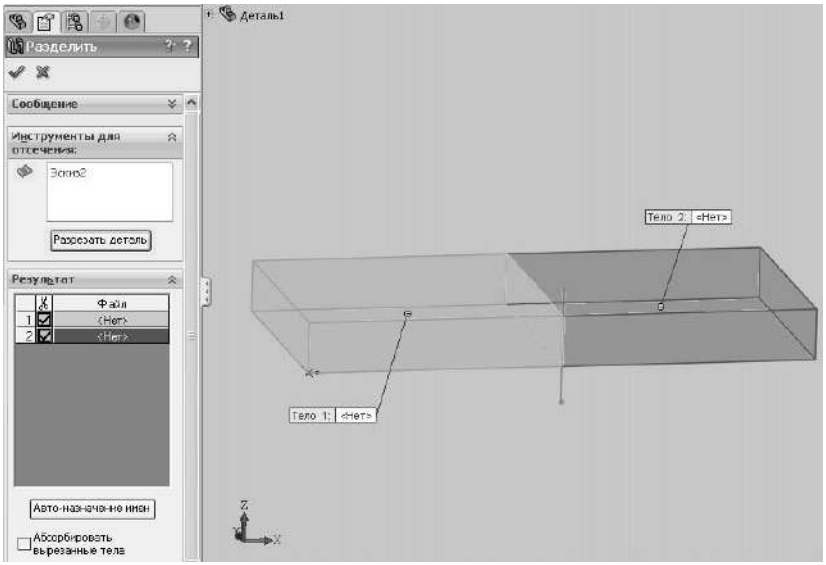


Рисунок 10.25 – Створення окремих файлів деталі

Щоб була можливість зберегти тіла багатотільної деталі, перед виконанням команди – **«Разделить»** необхідно спочатку зберегти вихідну деталь. Укажіть тіла 1 і 2 (у нашому випадку безіменні) для поділу, поставивши прапорці в розділі **«Результат»**, зніміть прапорець **«Абсорбировать вырезанные тела»**, натисніть кнопку **ОК** – і ви одержите двотільну деталь.

Укажемо програмі, що прагнемо створити зварну деталь, нажавши кнопку – **«Сварная деталь»**. Тепер підготуємо крайки, щоб сформувати зварювальну ванну, у якій буде перебувати розплавлений метал.

Для цього на панелі інструментів **«Сварные детали»** виберіть команду – **«Фаска»**, яка створює фаски уздовж крайки, ланцюжка дотичних крайок або вершини. У менеджері властивостей з'явиться діалогове вікно **«Фаска»**. Тепер укажіть мишею на розділову крайку посередині деталі й задайте параметри так, як зазначено на рис. 10.26.

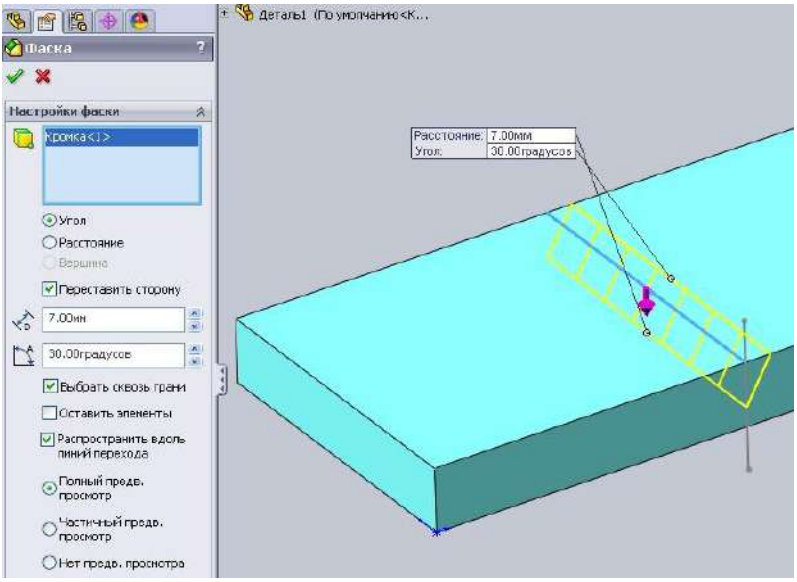


Рисунок 10.26 – Вибір розділової крайки

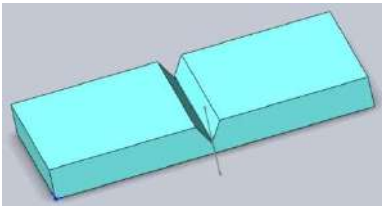


Рисунок 10.27 – Створено зварювальну ванну

Після установки всіх параметрів натисніть кнопку **OK.** Аналогічно створіть крайку й на другій половині зварної деталі. У результаті ви повинні одержати деталь, показану на рис. 10.27.

Отже крайки деталі під зварювання зроблені, залишилося тільки створити сам зварювальний шов.

Для цього на панелі інструментів **«Сварочная деталь»** викличте команду – **«Скругленный шов»**, яка додає елемент кутового зварного шва між двома непересічними тілами (рис. 10.28). Клацніть мишею в полі **«Набор граней1»** і потім по фасці в деталі. Найменування грані відобразиться в полі. Проробіть те ж саме з полем **«Набор граней2»** і другою фаскою. Товщину шва в параметрі **«Размер скругления»** встановіть рівною 8 мм (рис. 10.28).

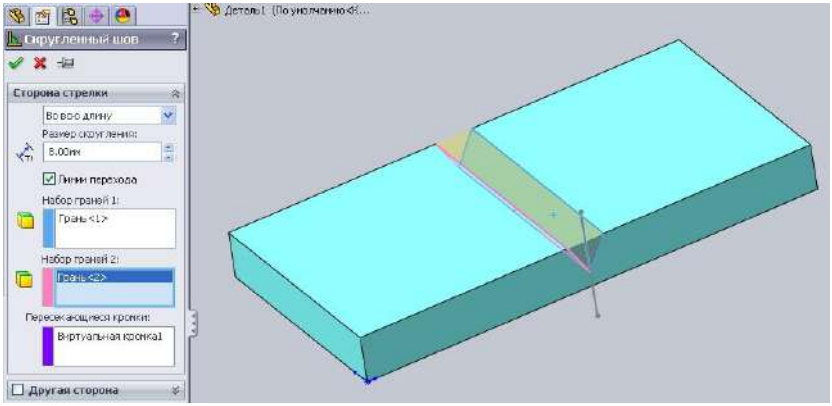


Рисунок 10.28 – Процес створення зварного шва

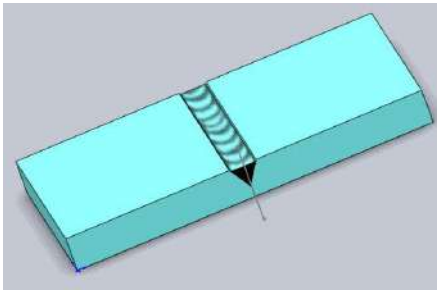


Рисунок 10.29 – Стикове з’єднання

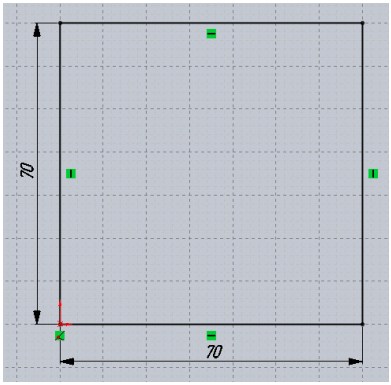


Рисунок 10.30 – Ескіз для напускного зварного з’єднання

Залишилося нажати кнопку **OK** і одержати готову деталь зі зварним з’єднанням встик (рис. 10.29). Збережіть зварну деталь під іменем **Стикове з’єднання.sldprt**.

10.6 Моделювання напускного зварного з’єднання

При конструюванні напускного зварного з’єднання оброблення крайок не роблять, а зварювання роблять кутовими лобовими й фланговими зварними швами (рис. 10.1). Розглянемо побудову моделі напускного зварного з’єднання в SolidWorks на

прикладі зварювання листа металу товщиною 10 мм із листом металу товщиною 5 мм.

1. Відкрийте нову деталь у режимі малювання ескізів і побудуйте ескіз, показаний на рис. 10.30.

2. Потім за допомогою панелі інструментів **«Элементы»** й команди – **«Вытянутая бобышка/основание»** витягніть ескіз на 10 мм (товщина пластини). Тепер на верхній грані першої пластини намалюємо ескіз другої пластини (рис. 10.31) і витягнемо її за допомогою команди **«Вытянутая бобышка/основание»** на відстань 5 мм (товщина другої пластини, що приварюється). Допустимо, що так повинна виглядати готова зварна деталь, отримана технологією зварювання із двох деталей.

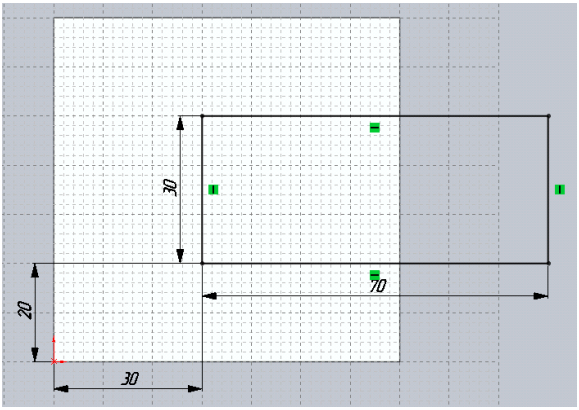


Рисунок 10.31 – Ескіз другої пластини

3. Щоб сформувати шов, нам треба попередньо розділити деталь і створити з неї багатотільну деталь. Для цього розділимо деталь за допомогою команди – **«Разделить»**. Клацнувши в полі **«Инструменты для отсечения»**, укажіть мишею верхню грань великої деталі. Натисніть кнопку **«Разрезать деталь».**

У розділі **«Результат»** зніміть прапорець **«Абсорбировать вырезанные тела»**. Укажіть тіла для поділу, натисніть кнопку **OK** – і ви одержите двотільну деталь (рис. 10.32).

Для того щоб відразу сформувати багатотільну деталь без використання операції – **«Разделить»**, перед виконанням

команди – **«Вытянутая бобышка/основание»** необхідно зняти прапорець **«Результат слияния»**.

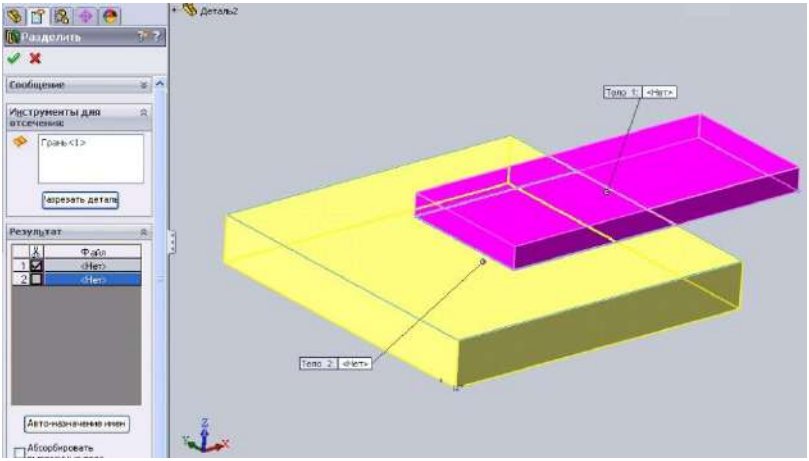


Рисунок 10.32 – Двотільна деталь

У цьому випадку буде створюватися нове тверде тіло, а в дереві конструювання, в папці **«Твердые тела»** з'явиться новий елемент.

4. Укажемо програмі, що прагнемо створити зварну деталь, для чого на панелі інструментів **«Сварные детали»** натисніть кнопку – **«Сварная деталь»**.

5. Оскільки крайки деталі в даному з'єднанні обробляти не потрібно, то залишилося тільки створити зварювальний шов. Для цього на панелі інструментів **«Сварочные детали»** викличте команду – **«Скругленный шов»**, яка додає елемент кутового зварного шва між двома непересічними тілами. Клацніть мишею в полі **«Набор граней1»** і потім по верхній грані більшої деталі (наприклад, **Грань <1>**). Найменування грані відобразиться в полі. Тепер клацніть мишею в поле **«Набор граней2»** і потім по бічних гранях меншої деталі. Товщину шва в параметрі **«Размер скругления»** встановіть рівною 3 мм (рис. 10.33).

6. Залишилося нажати кнопку **OK** і одержати готову деталь зі зварним напускним з'єднанням (рис. 10.34). Збережіть зварну деталь під іменем **Напускне з'єднання.sldprt**.

10.7 Моделювання таврового зварного з'єднання

При конструюванні таврового або кутового зварного з'єднання із прямим кутом, оброблення крайок залежить від конфігурації деталей, що зварюються. Розглянемо побудову моделі таврового звареного з'єднання в SolidWorks на прикладі зварювання двох перпендикулярно розташованих деталей товщиною, наприклад, 10 мм.

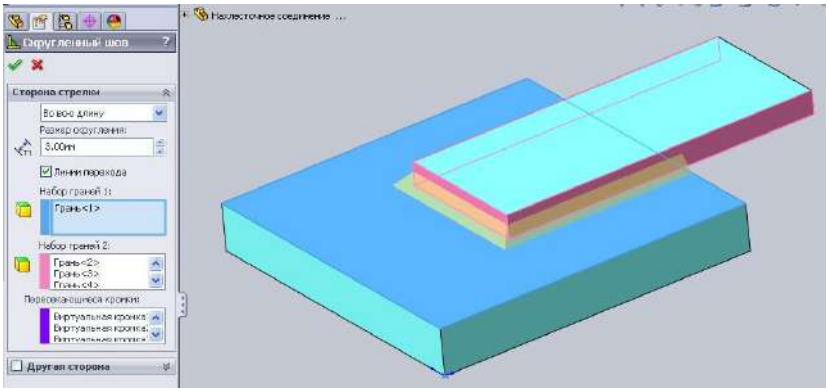


Рисунок 10.33 – Створення зварного шва двотільної деталі

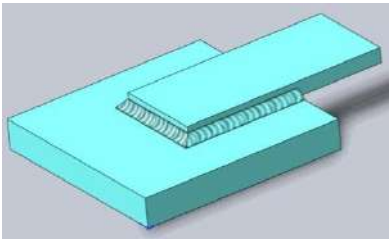


Рисунок 10.34 – Готова деталь зі зварним напускним з'єднанням

1. Відкрийте нову деталь у режимі ескізів і побудуйте ескіз, показаний на рис. 10.35.

2. Витягніть отриманий ескіз на 10 мм (товщина деталі). Тепер на верхній грані першої деталі намалюємо ескіз другої деталі (рис. 10.36) і витягнемо її за допомогою команди – **«Вытянутая бобышка/ основание»** на відстань 50 мм (довжина другої деталі, що приварюється). Допустимо, що готова зварена Т-образна деталь повинна виглядати так, як на рис. 10.37.

3. Щоб сформувати шов, нам треба попередньо розділити деталь і створити з неї багатотільну. Для цього розділимо деталь за допомогою команди – **«Разделить»**, як уже описано раніше. Потім на панелі **«Сварные детали»** натисніть кнопку –

«Сварная деталь». Іноді зварні з’єднання, особливо тонкостінні, підкріплюються приварними куточками. Давайте й ми наше з’єднання зробимо більш міцним установкою куточка посередині майбутнього зварного шва.

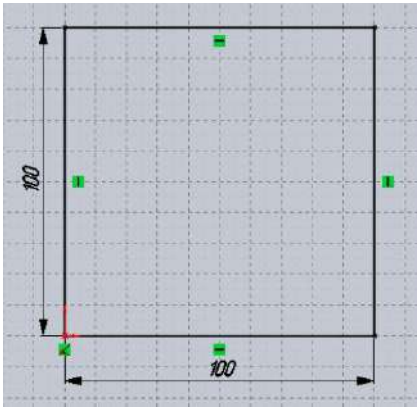


Рисунок 10.35 – Ескіз для таврового з’єднання

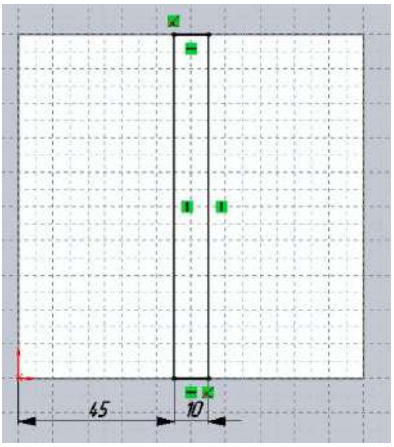


Рисунок 10.36 – Ескіз другої деталі

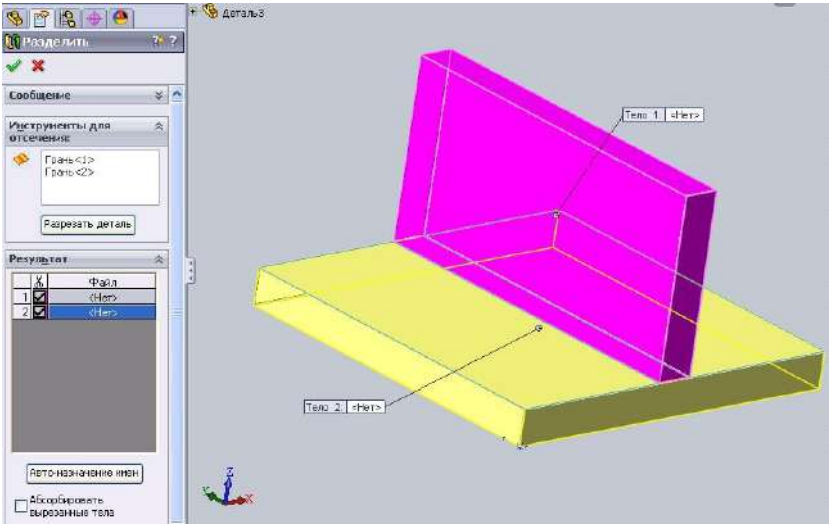


Рисунок 10.37 – Процес створення таврового зварного з’єднання

4. На панелі інструментів **«Сварные детали»** викличте команду – **«Угловое соединение»**, яка додає елемент кутового з'єднання між двома плоскими гранями, що примикають. У менеджері властивостей з'явиться діалогове вікно **«Угловое соединение»** (рис. 10.38).

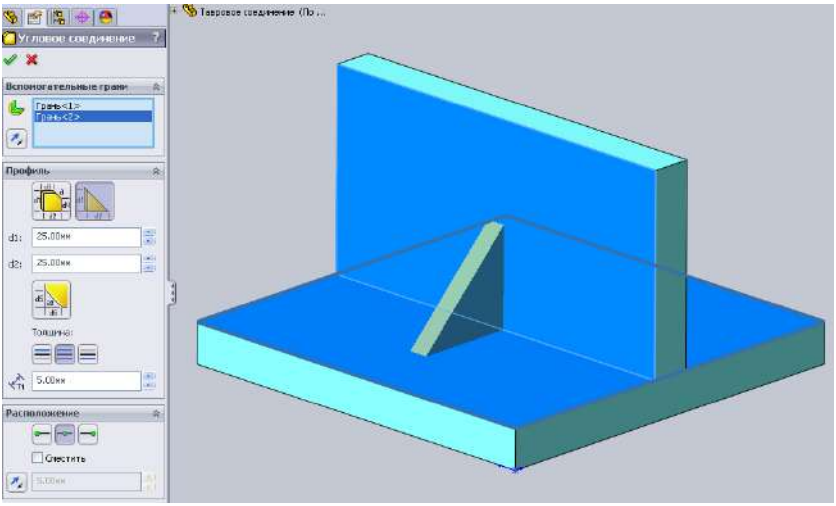


Рисунок 10.38 – Елемент кутового з'єднання
між двома плоскими гранями

Клацніть мишею в полі **«Вспомогательные грани»**, а потім виберіть їх на деталі, як показано на рис. 10.38. У параметрі **«Профиль»** можна вибрати один із двох профілів:

- трикутний профіль;
- квадратний профіль зі скосом.

Після вибору профілю можна задати його розміри. За допомогою параметра **«Толщина»** можна задати розмір елемента й указати за допомогою кнопок центрування елемента: по внутрішній стороні, симетрично й по зовнішній стороні.

А за допомогою кнопок можна задати положення елемента щодо деталі: у початковій точці, у серединній точці або в кінцевій точці. При вказуванні положення в серединній точці можливе завдання зсуву на певну величину. Задайте розміри й параметри так, як зазначено на рис. 10.38, і натисніть кнопку **OK.**

Таким чином, ви одержите елемент, показаний на рис. 10.39.

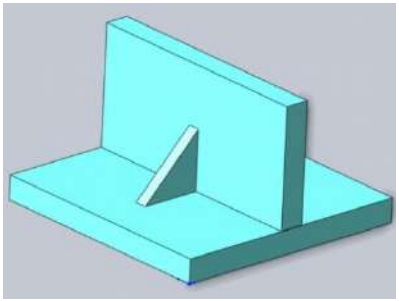


Рисунок 10.39 – Готова деталь із кутовим елементом

5. Оскільки крайки деталі в даному з'єднанні обробляти не потрібно, то залишилося тільки створити зварювальний шов. Для цього на панелі інструментів **«Сварная деталь»** викличте команду – **«Скругленный шов»**.

Клацніть мишею в полі **«Набор граней1»** і потім по верхній грані першої деталі (наприклад, **Грань <1>**).

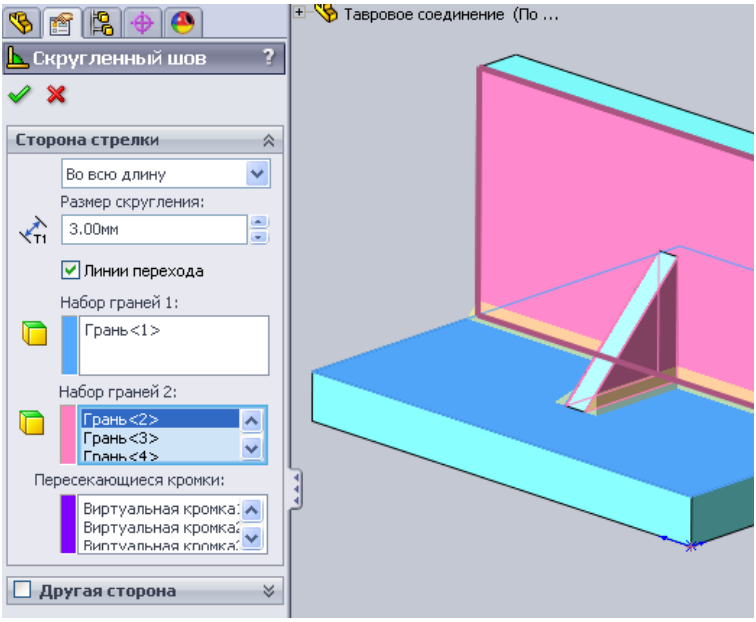


Рисунок 10.40 – Створення зварювального шва

Найменування грані відобразиться в полі. Тепер клацніть мишею в полі **«Набор граней2»** і потім по бічних гранях другої деталі з двох їхніх сторін і доданого елемента. Товщину шва в

параметрі **«Размер скругления»** встановіть рівною 3 мм (рис. 10.40).

6. Натисніть кнопку **ОК.** Для одержання звареного шва на другому катеті додаткового елемента скористайтеся ще раз командою – **«Скругленный шов»**. Тільки тепер у якості елемента параметра **«Набора граней1»** укажіть грань другої деталі – і ви одержите готову деталь зі зварним тавровим з'єднанням (рис. 10.41).

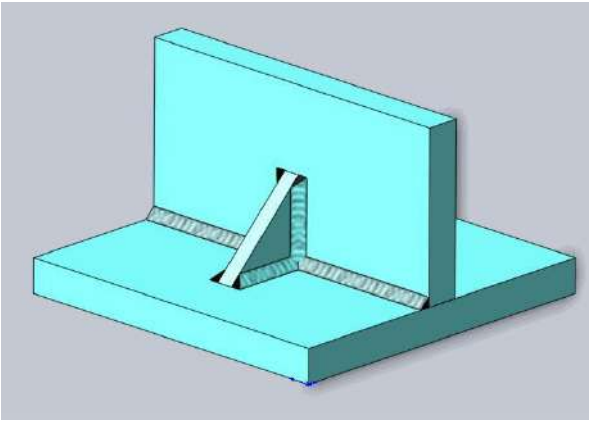


Рисунок 10.41 – Готова деталь зі зварним тавровим з'єднанням

Збережіть зварну деталь під іменем **Таврове з'єднання.sldprt.**

Питання для самоперевірки

1. Які основні принципи створення зварних конструкцій?
2. Розкажіть як створити зварну конструкцію на основі тривимірного ескізу.
3. Назвіть недоліки зварних з'єднань?
4. Від чого залежить конструкція зварюваних деталей?
5. Що таке точка пробиття?
6. Що необхідно враховувати при створенні ескізів власних профілів зварювання?
7. Які є зварні з'єднання по виду взаємного розташування деталей?

8. Назвіть типи зварних конструкції які можна створювати у SolidWorks.
9. Розкажіть алгоритм створення зварної конструкції із тривимірного ескізу.
10. Що необхідно враховувати при створенні ескізів власних профілів?
11. Як зберегти власні профілі в існуючій структурі папок SolidWorks?
12. Як зберегти власні профілі в окремій папці?
13. Розкажіть алгоритм створення зварної конструкції за допомогою багатотільної деталі.
14. Як створити напускне зварне з'єднання?
15. Як створити таврове зварне з'єднання?
16. Як додати пробки на відкриті кінці квадратного профілю?

11 СТВОРЕННЯ СКЛАДАНЬ ДЕТАЛЕЙ

SolidWorks дозволяє створювати складання з безлічі різних компонентів. Компонентами в складанні є окремі деталі або інші складання, які ще називають вузлами складання. Усі складання в SolidWorks мають розширення sldasm. Розглянемо основні види складань і принципи їх побудови.

11.1 Основні принципи створення складань

В SolidWorks можна побудувати складання двох типів: складання «знизу-нагору» і складання «зверху-униз». Складання «знизу-нагору» являє собою складання конструкції з готових деталей. Для побудови такого складання, деталі повинні бути заздалегідь спроектовані й збережені в окремих файлах.

Конструкція або вузол збираються із цих деталей аналогічно реальному складанню. У процесі складання необхідно деталі помістити в тривимірний складальний простір і вказати умови їх сполучення один з одним.

При проектуванні складання «зверху-униз» спочатку створюється компонувальний ескіз складання, а вже на його основі будуються окремі деталі. Ці деталі відразу є вбудованими в загальне складання. Такий тип складання зручний тим, що при зміні компонувального ескізу складання, автоматично змінюються розміри й конфігурації складових її деталей.

Отже розглянемо детальніше принципи побудови складань.

Для створення складання запустимо програму SolidWorks і виберемо команду меню **«Файл | Новый...»**. На екрані з'явиться вікно **«Новый документ SolidWorks»** зі списком шаблонів: **«Деталь, Сборка, Чертеж»** (рис. 11.1).

Виберемо шаблон **«Сборка»** й натиснемо кнопку **OK**, відзначивши появу в дереві конструювання рядка **«Сопряжения»** (рис. 11.2).

Тепер настроїмо необхідну нам панель інструментів. Для цього виберемо команду меню **«Инструменты | Настройка | Панели инструментов»** і встановимо прапорець **«Сборка»**. Після цього панель інструментів **«Сборка»** з'явиться на екрані дисплея (рис. 11.3).

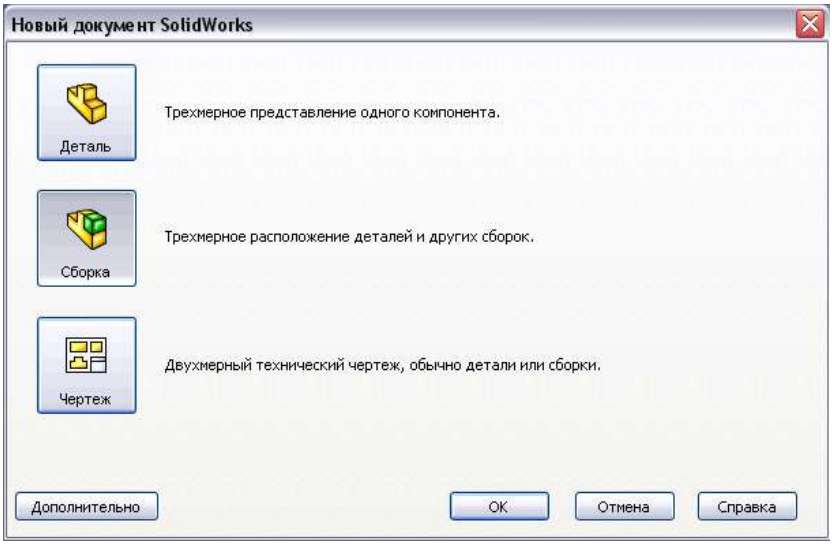


Рисунок 11.1 – Вікно SolidWorks зі списком шаблонів

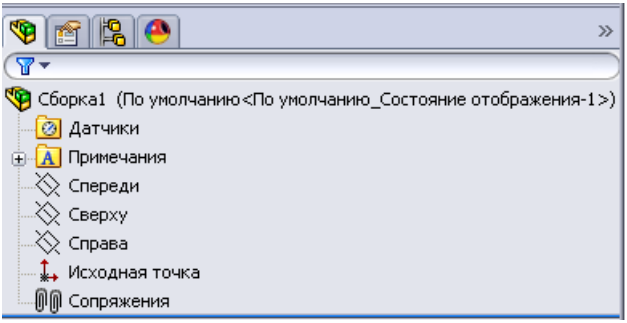


Рисунок 11.2 – Рядок «Сопряжения»
в дереві конструювання

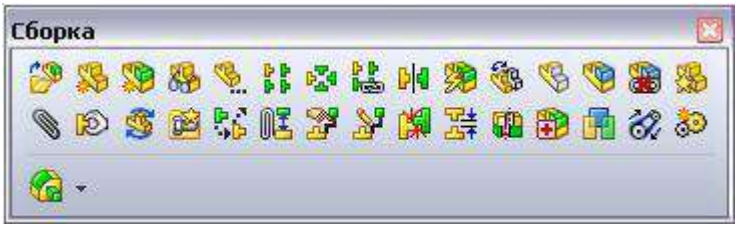


Рисунок 11.3 – Панель інструментів «Сборка»

Наступні кроки побудови складання залежать від типу створюваного складання – «зверху-униз» або «знизу-нагору».

11.2 Побудова складання «знизу-нагору»

Такий спосіб побудови складання має на увазі існування тривимірних моделей деталей, з яких буде створено складання. Після того як був відкритий тривимірний простір у шаблоні **«Сборка»,** й настроєна панель інструментів, помістимо в складальний простір деталі складання. Для цього виберемо команду меню **«Вставка | Компонент | Из файла»** (рис. 11.4) або активізуємо кнопку – **«Вставить компоненты»** панелі інструментів **«Сборка».**

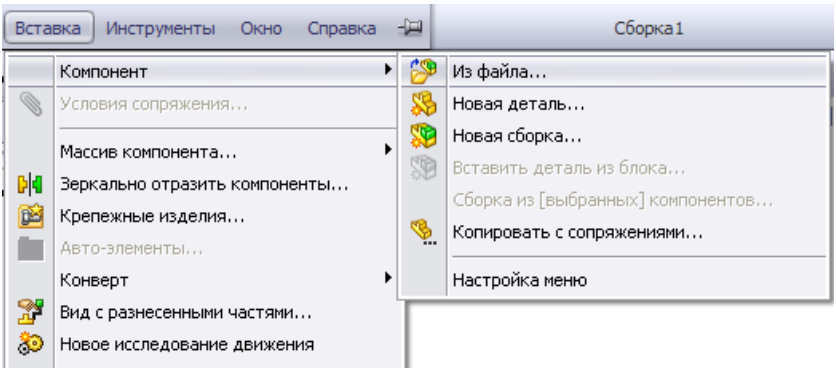


Рисунок 11.4 – Меню «Вставка | Компонент | Из файла»

У результаті на екрані відкриється вікно **«Вставить компонент»** (рис. 11.5). У поле **«Открыть документы»,** використовуючи кнопку **«Обзор»**, знайдемо файл із потрібною деталлю для розміщення в складанні.

Після того як обрано файл деталі, натиснемо кнопку **«Открыть»**. У результаті цих дій ми автоматично повернемося в складальний простір, де покажчиком миші позначимо місце для розміщення вихідної точки першої деталі складання.

При бажанні можна сполучити вихідну точку складального простору з вихідною точкою цієї деталі. Коли точка обрана, клацнемо лівою кнопкою миші, і деталь буде розміщена в просторі. Аналогічним образом у складальний простір додаються

всі деталі, необхідні для побудови складання.

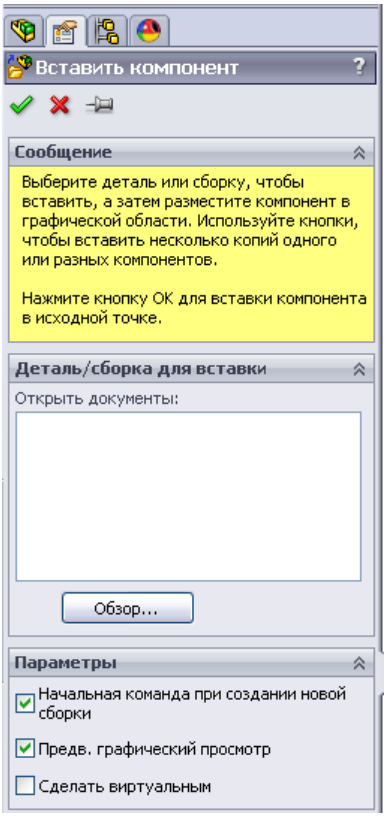


Рисунок 11.5 – Процес додавання компонента у складання

При створенні складання в SolidWorks можна зафіксувати деталі, тобто зробити їх нерухливими в просторі.

Зафіксована деталь чи ні, можна довідатися в дереві конструювання. Якщо в імені деталі є префікс **(ф)**, то вона зафіксована і її неможливо перемістити, якщо префікс має вигляд (-), то її положення в просторі не визначене. Перша деталь складання автоматично є зафіксованою. Зафіксувати або звільнити деталь можна, якщо клацнути правою кнопкою миші на назві деталі в дереві конструювання, й на панелі що з'явилася, у розділі **«Компонент»** позначити **«Зафиксированный»** або **«Освободить»** (рис. 11.6).

Незафіксовані деталі в складальному просторі можна легко переміщати, нажавши кнопку – **«Переместить компонент»** панелі інструментів **«Сборка»**.

Обертати незафіксовані деталі дозволяє кнопка – **«Вращать компонент»**. Щоб зібрати деталі в єдину конструкцію, потрібно задати умови сполучення. Для цього на панелі інструментів **«Сборка»** необхідно активізувати кнопку – **«Условия сопряжения»**.

З'явиться вікно **«Сопряжение»**, де в розділі **«Выбор сопряжений»** слід указати об'єкти, що сполучаються (поверхні, крайки, осі, грані) і тип сполучення.

Об’єкти виділяються за допомогою курсору миші, імена об’єктів, що сполучаються, вказуються у вікні – **«Объекты для сопряжения»**, у розділі **«Выбор сопряжений»** (рис. 11.8). Тип сполучення вибирається в розділах **«Стандартные сопряжения, Дополнительные сопряжения, Механические сопряжения»** (рис. 11.8).

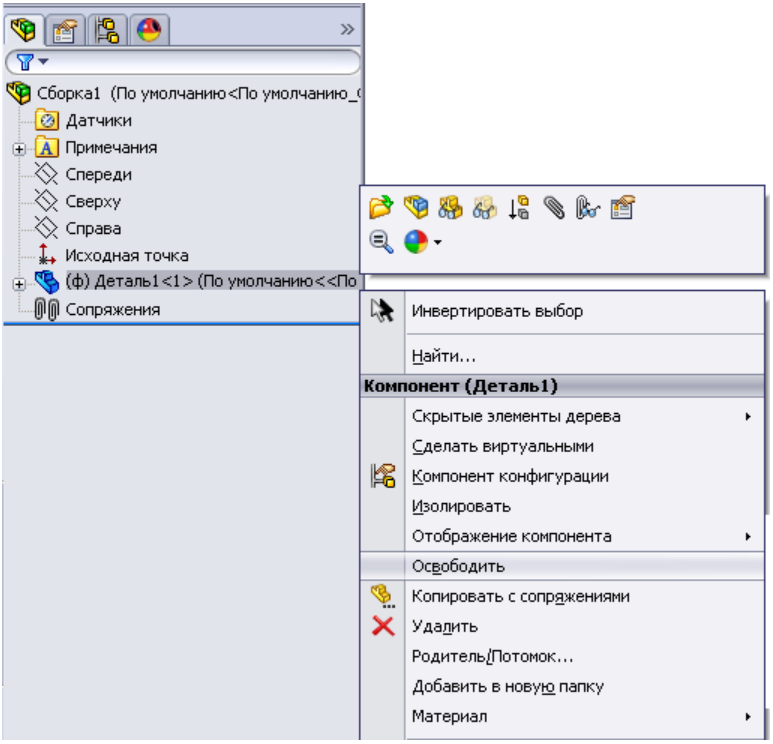


Рисунок 11.6 – Процес фіксації
(звільнення) деталі в складанні

У загальному випадку для створення складання обирають наступні стандартні сполучення (рис. 11.8):

- **«Совпадение»** – елементи деталей (осі, крайки, поверхні, грані) збігаються на нескінченності;
- **«Параллельность»** – указує на паралельне розташування граней, поверхонь, крайок або осей деталей;

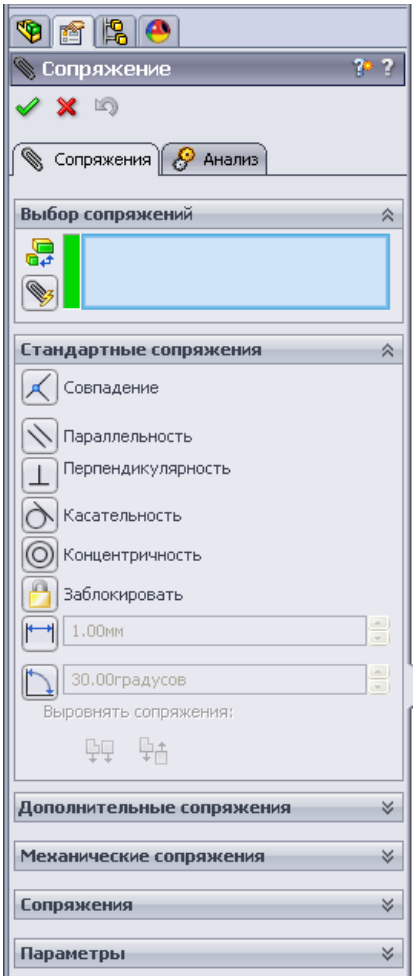


Рисунок 11.8 – Типи сполучень

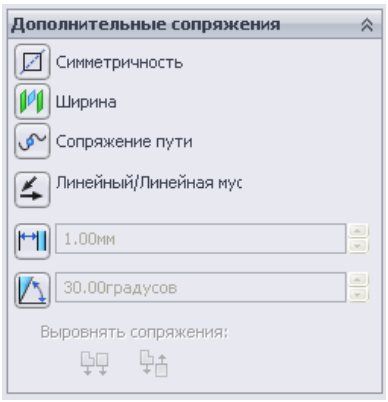


Рисунок 11.7 – Додаткові сполучення

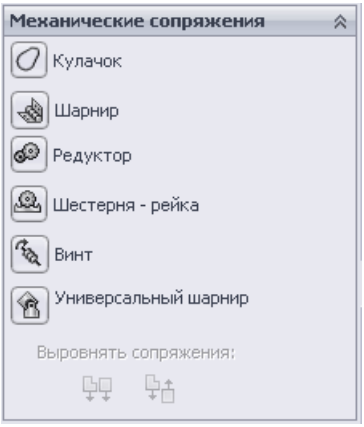


Рисунок 11.9 – Механічні сполучення

- **«Перпендикулярность»** – обрані елементи розташовуються під кутом 90°;
- **«Касательность»** – указує на дотичність відзначених поверхонь, при цьому хоча б одна поверхня повинна бути неплоскою (сферичної, циліндричної, конічної);
- **«Концентричность»** – указує на концентричне

розташування циліндричних, конічних, сферичних поверхонь і крайок;

- **«Заблокировать»** – це сполучення дозволяє прив'язати два компоненти складання одне до одного, зберігаючи їх взаємне розташування й орієнтацію;
- **«Расстояние»** – виділені поверхні, осі, крайки розташовуються на зазначеній відстані;
- **«Угол»** – виділені елементи розташовуються під деяким кутом.

У вікні «Сопряжения», в розділі «Дополнительные сопряжения» доступні шість типів сполучень: «Симметричность, Ширина, Сопряжение пути, Линейный/Линейная муфта, Расстояние, Угол» (рис. 11.7):

- сполучення **«Симметричность»** дозволяє розташувати два схожі елементи симетрично щодо площини або плоскої грані. Використовувати це сполучення можна для наступних об'єктів: точки (вершини), лінії (крайки, осі), площини, плоскої грані, сфери й для циліндричних поверхонь рівних радіусів;
- за допомогою сполучення **«Ширина»** можна центрувати виступ деякої деталі по ширині канавки іншої деталі що сполучається;
- **«Сопряжение пути»** обмежує обрану точку на компоненті (зазвичай яку-небудь вершину), так що вона може переміщатися в складанні тільки по певному шляхову, який складається із крайок, кривих або елементів ескізу;
- сполучення **«Линейный/Линейная муфта»** встановлює взаємозв'язок між переміщенням одного компонента й переміщенням іншого компонента;
- сполучення **«Расстояние»** дозволяє створити сполучення, при якому якийсь компонент складання може переміщатися в певному діапазоні відстаней від іншого компонента. Мінімальна й максимальна відстань вказується у полях **«Максимальное значение»** й **«Минимальное значение»**;
- сполучення **«Угол»** дозволяє створити сполучення, коли один компонентів складання може переміщатися в

певному діапазоні кутів щодо іншого компонента. Мінімальне й максимальне значення кута вказується у полях **«Максимальное значение»** й **«Минимальное значение».**

Два останні сполучення дозволяють фіксувати відстань і кут між компонентами складання в певних межах при їхньому взаємному переміщенні.

Розглянемо сполучення в розділі **«Механические сопряжения»** (рис. 11.9):

- сполучення **«Кулачок»** дозволяє встановити дотичне розташування або збіг поверхні якої-небудь деталі з поверхнею кулачка;
- **«Шарнир»** – це сполучення забезпечує обертання одного компонента складання навколо осі іншого компонента, тобто моделюється робота з'єднання типу шарнір. Сполучення **«Шарнир»** тотожно одночасному завданню двох сполучень – **«Концентричность»** і **«Совпадение»** (при цьому виключається переміщення уздовж осі);
- сполучення **«Редуктор»** дозволяє здійснювати в складанні спільне обертання двох компонентів (наприклад, зубчастих коліс) навколо обраної осі. Для такого сполучення необхідно указати осі обертання й передатне відношення в розділі **«Пропорция»**;
- сполучення **«Шестерня-рейка»** організує таке взаємне сполучення між компонентами складання, при якому лінійне переміщення однієї деталі (рейки) приводить до обертання іншої деталі (шестірні), і навпаки;
- сполучення **«Винт»** моделює відносне переміщення двох концентрично розташованих компонентів складання аналогічно нарізному сполученню, тобто при обертанні однієї деталі відбувається лінійне переміщення іншої деталі з урахуванням заданого кроку;
- **«Универсальный шарнир»** – це сполучення, при якому обертання одного компонента складання (вхідного вала) навколо своєї осі приводить до обертання іншого компонента (вихідного вала) навколо своєї осі.

Усі задані сполучення складання вказуються в дереві конструювання, у списку **«Сопряжения».**

Найменування кожного сполучення включає імена компонентів які є у ньому. При необхідності сполучення можна вилучити або редагувати, використовуючи можливості дерева конструювання.

Після того як задані всі необхідні сполучення між деталями й зафіксовані деталі, які в реальному складанні залишаються нерухливими, складання вважається готовим.

Показником правильно виконаного складання є відсутність конфліктних сполучень у дереві конструювання й можливість безперешкодного переміщення деталей, подібно руху в реальному об'єкті. Здійснити рух деталей можна за допомогою кнопки – **«Переместить компонент».**

11.3 Побудова складання «зверху-униз»

Для проектування складання методом «зверху-униз» необхідно відкрити тривимірний простір SolidWorks і вибрати режим роботи програми зі складаннями, виконавши команду **«Файл | Новый... | Сборка»**. Потім у дереві конструювання виберемо площину **«Спереди»**, увійдемо в ескіз і побудуємо компонувальний ескіз складання.

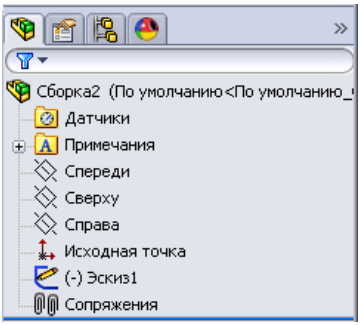


Рисунок 11.10 – Елемент «Эскиз1» в дереві конструювання

При малюванні ескізу потрібно обов'язково задати взаємозв'язки між елементами (лініями, окружностями, дугами і т.д.). У цілому, компонувальний ескіз складання повинен бути визначений.

Коли закінчите створення ескізу, вийдіть із нього, при цьому в дереві конструювання над рядком **«Сопряжения»** з'явиться елемент **«Эскиз1»** – це і є компонувальний ескіз складання (рис. 11.10).

Тепер можна зберегти складання й почати проектування окремих деталей складання. Для проектування деталей на основі компонувального ескізу необхідно вибрати команду меню: **«Вставка | Компонент | Новая деталь...»** (рис. 11.11) або

скористатися командою – **«Создать»** панелі інструментів **«Сборка»**.

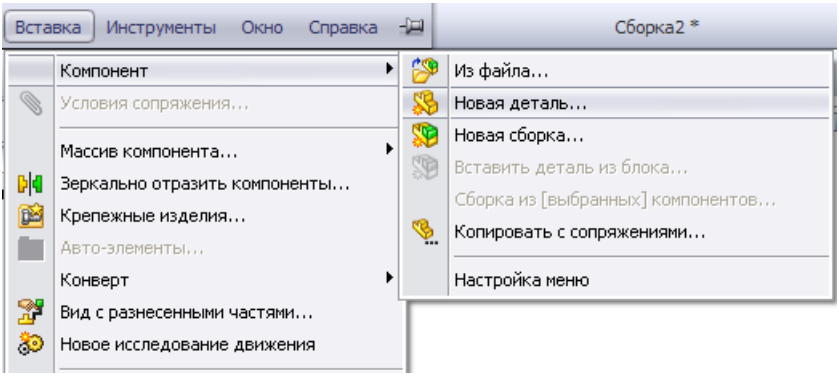


Рисунок 11.11 – Створення нової деталі

У дереві конструювання над рядком **«Сопряжения»** з'явиться новий елемент з іменем **[Деталь1^Сборка2]** (рис. 11.12). Тепер можна почати побудову деталі. При цьому компонувальний ескіз складання залишається на екрані в якості допоміжного об'єкта.

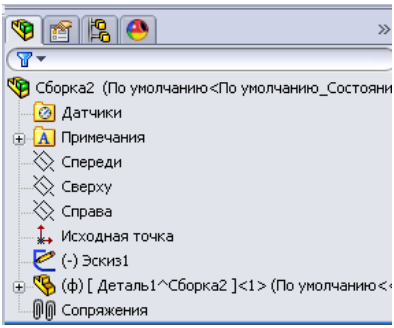


Рисунок 11.12 – Новий елемент в дереві конструювання

Побудова деталі в режимі складання «зверху-униз» аналогічно конструюванню деталі у шаблоні **«Деталь»**, але спочатку потрібно вийти зі складання й увійти в режим редагування деталі.

Для цього виділіть рядок з іменем деталі в дереві конструювання курсором миші і в спливаючому меню активізуйте команду – **«Редактирование детали»** (рис. 11.13).

У результаті ви опинитеся в режимі редагування деталі, при цьому рядок у дереві конструювання виділиться синім кольором. Відкриємо дерево конструювання нової деталі, клацнувши значок

у рядку імені деталі, і виберемо площину для створення ескізу першого елемента цієї деталі (рис. 11.14). Намалюємо ескіз нової деталі, побудуємо бобишки, оформимо окружності, фаски, округлення, вирізи та інші елементи.

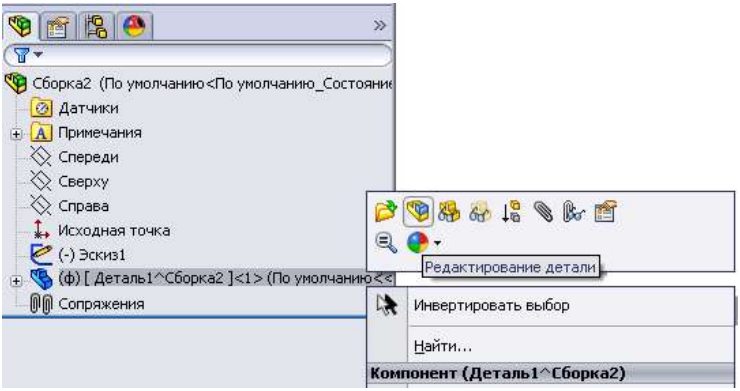


Рисунок 11.13 – Активізація команди редагування деталі

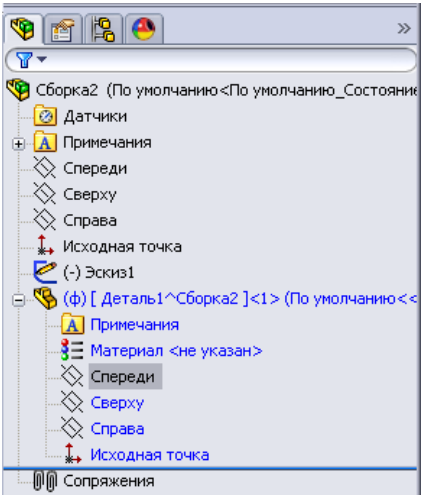


Рисунок 11.14 – Вибір площини для створення ескізу

При створенні ескізів деталей складання необхідно використовувати взаємозв'язки між компонувальним ескізом складання й ескізом деталі.

Щоб почати створення наступної деталі, необхідно відредагувати складання: вийти з режиму редагування першої деталі, клацнути правою кнопкою миші ім'я деталі й вибрати в контекстному меню що з'явилося, команду **«Редактировать сборку: <Имя сборки>«** (рис. 11.15).

У результаті складання буде перебудовано, а ви одержите

можливість сконструювати інші деталі складання. При побудові складання методом «зверху-униз» у файлі складання автоматично створюються віртуальні файли проектованих деталей. При необхідності ці віртуальні файли можна зберегти як реальні, указавши їхні ім'я та місце розташування (каталог і папку).

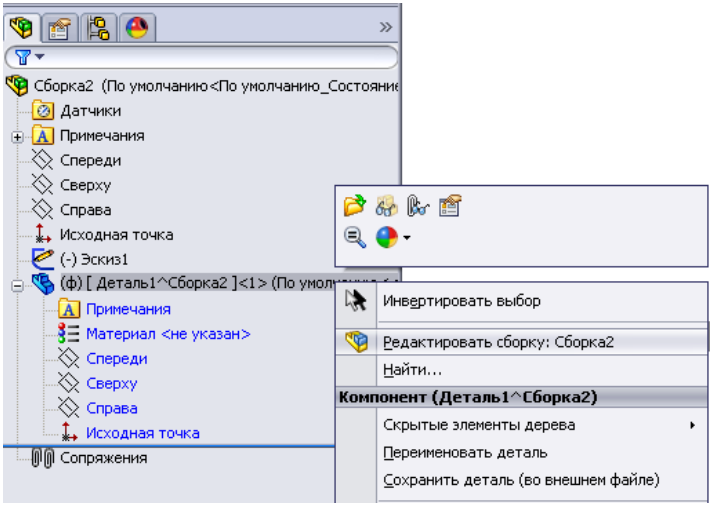


Рисунок 11.15 – Вихід з режиму редагування першої деталі

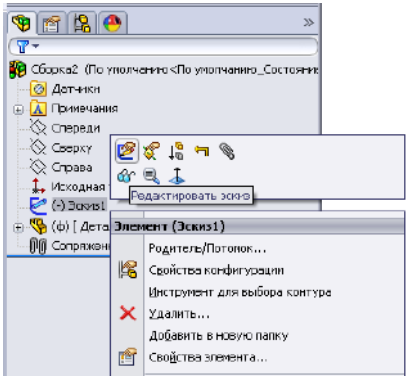


Рисунок 11.16 – Вибір команди «Редактировать эскиз»

Основна перевага складання «зверху-униз» полягає в тому, що при редагуванні компонувального ескізу складання відбувається автоматична зміна всього складання й деталей, що входять у нього. Для зміни ескізу складання необхідно в дереві конструювання клацнути правою кнопкою миші елемент **«Эскиз1»** (ескіз складання) і вибрати в спливаючому меню команду – **«Редактировать эскиз»** (рис. 11.16).

Увійдемо в компонувальний ескіз складання, поміняємо його розміри й конфігурацію, потім вийдемо з ескізу. У результаті, зміни перетерпить не тільки складання, але й тривимірні моделі складових її деталей.

11.4 Складання « знизу-нагору»

Розглянемо принцип побудови такого складання на прикладі редуктора. У нас є раніше сконструйовані деталі, з яких будемо створювати складання: корпус редуктора, зубчасте колесо, вал східчастий, кришка, манжета, гвинт із шестигранною головкою, кришка з маслоотгонним різьбленням – усі ці деталі були побудовані раніше. Окремо були створені наступні деталі: глуха кришка, втулка, вал-шестірня, шпонка, гайка й шайба.

Для початку побудуємо просте складання, що складається всього із двох деталей – Кришки й Манжети. Цю складальну одиницю потім будемо використовувати в якості компонента загального складання редуктора.

Приклад № 1. Кришка

Для побудови складання запустимо програму SolidWorks і ввійдемо в режим створення складання, вибравши шаблон **«Сборка»** (рис. 11.1). Не забудьте настроїти панель інструментів. Для цього виберіть команду меню **«Инструменты | Настройка | Панели инструментов»** і поставте прапорець **«Складання».**

1. Помістимо в складальний простір деталь **Кришка**, для цього активізуємо команду меню **«Вставка | Компонент | Из файла»** або скористаємося кнопкою – **«Вставить компоненты»** панелі інструментів **«Сборка»**. У вікні що відкрилося, **«Вставить компонент»** (рис. 11.5) натиснемо кнопку **«Обзор»**, виберемо в робочому каталозі файл **Кришка.SLDPRT** і натиснемо кнопку **«Открыть»** (рис. 11.17).

У результаті цих дій ми знову опинимося в складальному просторі. Курсором укажемо місце розташування деталі **Кришка** в складальному просторі, сполучивши її вихідну точку з вихідною точкою складання (рис. 11.18). Деталь розміститься в тривимірному просторі, а в дереві конструювання з'явиться рядок **(ф) Кришка<1>**. Префікс **(ф)** означає зафіксоване положення деталі в складальному просторі. Перша деталь, що вставляється в складання, завжди є зафіксованою.

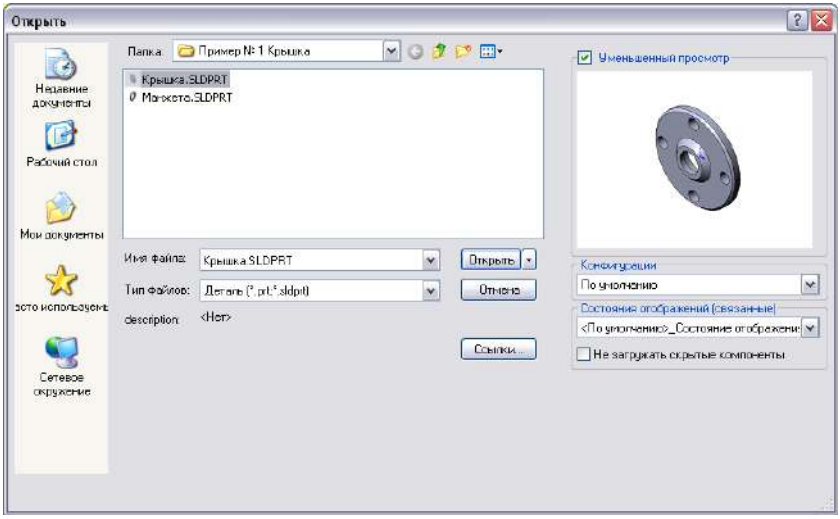


Рисунок 11.17 – Додавання компонента у складання

2. Аналогічним чином помістимо в складальний простір деталь **Манжета** (рис. 11.19).

3. Перш ніж задати сполучення, зорієнтуємо деталі в просторі з урахуванням конфігурації створюваного складання, для цього активізуємо кнопку – **«Вращать компонент»** і повернемо манжету в напрямку до кришки (рис. 11.20).

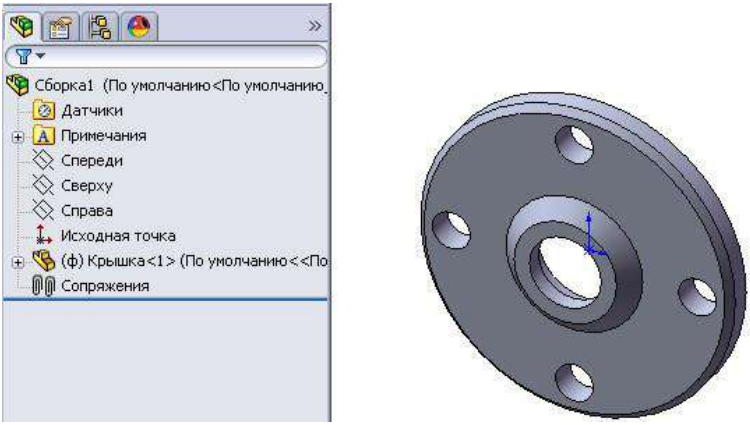


Рисунок 11.18 – Додана в складання деталь Кришка

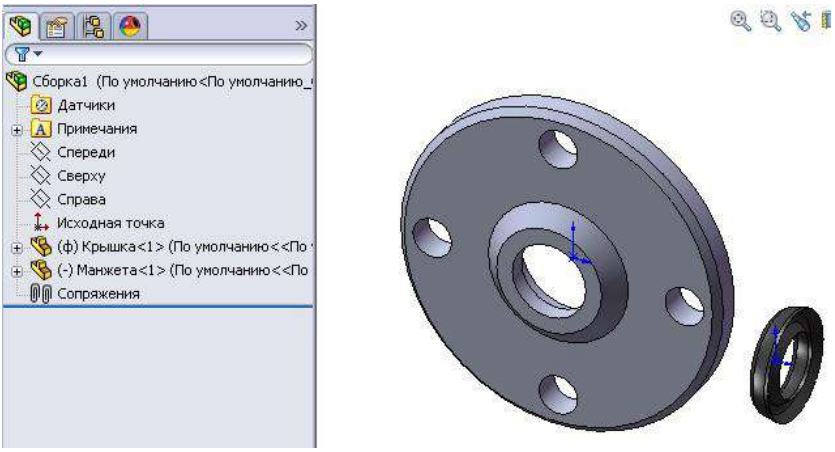


Рисунок 11.19 – Додана в складання деталь Манжета

4. Щоб зібрати ці дві деталі в єдину конструкцію, задамо умови сполучення. Для цього на панелі інструментів **«Сборка»** активізуємо кнопку – **«Условия сопряжения»**.

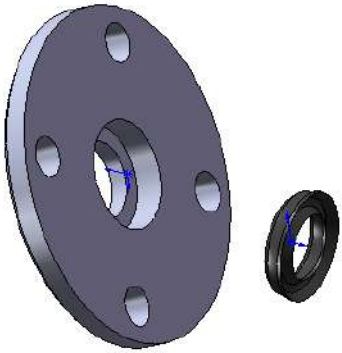


Рисунок 11.20 – Зміна розташування деталей

На екрані з'явиться вікно **«Сопряжения»**, де вкажемо елементи, деталей що сполучаються, і типи сполучень: **«Концентричность»** – внутрішньої циліндричної грані кришки й крайки манжети (рис. 11.21); **«Совпадение»** – плоских поверхонь кришки й манжети (рис. 11.22).

5. Закінчимо створення складання, нажавши кнопку **OK.** У результаті одержимо кришку з манжетою в зборі, а в Дереві Конструювання в групі **«Сопряжения»** з'являться два сполучення – **«Концентричный1»** і **«Совпадение1»** (рис. 11.23).

Збережемо це складання під іменем **Кришка**.

Приклад № 2. Редуктор.

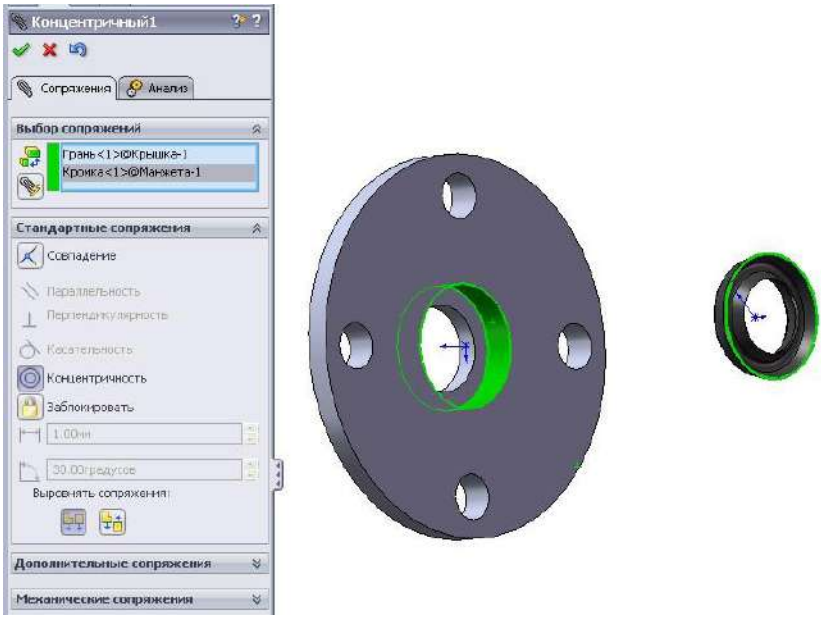


Рисунок 11.21 – Процес завдання
сполучень двом деталям

Розглянемо побудову більш складного складання – редуктора, який спроектуємо на базі раніше сконструйованих деталей. Для початку запустимо програму SolidWorks і виконаємо наступні дії в режимі побудови складання.

1. Помістимо в складальний простір деталь **«Корпус редуктора»**, для цього активізуємо команду меню **«Вставка | Компонент | Из файла»** або скористаємося кнопкою – **«Вставить компоненты»** панелі інструментів **«Сборка»**. У вікні **«Вставить компонент»** натиснемо кнопку **«Обзор»**, виберемо елемент **«Корпус редуктора.SLDPRT»** і натиснемо кнопку **«Открыть»** (рис. 11.24).

2. Помістимо корпус редуктора в тривимірний складальний простір (рис. 11.25).

3. Це нижня половина корпуса редуктора, у якій ми будемо розташовувати інші деталі складання, тому її необхідно розвернути на 180°.

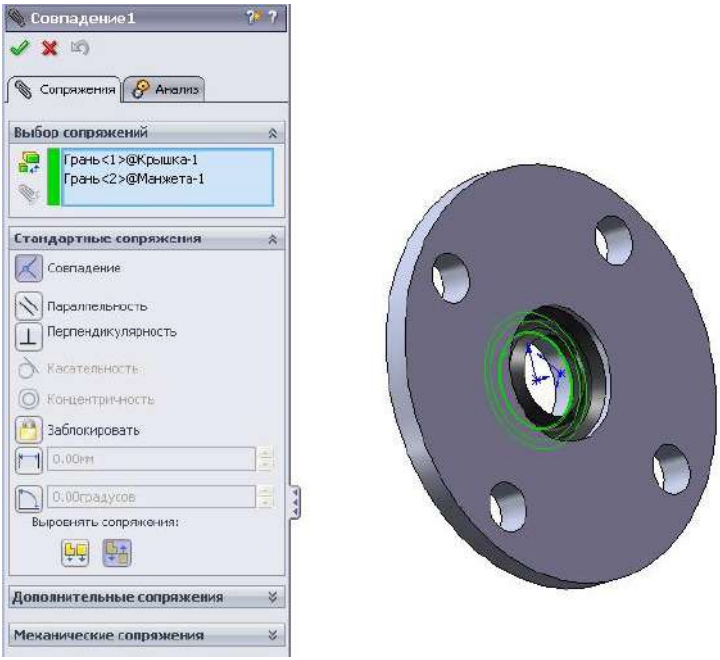


Рисунок 11.22 – Процес сполучення
внутрішньої циліндричної грані кришки й крайки манжети

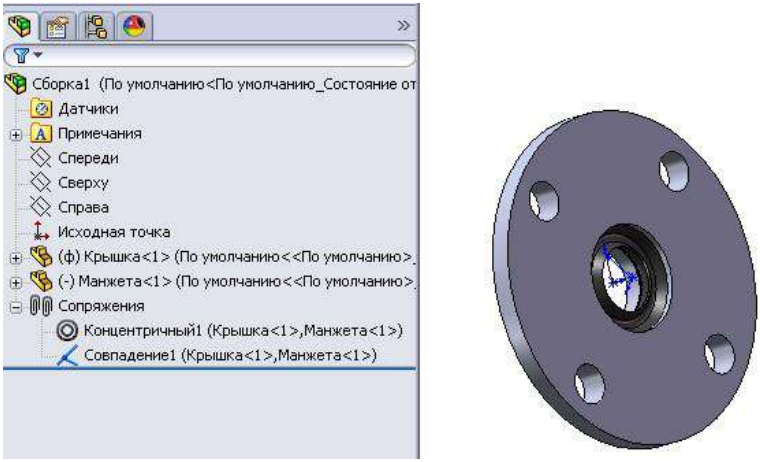


Рисунок 11.23 – Кінцевий результат
сполучення двох деталей

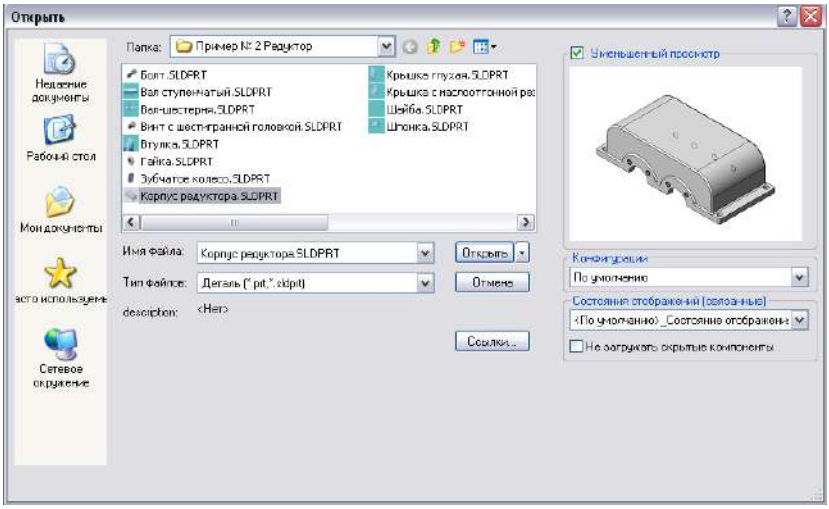


Рисунок 11.24 – Додавання деталі в простір складання

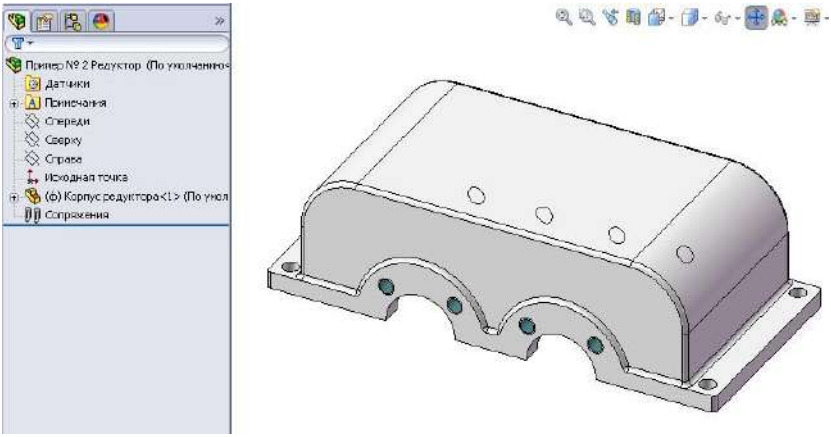


Рисунок 11.25 – Додана деталь
«Корпус редуктора» в складання

Але спочатку корпус редуктора потрібно звільнити, тому що перша деталь складання завжди фіксується в просторі. Для звільнення деталі клацнемо правою кнопкою миші на її назві в дереві конструювання й в контекстному меню що з’явилося активізуємо команду **«Освободить»** (рис. 11.26).

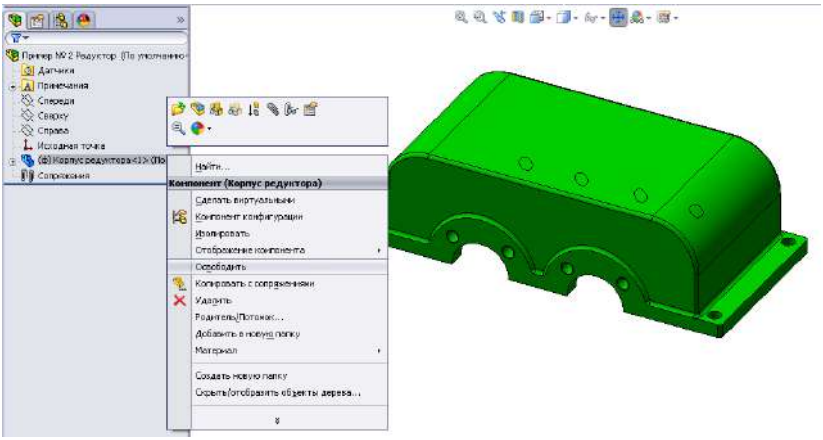


Рисунок 11.26 – Процес
зняття фіксації з деталі

У результаті префікс перед іменем деталі в дереві конструювання поміняє свій вид на прочерк, а деталь отримає волю переміщення.

4. Тепер перевернемо деталь, для чого скористаємося кнопкою – **«Вращать компонент»** панелі інструментів **«Сборка»** (рис. 11.27).

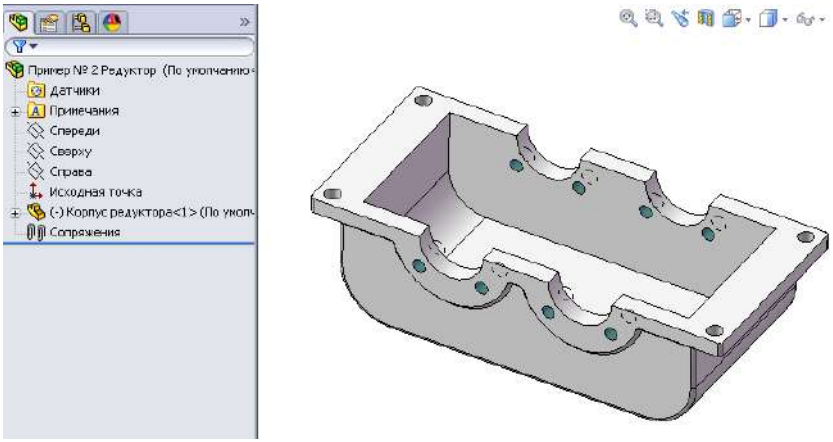


Рисунок 11.27 – Перевернута деталь
«Корпус редуктора» в складанні

5. Для того щоб корпус редуктора зорієнтувати щодо площин тривимірного простору, задамо умови сполучення: збіг площини **«Сверху»** й днища корпуса (рис. 11.28), а також збіг бічних поверхонь корпуса із площинами **«Спереди»** й **«Справа».**

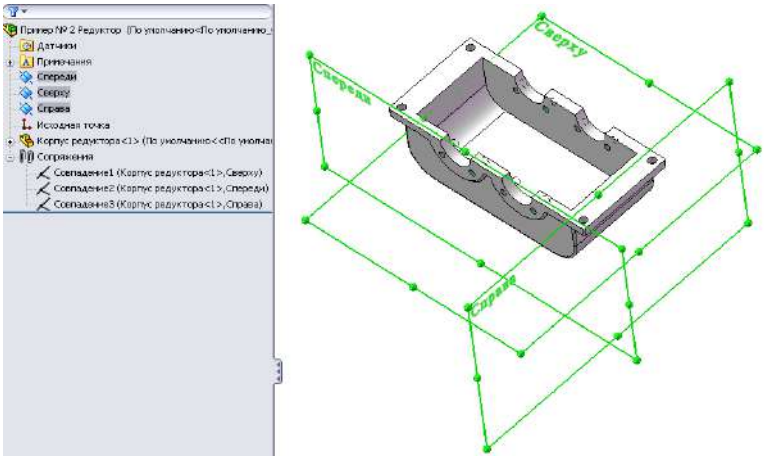


Рисунок 11.28 – Завдання умов сполучення деталі

Таким чином, корпус редуктора одержав однозначну орієнтацію в тривимірному складальному просторі, і його фіксування тепер не потрібне.

6. Розмістимо в складальному просторі наступні деталі: вал східчастий, вал-шестерню, зубчасте колесо й шпонку (рис. 11.29). Для розташування цих деталей у складанні скористаємося кнопкою – **«Вставить компоненты»** панелі інструментів **«Сборка».**

7. Спочатку помістимо шпонку в шпонковий паз східчастого вала. Для цього натиснемо кнопку – **«Условия сопряжения»**. У вікні **«Сопряжения»** вкажемо перше сполучення шпонки й вала – **«Совпадение»** (рис. 11.30). Збіг поверхонь спостерігається на нескінченності, незалежно від орієнтації деталей.

8. Укажемо ще два сполучення між елементами шпонки й вала – концентричність циліндричних поверхонь бічних граней шпонки й шпонкового паза (рис. 11.31). У результаті завдання перерахованих сполучень шпонка жорстко розташується в шпонковому пазу східчастого вала.

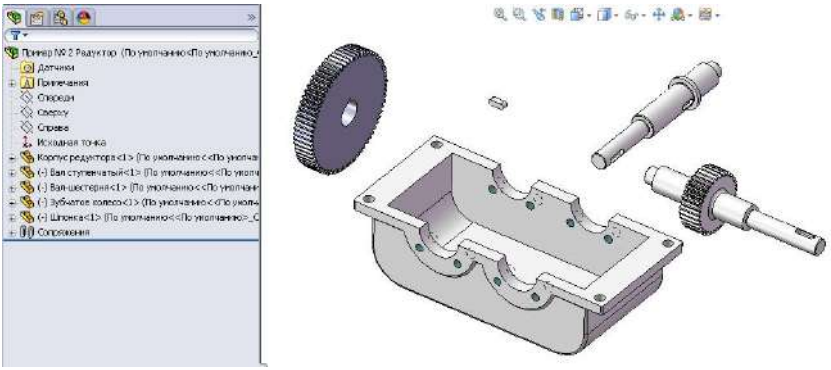


Рисунок 11.29 – Додані деталі
в простір складання

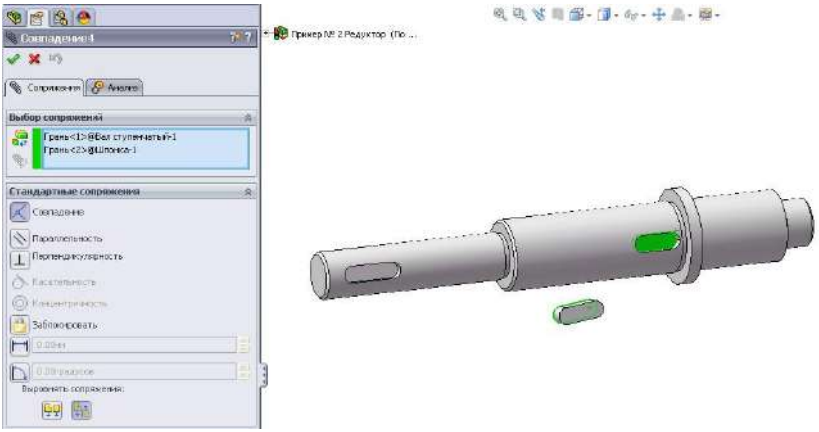


Рисунок 11.30 – Процес розміщення
шпонки у шпонковий паз вала

9. Помістимо зубчасте колесо на східчастий вал. Для цього досить задати три сполучення: концентричність – для внутрішнього отвору зубчастого колеса й зовнішньої поверхні вала; збіг – для плоских бічних граней шпонки й шпонкового паза колеса; збіг – для торцевих поверхонь зубчастого колеса й бурта вала (рис. 11.32).

10. Помістимо вал зі шпонкою й зубчастим колесом у корпус редуктора.

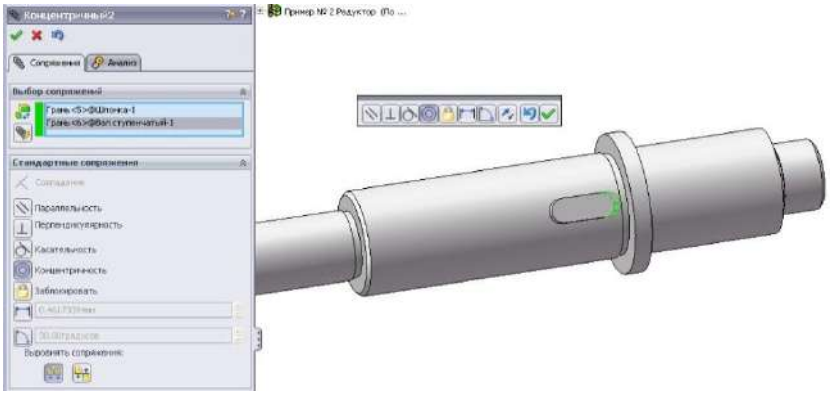


Рисунок 11.31 – Призначення додаткових
сполучень для шпонки й вала

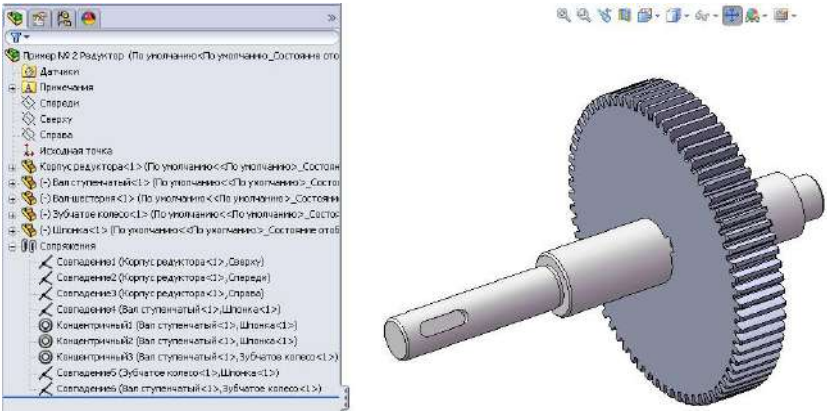


Рисунок 11.32 – Зубчасте колесо
розміщене на валу

Для цього задамо наступні сполучення: концентричність циліндричних поверхонь вала й корпуса редуктора; збіг внутрішньої плоскої поверхні корпуса із плоскою торцевою поверхнею виступу вала (рис. 11.33).

11. Аналогічним образом розташуємо вал-шестірню в корпусі редуктора, застосувавши два сполучення: концентричність циліндричних поверхонь і збіг торцевого бурту й плоскої внутрішньої грані корпуса (рис. 11.34).

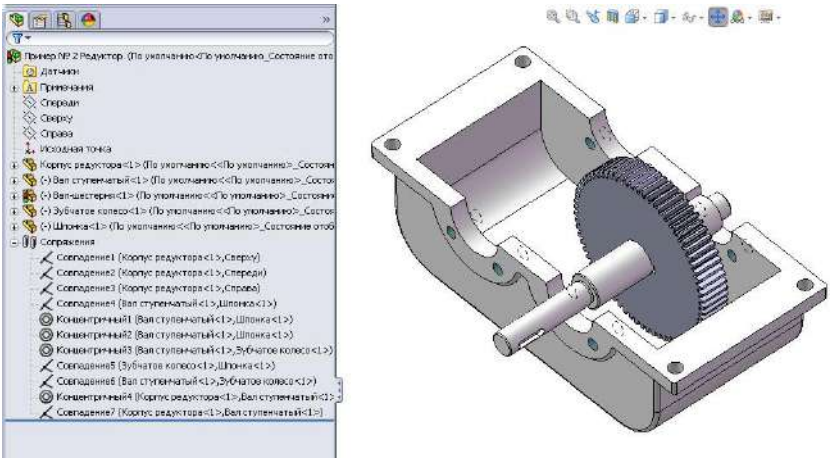


Рисунок 11.33 – Вал зі шпонкою й зубчастим
колесом у корпусі редуктора

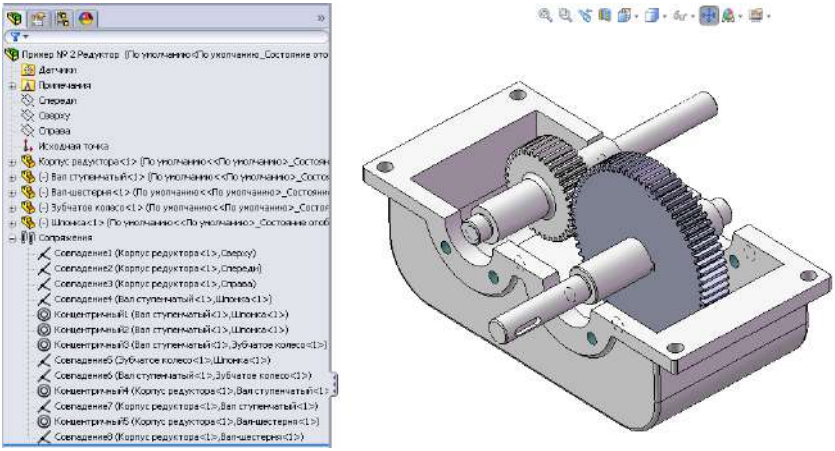


Рисунок 11.34 – Вал-шестірня
додана в корпус редуктора

12. У реальному редукторі при обертанні зубчастого колеса відбувається обертання вала-шестірні. При цьому швидкість обертання вала-шестірні у два рази перевищує швидкість обертання східчастого вала із зубчастим колесом, тобто передатне відношення рівне двом.

Таке обертання можна реалізувати й в SolidWorks. Спочатку розташуємо зубчасте колесо й шестірню таким чином, щоб зуби шестірні точно потрапили між зубами колеса (рис. 11.35). Для цього використовуємо кнопку – **«Вращать компонент»** панелі інструментів **«Сборка».**

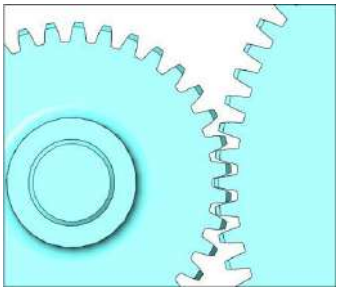


Рисунок 11.35 – Орієнтація зубів шестерні й колеса

13. Активізуємо кнопку – **«Условия сопряжения»** й у розділі **«Выбор сопряжений»** укажемо крайки вершин зубів східчастого вала й вала-шестірні, у розділі **«Механические сопряжения»** виберемо тип сполучення **«Редуктор»**, а в полях вікна **«Пропорция»** введемо 142 і 771,69.

У якості пропорції вказуються діаметри зубів, а передатне відношення програма SolidWorks розраховує самостійно (рис. 11.36).

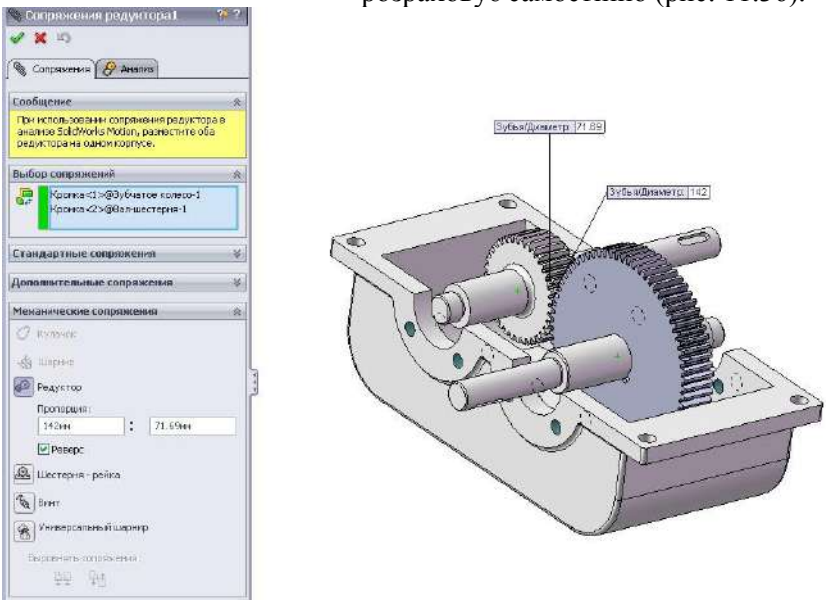


Рисунок 11.36 – Завдання чисельних значень при призначенні сполучень

Тепер при обертанні зубчастого колеса шестірня буде також обертатися, імітуючи роботу реального зубчастого зачеплення.

У даному редукторі використовуються чотири радіальні шарикопідшипники шириною 15 мм із зовнішнім діаметром 52 мм і внутрішнім діаметром 20 мм.

14. Створювати підшипники немає необхідності, тому що в SolidWorks є Бібліотека проектування стандартних деталей, які можна легко додати в будь-яке складання. Для настроювання Бібліотеки проектування спочатку звернемося до меню **«Инструменты | Добавления...»** і у вікні, що відкрилося, **«Добавления»** поставимо два прапорці – **«SolidWorks Toolbox»** і **«SolidWorks Toolbox Browser»** (рис. 11.37).

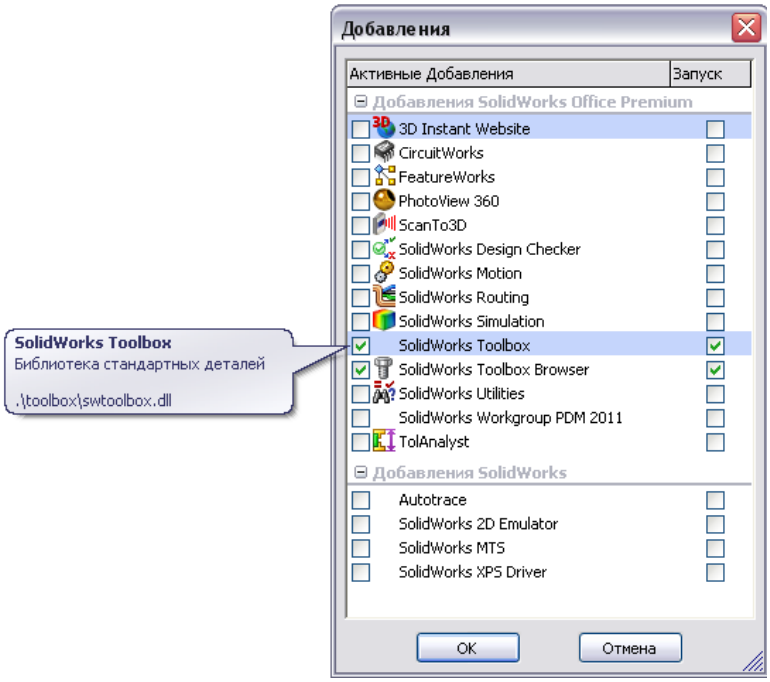


Рисунок 11.37 – Настроювання
Бібліотеки проектування

15. Відкриємо **«Библиотеку проектирования»**, нажавши однойменну кнопку на панелі завдань, праворуч від області

проектування (рис. 11.38), і відкриємо папку **Toolbox.**

16. Бібліотечні деталі розташовані в каталогах, відповідних до світових систем стандартів. У додатку **Toolbox** для SolidWorks є каталог деталей, відповідних до стандартів країн СНД – ГОСТ. Виберемо каталог ГОСТ, у цьому каталозі відкриємо папку **«Подшипники шариковые»** (рис. 11.39), де, у свою чергу, **«ГОСТ 2893-75 Радиальные»**. Оберемо тип підшипника, який будемо вставляти в складання – **«Средняя узкая серия».**

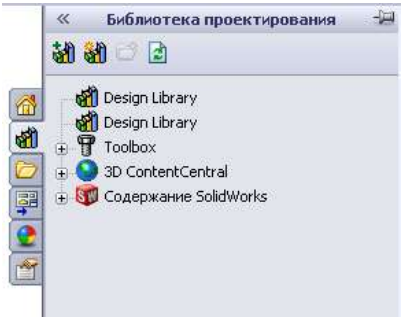


Рисунок 11.38 – Папка «Toolbox» у дереві конструювання

У тому випадку, якщо в **Toolbox** відсутня папка з деталями, відповідними до стандарту ГОСТ, можна скористатися аналогічними деталями бібліотеки **ISO.**

17. Клацнемо правою кнопкою миші по назві типу підшипників і на панелі, що відкрилася, активізуємо рядок **«Вставить в сборку...»** (рис. 11.40). Можна також просто перетягнути потрібний тип підшипника з бібліотеки в складальний простір.

18. У вікні **«Средняя узкая серия»** (рис. 11.41) уведемо в розділі **«Свойства»** внутрішній діаметр підшипника – 20. Інші розміри підшипника визначаються автоматично на підставі внутрішнього діаметра і його типу: зовнішній діаметр підшипника складе 52 мм, а ширина – 15 мм (рис. 11.41).

19. Натиснемо кнопку **OK**, у результаті підшипник з'явиться в складанні. Подібним чином розмістимо в складанні ще три підшипники (рис. 11.42). При додаванні з Бібліотеки проектування необхідно вказувати вихідну точку деталі, що додається, у складальному просторі.

20. Задамо сполучення першого підшипника. Для цього активізуємо кнопку – **«Условия сопряжения»** й у вікні, що з'явилося на екрані, **«Сопряжения»** виберемо **«Концентричность»** підшипника й східчастого вала, а також **«Совпадение»** плоских торцевих граней корпуса й підшипника (рис. 11.43).

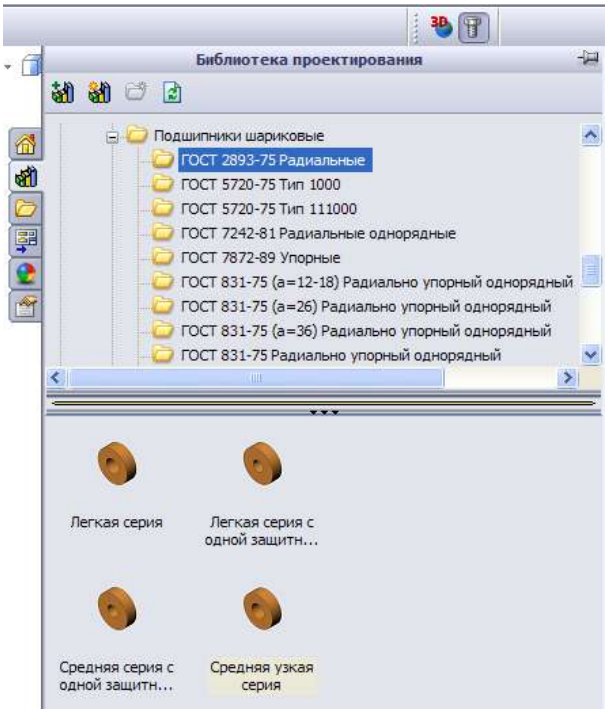


Рисунок 11.39 – Відкрита папка «Подшипники шариковые»

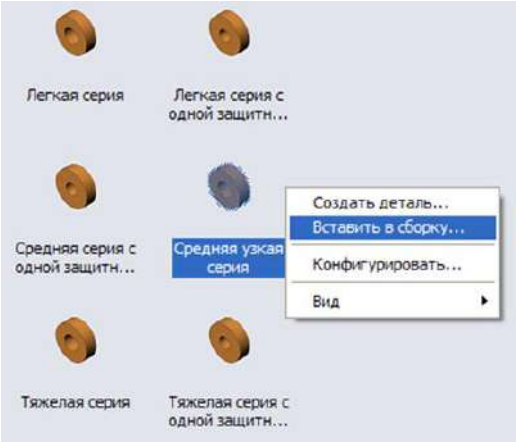


Рисунок 11.40 – Додавання підшипника
з бібліотеки в складальний простір

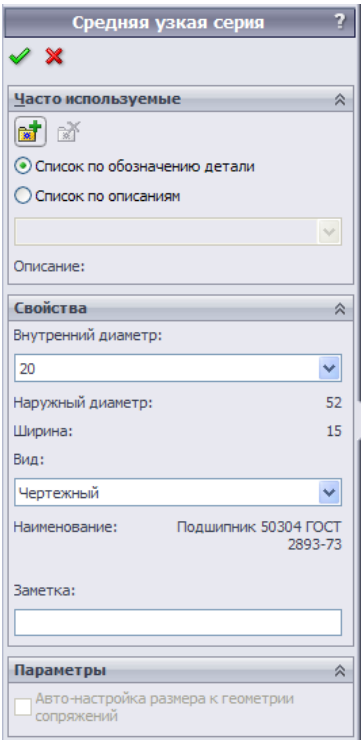


Рисунок 11.41 – Завдання параметрів підшипника

21. Подібним чином установимо інші підшипники в складання (рис. 11.44).

22. Наступним етапом створення складання стане розміщення кришок і втулки. Для чого скористаємося кнопкою – **«Вставить компоненты»**. Розмістимо в складальному просторі наступні деталі: дві глухі кришки, кришку з маслоотгонним різьбленням, кришку (складання кришки з манжетою) і втулку (рис. 11.45).

Розташуємо кришки в такий спосіб: глухі кришки на двох кінцях східчастого вала й вала-шестірні, кришку з маслоотгонним різьбленням на вихідному кінці вала-шестірні й кришку з манжетою на вихідному кінці східчастого вала (рис. 11.45).

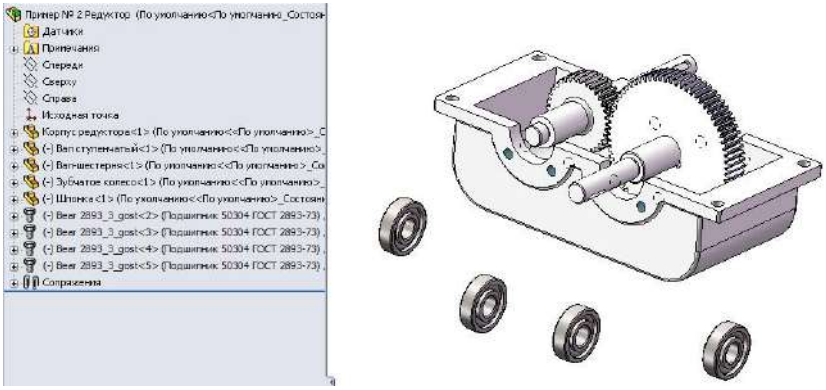


Рисунок 11.42 – Підшипники додані в складання

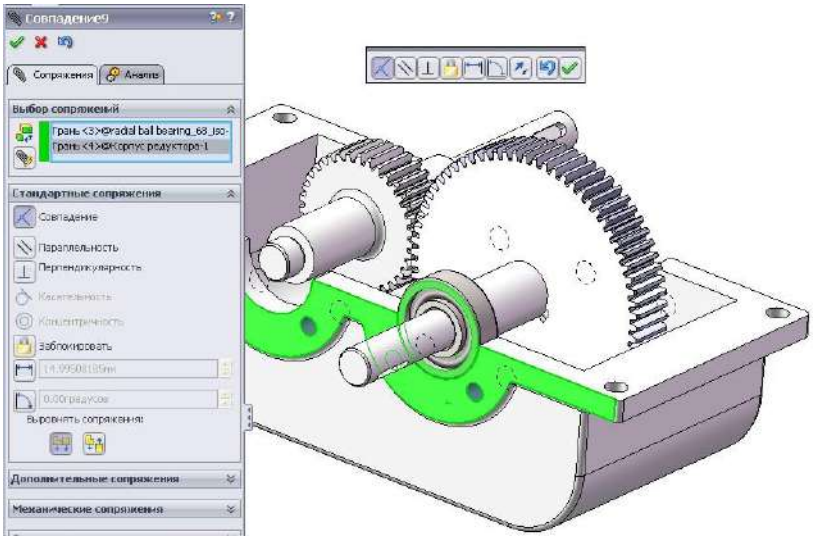


Рисунок 11.43 – Завдання
сполучення першого підшипника

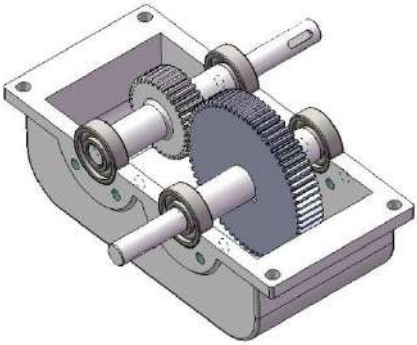


Рисунок 11.44 – Встановлено
всі чотири підшипники

23. Задамо для кришок наступні умови сполучення – концентричність валів і кришок, збіг плоских поверхонь кришок і корпуса, концентричність кріпильних отворів кришки й корпуса (рис. 11.46).

24. Розташуємо втулку на східчастому валу, задавши сполучення: концентричність втулки й вала, збіг торцевих поверхонь втулки й зубчастого колеса (рис. 11.47).

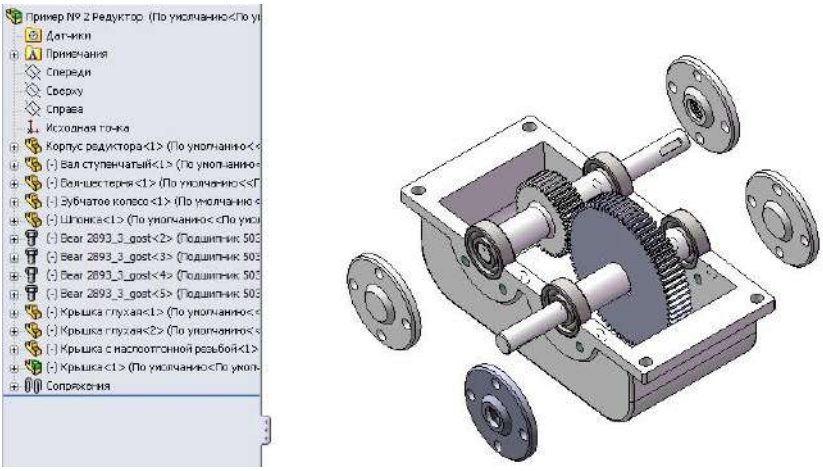


Рисунок 11.45 – Додані
кришки і втулки

25. Закриємо редуктор другою половиною кришки, для чого розмістимо в складальному просторі ще одну деталь – Корпус редуктора (рис. 11.48) і вкажемо умови сполучення між першою й другою половиною корпуса (три сполучення типу **«Совпадение»** між однойменними площинами половин корпуса).

Редуктор майже готовий, залишилося лише розташувати кріпильні деталі: гвинти, шайби й гайки.

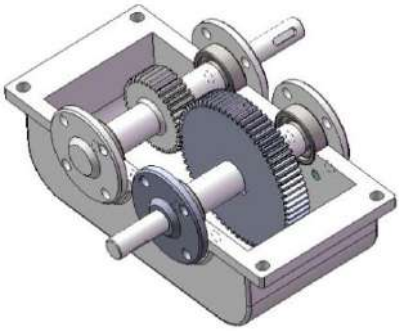


Рисунок 11.46 – Завдані
умови сполучення

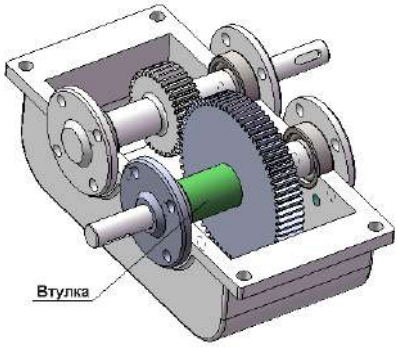


Рисунок 11.47 – Додано
втулку

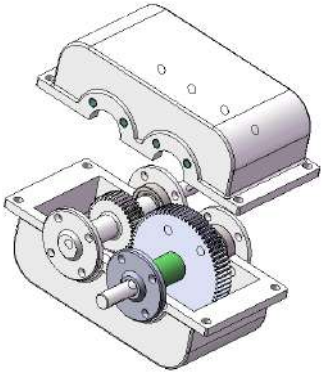


Рисунок 11.48 – Додано кришку

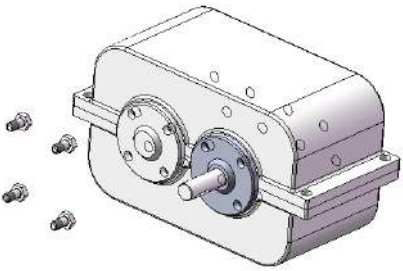


Рисунок 11.49 – Додано гвинти

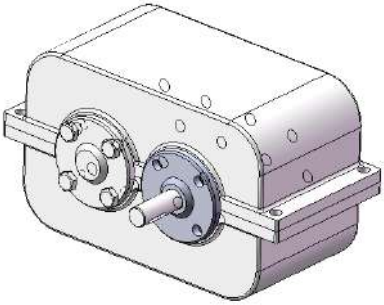


Рисунок 11.50 – Гвинти розмішені на кришці

При формуванні складання можна скористатися можливостями Бібліотеки проектування. Однак необхідні для складання гвинти були нами сконструйовані, і саме їх ми будемо використовувати для закріплення кришок.

26. Закріпимо першу кришку. Помістимо чотири гвинти із шестигранною головкою в складальний простір (рис. 11.49).

У процесі розміщення деталей у складанні завжди необхідно уточнювати конфігурацію деталі, що вставляється.

27. Перевернемо гвинти згідно з їхнім розташуванням у складанні й задамо наступні умови сполучення: концентричність гвинта й отвору в кришці, а також збіг плоских поверхонь головки гвинта й кришки (рис. 11.50).

Аналогічним образом можна встановити всі гвинти на, що залишилися трьох кришках, але ця процедура є тривалою й трудомісткою. Для прискорення процесу складання використовуємо можливості SolidWorks – команду **«Зеркально отразить компоненты...»**.

Застосування цієї команди в цьому випадку виправдане, тому що корпус редуктора симетричний у двох напрямках. Для того щоб скористатися цією командою, необхідно побудувати площини дзеркального відбиття.

28. Перша площина паралельна площини **«Спереди»**, на відстані від неї 73 мм. Для створення такої площини скористаємося меню **«Вставка | Справочная геометрия | Плоскость...»**. У розділі **«Первая справочная»** вкажемо площину **«Спереди»**, як довідковий (базовий) об'єкт для створення нової площини. У рядку – **«Расстояние смещения»** вкажемо відстань між площинами 73 мм (рис. 11.51).

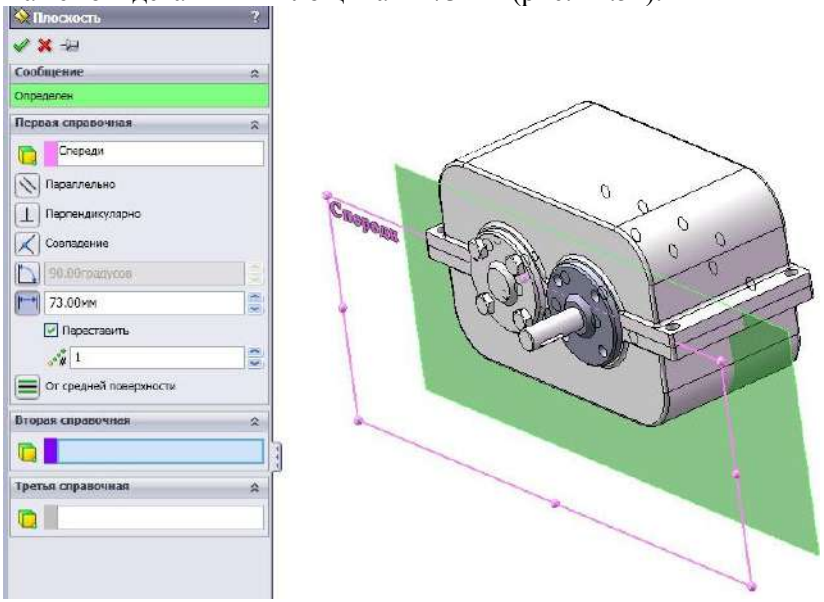


Рисунок 11.51 – Побудова площини
дзеркального відбиття

29. Закінчимо створення нової площини натисканням кнопки **OK.** У результаті буде побудована нова площина, паралельна площини **«Спереди»** й віддалена від неї на 73 мм. У дереві конструювання ця площина позначиться як **«ПЛОСКОСТЬ1»**.

30. Подібним чином побудуємо ще одну допоміжну площину, паралельну площині **«Справа»** і віддалену від неї на

144,5 мм. У дереві конструювання ця площина позначиться як елемент **«ПЛОСКОСТЬ2»** (рис. 11.52).

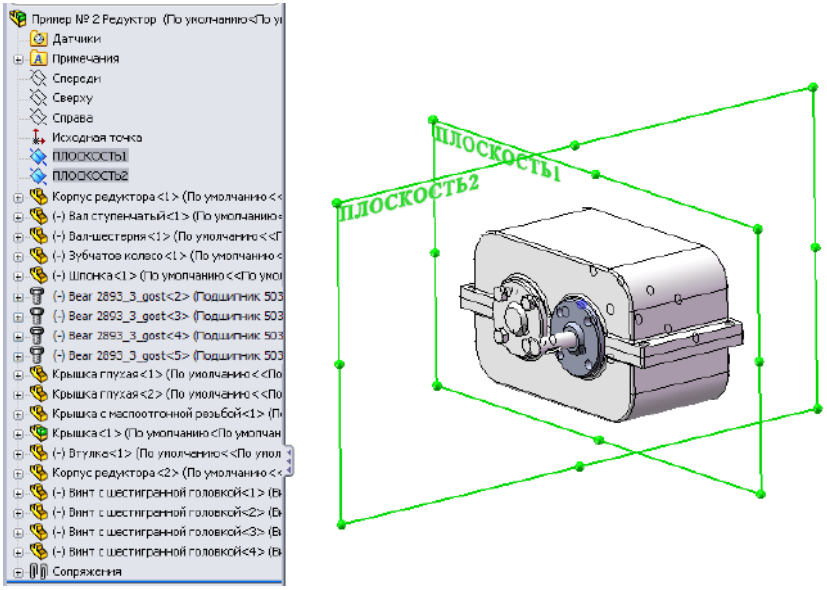


Рисунок 11.52 – Допоміжна площина,
паралельна площині «Справа»

31. Розташуємо чотири гвинти в кришці на вихідному кінці східчастого вала, для чого звернемося до меню **«Вставка | Зеркально отразить компоненты...»** (рис. 11.53).

32. На екрані відкриється вікно «Зеркально отразить компоненты — Шаг 1:Выбранные объекты» (рис. 11.54), у розділі «Плоскость для зеркального отражения» виберемо об’єкт «ПЛОСКОСТЬ2», у розділі «Зеркально отразить компоненты» вкажемо чотири гвинти із шестигранною головкою (рис. 11.54).

33. Натиснемо кнопку – **«Далее»** у вікні **«Зеркально отразить компоненты»**. Задамо орієнтацію компонентів – **«Создать зеркально отраженное исполнение»**. Для вибору деталей при дзеркальному відбитті потрібно клацнути по їх об’ємному зображенню. Вибір компонентів також можна здійснити в дереві конструювання. У рядку імен копійованих компонентів вказується їхній стан.

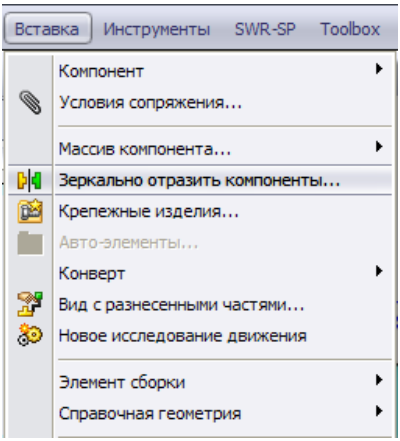


Рисунок 11.53 – Виклик меню «Зеркально отразить компоненты»

Значок дзеркала означає, що новий компонент буде точним дзеркальним відбиттям вихідної деталі, при цьому геометрія компонента зміниться (рис. 11.55).

34. Укажемо, що для позначення дзеркально відбитих деталей будуть використані префікси, а самі ці деталі будуть збережені в нових файлах. Також можна зберегти ці деталі як нові конфігурації. Закінчимо побудову нових версій дзеркально відбитих гвинтів натисканням кнопки **OK.**

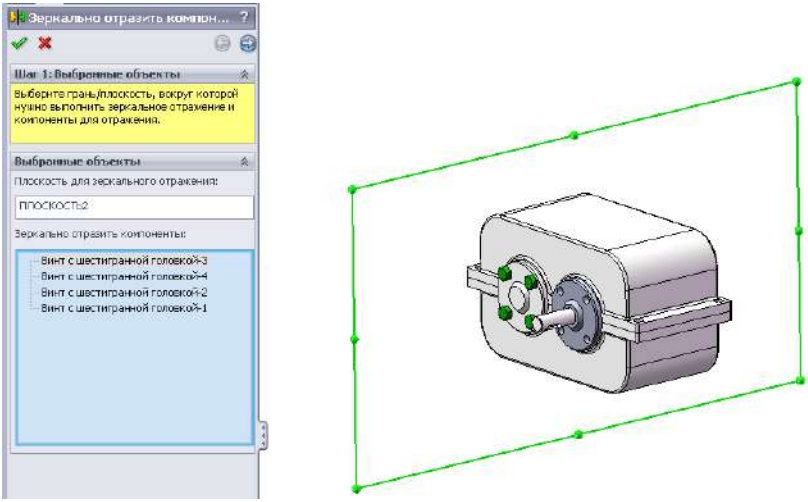


Рисунок 11.54 – Процес створення дзеркального масиву гвинтів

У результаті будуть створено чотири нові гвинти, а в дереві конструювання з’явиться елемент **«ЗеркальныйКомпонент1»** (рис. 11.56).

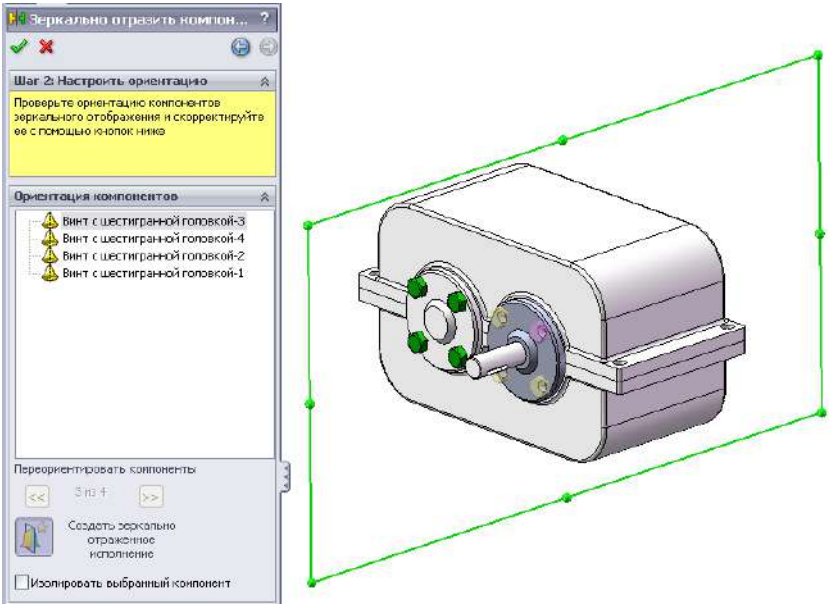


Рисунок 11.55 – Створені дзеркальні компоненти

35. Аналогічним образом внесемо в складання ще вісім гвинтів, відбивши дзеркально наявні гвинти щодо **«ПЛОСКОСТИ1»** (рис. 11.57).

36. Натиснемо кнопку **ОК** і в результаті одержимо нових вісім гвинтів, що закріплюють кришки із протилежної сторони редуктора, а в дереві конструювання з'явиться новий рядок **«ЗеркальныйКомпонент2»** (рис. 11.58).

37. Залишилося закріпити дві половини корпуса редуктора між собою. Внесемо в складання гвинт із шестигранною головкою (конфігурацію за замовчуванням), гайку й шайбу, для чого скористаємося кнопкою – **«Вставить компоненты»** (рис. 11.59).

38. Установимо деталі в базовий отвір Корпуса редуктора <2>. У цьому випадку під базовим ми маємо на увазі отвір, з якого за допомогою лінійного масиву були сформовані інші три отвори в корпусі редуктора.

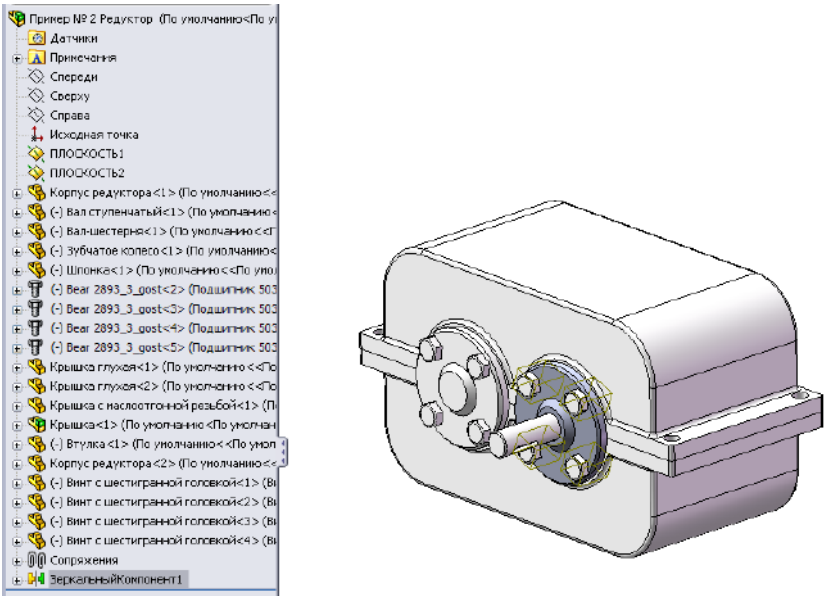


Рисунок 11.56 – Закінчено побудову
дзеркально відбитих гвинтів

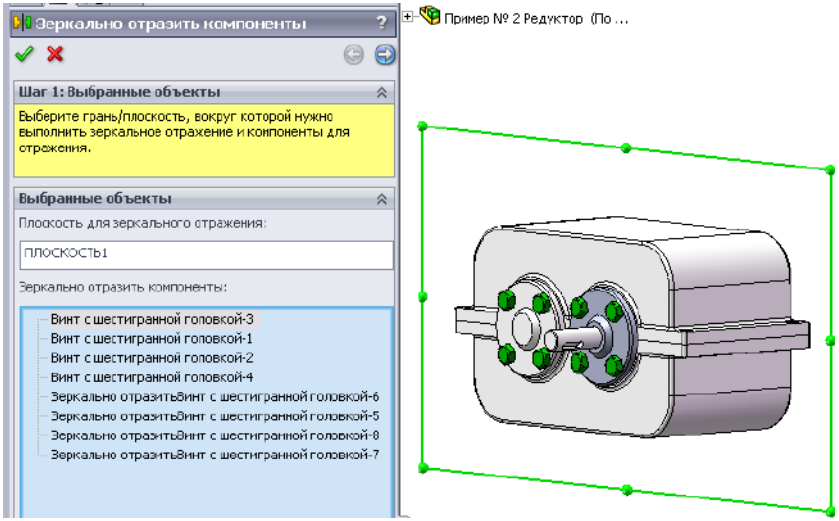


Рисунок 11.57 – Створення восьми гвинтів

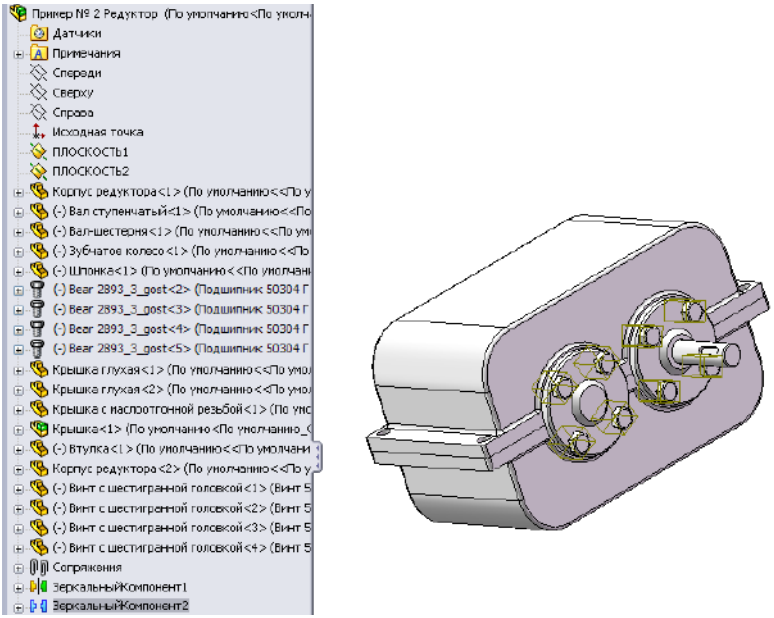


Рисунок 11.58 – Додано вісім гвинтів кріплення кришок

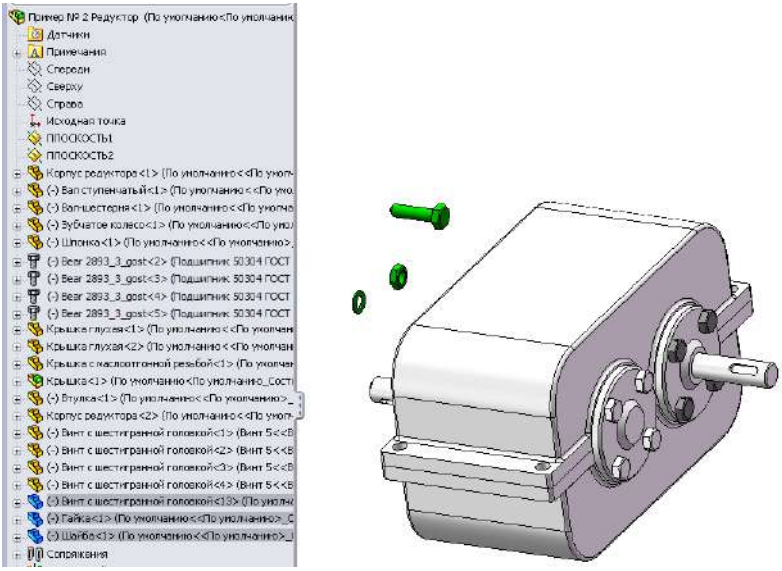


Рисунок 11.59 – Додали гвинт, гайку й шайбу

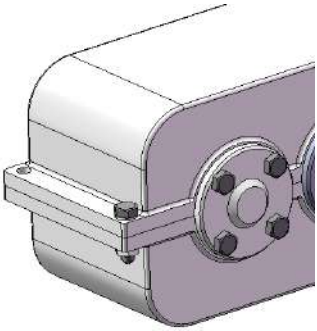


Рисунок 11.60 – Деталі встановили в базовий отвір

Для розміщення деталей у корпусі редуктора використовуємо наступні види сполучень: концентричність гвинта, гайки, шайби й отвору в корпусі, збіг плоских торцевих поверхонь головки гвинта й корпуса редуктора, шайби й корпуса, а також гайки й шайби (рис. 11.60).

39. Помістимо гвинт, гайку й шайбу в інші отвори корпуса. У зв'язку з тим що інші три отвори в корпусі редуктора були отримані як лінійний масив, прискоримо процедуру складання, використовуючи можливості SolidWorks. Активізуємо команду меню: **«Вставка | Массив компонента...» «Управляемый элементом...»** (рис. 11.61).

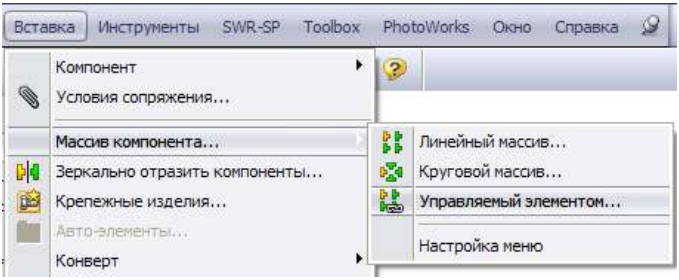


Рисунок 11.61 – Виклик меню «Управляемый элементом...»

40. На екрані відкриється вікно **«Управляемый элементом»** (рис. 11.62). У розділі **«Компоненты для массива»** вкажемо деталі, які будуть збиратися по масиву. У цьому випадку такими деталями є **Гвинт** із шестигранною головкою, **Шайба** й **Гайка**. Щоб виділити деталі, досить клацнути мишею по їхнім зображенню. У розділі **«Производный элемент»** помістимо назву лінійного масиву. Для цього відкриємо дерево конструювання складання, у ньому виберемо **«Корпус редуктора <2>«** і клацнемо по елементу **«Линейный массив2»** (рис. 11.62).

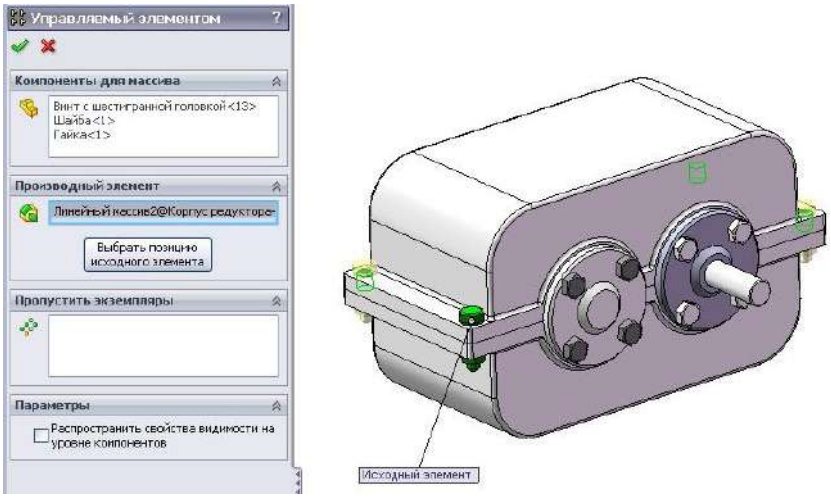


Рисунок 11.62 – Вибір деталей для масиву

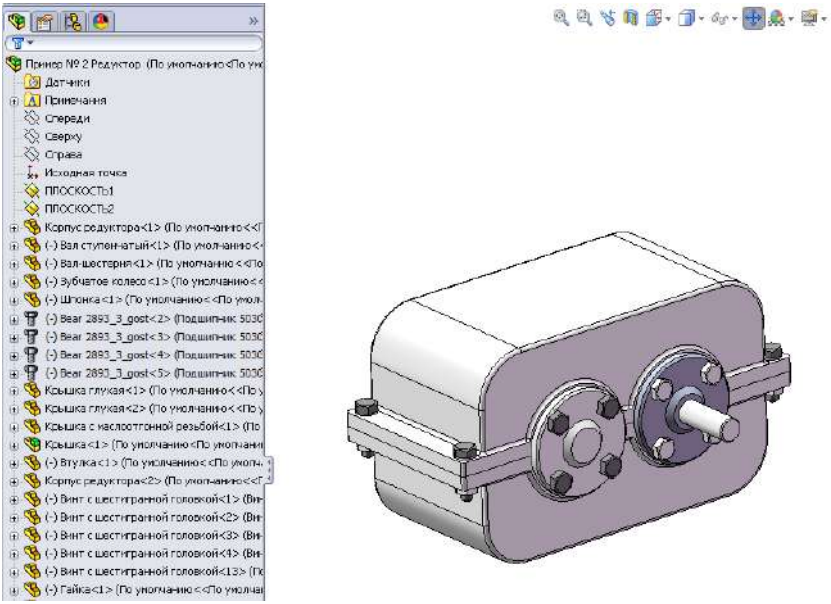


Рисунок 11.63 – Деталі масиву в усіх отворах в корпусу редуктора

41. Закінчимо побудову, нажавши кнопку **OK.** У результаті

гвинти, шайби й гайки займуть усі отвори в корпусі редуктора (рис. 11.63), а в дереві конструювання з'явиться рядок **«Производный линейный массив1»**, і складання набуде закінчений вид (рис. 11.63). При формуванні складання можна встановити деталі не в усі отвори. Для цього необхідно на етапі побудови у вікні **«Управляемый элементом»** або після створення складання в режимі редагування визначення, у вікні **«Производный линейный масив»**, у розділі **«Пропустить экземпляры»** вказати ті деталі, які не потрібно використовувати в складанні. Ми розглянули основні можливості SolidWorks при побудові складань, у тому числі дзеркальне копіювання компонентів, використання деталей з Бібліотеки проектування (Toolbox), а також розташування компонентів по елементах масиву. Перейдемо до розгляду прикладу побудови складання методом «зверху-униз».

11.5 Складання « зверху-униз»

Метод побудови складання «зверху-униз» розглянемо на прикладі конструювання ремінної передачі, що складається із двох шківів і ременя.

1. Для проектування складання такого типу відкриємо SolidWorks і ввійдемо в режим роботи програми зі складаннями, виконавши команду **«Файл | Новый... | Сборка»**. У дереві конструювання виберемо площину **«Спереди»**, відкриємо ескіз, де й побудуємо компонувальний ескіз складання (рис. 11.64).

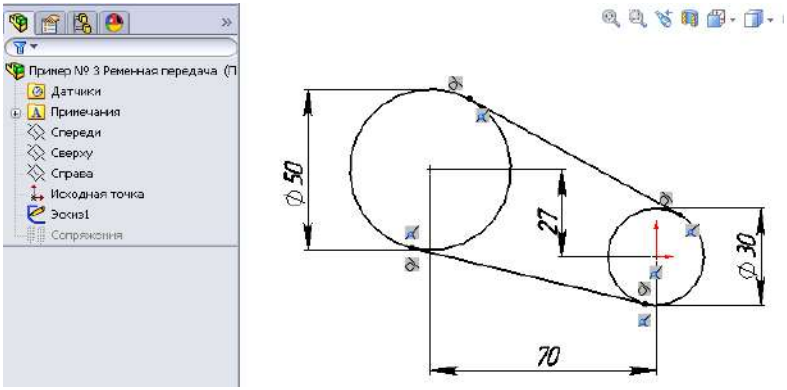


Рисунок 11.64 – Компонувальний ескіз складання

При малюванні ескізу в обов'язковому порядку задамо взаємозв'язки між його елементами – дотичність ліній до окружностей. У цілому ескіз повинен бути визначений. Вийдемо з ескізу, у дереві конструювання перед рядком **«Сопряжения»** з'явиться новий рядок **«Эскиз1»** (ескіз складання). Збережемо деталь як **Приклад № 3 Пасова передача.**

2. На основі компонувального ескізу складання спроектуємо деталь Шків1. Для цього виберемо команду меню: **«Вставка | Компонент | Новая деталь...»** (рис. 11.11). Також можна скористатися командою – **«Создать»** на панелі інструментів **«Сборка».**

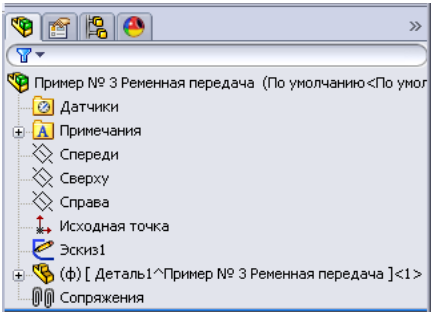


Рисунок 11.65 – Дерево конструювання із доданою деталлю

У дереві конструювання з'явиться рядок **[Деталь1^ Пример № 3 Ременная передача]<1>** (рис. 11.65). Квадратні дужки в імені деталі вказують на те, що деталь є віртуальним компонентом, тобто її насправді ще не існує.

3. У дереві конструювання виберемо площину ескізу шківа, у цьому випадку – площина **«Спереди».**

Після вибору площини програма автоматично ввійде в режим редагування деталі, а користувач опиниться в режимі малювання ескізу. Намалюємо ескіз шківа, який являє собою окружність (рис. 11.66). Визначимо взаємозв'язок рівності між ескізом шківа й компонувальним ескізом складання, також окружність ескізу нової деталі повинна бути концентрична Дузі1 на ескізі складання.

4. Не виходячи з ескізу, натиснемо кнопку – **«Вытянутая бобышка/основание»** й витягнемо цю окружність на 15 мм. У результаті з'явиться об'ємне зображення заготовки шківа з усіма етапами побудови цієї деталі (рис. 11.67).

5. Тепер на новій деталі оформимо бурти для фіксації ременя. Для цього ввійдемо в режим малювання ескізу на плоскому торці

заготовки шківа й намалюємо ескіз бурту, який являє собою окружність, концентричну окружності заготовки шківа радіусом на 5 мм більше радіуса заготовки (рис. 11.68).

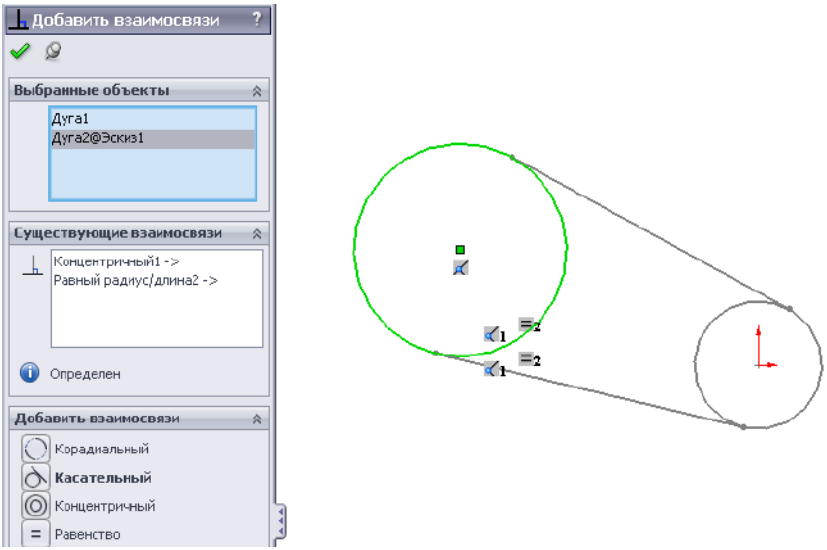


Рисунок 11.66 – Ескіз шківа

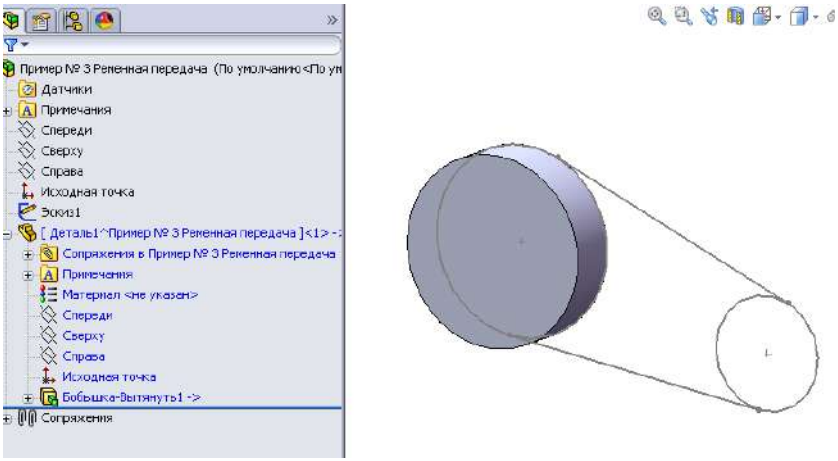


Рисунок 11.67 – Об’ємне зображення заготовки шківа

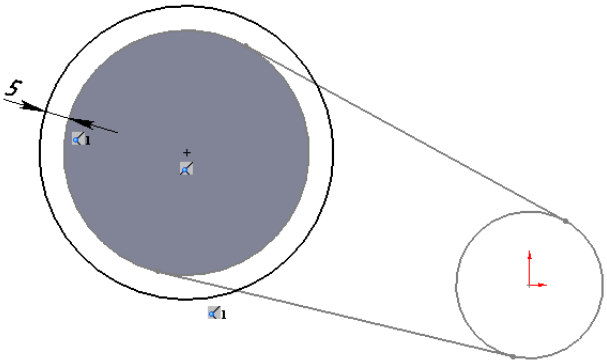


Рисунок 11.68 – Малювання ескізу бурта

У цьому випадку задається не радіус окружності бурту, а його величина, як різниця між радіусами. Це зроблено для того, щоб у випадку внесення змін у значення діаметра шківа змінився й радіус бурту.

6. Витягнемо цю окружність на 5 мм, у результаті буде побудований перший бурт шківа (рис. 11.69).

7. У такий же спосіб побудуємо другий бурт шківа (рис. 11.70).

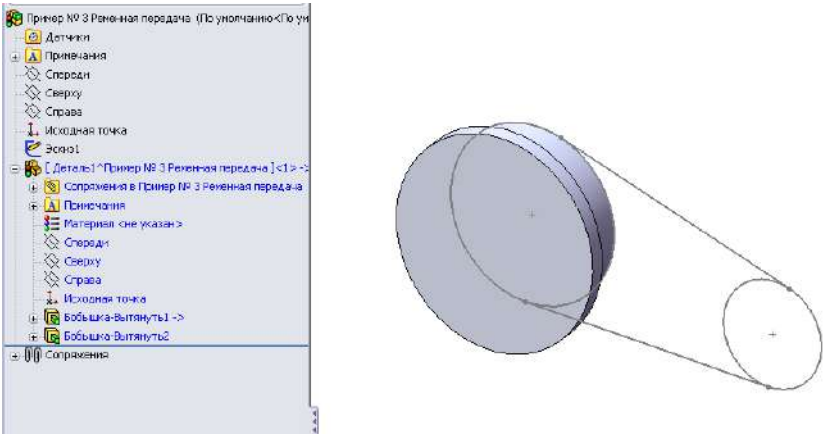


Рисунок 11.69 – Побудований перший бурт шківа

8. Оформимо центральний отвір у шківі для його кріплення

на валу. Виберемо торцеву плоску поверхню, увійдемо в ескіз і намалюємо ескіз отвору у вигляді окружності діаметром 15 мм концентрично заготовці шківа. Витягнемо виріз, використовуючи граничну умову **«Насквозь»** (рис. 11.71).

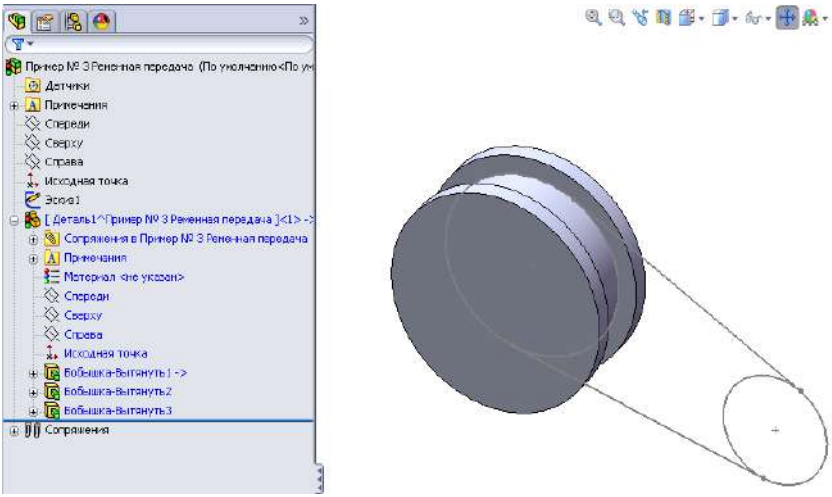


Рисунок 11.70 – Побудовано другий бурт шківа

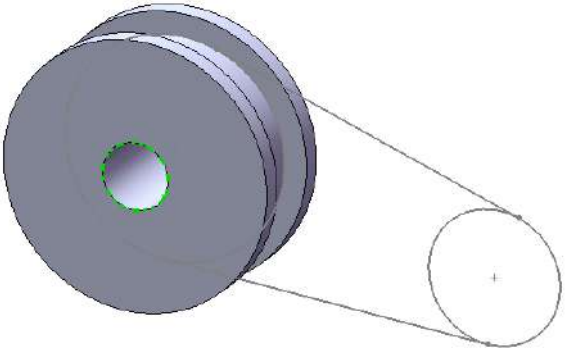


Рисунок 11.71 – Створено центральний отвір у шківі

9. На крайках шківа зробимо фаски розміром 2х45° (рис. 11.72).

10. Шків створений, однак приступити до побудови другої деталі складання неможливо, тому що ми перебуваємо в режимі

редагування деталі. Для того щоб вийти із цього режиму, потрібно клацнути правою кнопкою миші в тривимірному просторі. На екрані з'явиться контекстне меню, у якому слід вибрати команду **«Редактировать сборку: Пример № 3 Ременная передача»** (рис. 11.73).

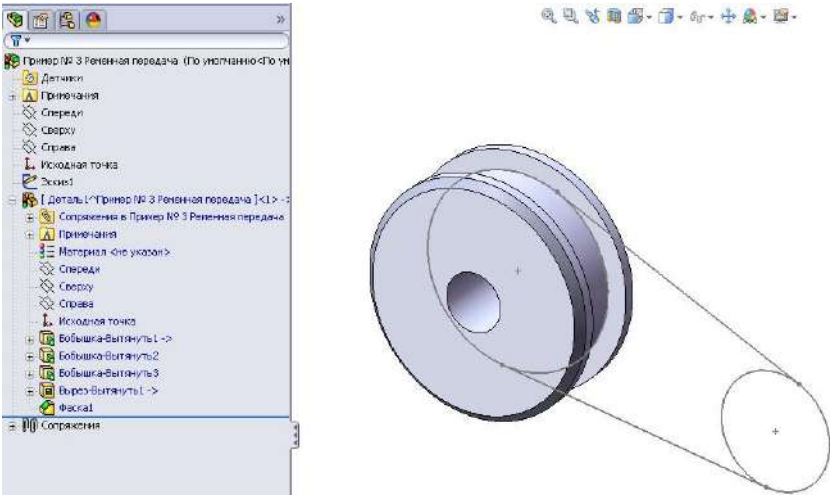


Рисунок 11.72 – Створені фаски на крайках шківа

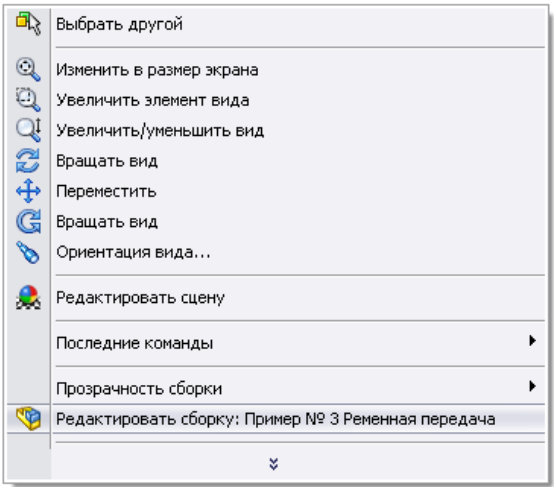


Рисунок 11.73 – Контекстне меню

Складання буде перебудовано, а ми одержимо можливість сконструювати інші деталі ремінної передачі.

11. Тепер перейменуємо побудовану деталь, тому що ім'я **«[Деталь1^Пример № 3 Ременная передача]<1>«** не зручне для подальшого використання. Для цього виділимо в дереві конструювання рядок з іменем деталі, клацнемо по ній правою кнопкою миші й у контекстному меню активізуємо команду **«Переименовать деталь»**. Уведемо нове ім'я деталі – **Шків 1** (рис. 11.74).

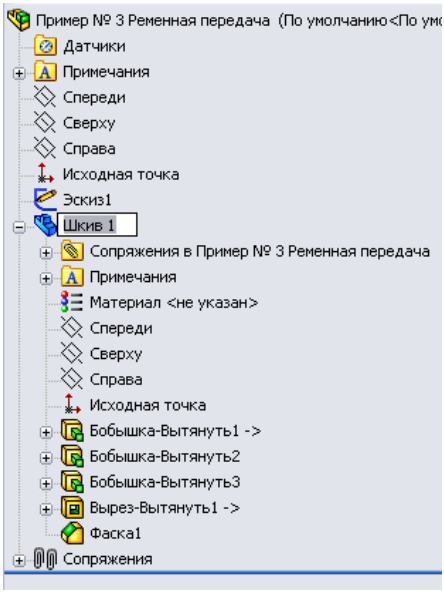


Рисунок 11.74 – Перейменування деталі в дереві конструювання на нове ім'я – Шків 1

12. Нове ім'я деталі також буде зазначено у квадратних дужках, деталь є віртуальним компонентом складання. Щоб зберегти віртуальний компонент в окремому файлі, клацніть правою кнопкою миші ім'я деталі й виберіть у контекстному меню команду **«Сохранить деталь (во внешнем файле)»** (рис. 11.75).

На екрані відкриється вікно **«Сохранить как»**, у якому потрібно вказати шлях для збереження цього файлу (рис. 11.76). Для вказівки шляху необхідно у вікні **«Сохранить как»** виділити ім'я файлу, клацнувши його, потім нажати кнопку **«Укажите путь»**. Якщо деталь буде перебувати в тій же папці, що й складання, то можна нажати кнопку **«Также, как и сборка»**.

13. Аналогічно побудуємо деталь **Шків 2** (рис. 11.77). Після побудови деталі не забудьте вийти з режиму редагування деталі, клацнувши правою кнопкою миші в тривимірному просторі й вибравши в контекстному меню команду **«Редактировать**

сборку: Пример № 3 Ременная передача». На цьому етапі побудови складання маємо компонувальний ескіз і два сконструйовані шківи (рис. 11.77).

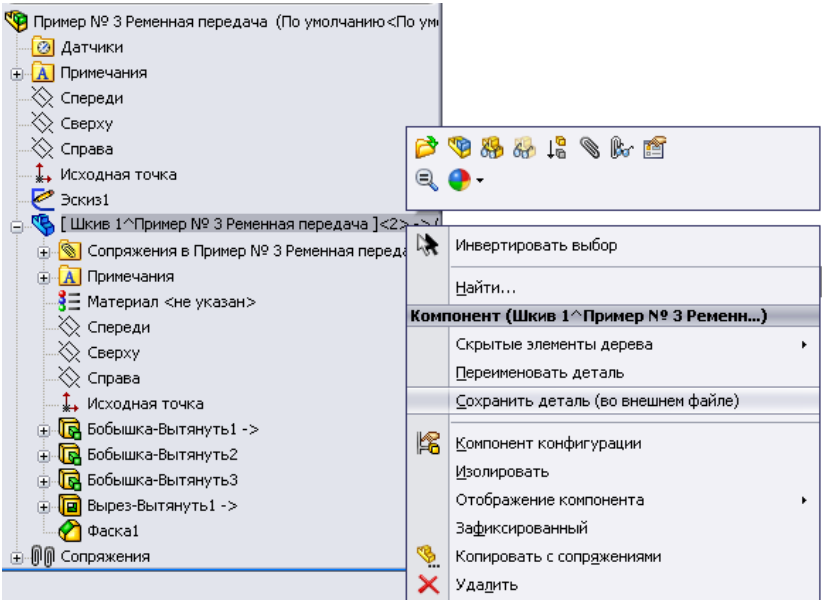


Рисунок 11.75 – Збереження віртуального компонента в окремому файлі

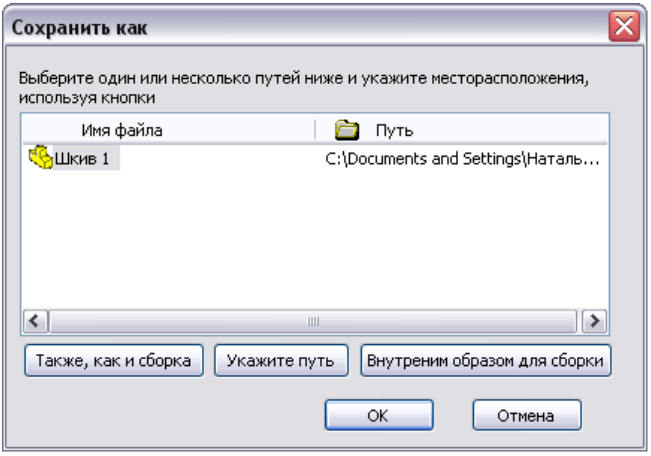


Рисунок 11.76 – Вказування шляху для збереження файлу

14. Створимо ще одну деталь складання – Ремінь. Активізуємо команду меню: **«Вставка | Компонент | Новая деталь...»** (рис. 11.11) або скористаємося командою – **«Создать»** панелі інструментів **«Сборка»**. У дереві конструювання з'явиться рядок **[Деталь3^Пример № 3 Ременная передача]<1>.**

15. У режимі редагування цієї деталі виберемо в дереві конструювання деталі площину **«Спереди»**, на якій і оформимо ескіз ременя.

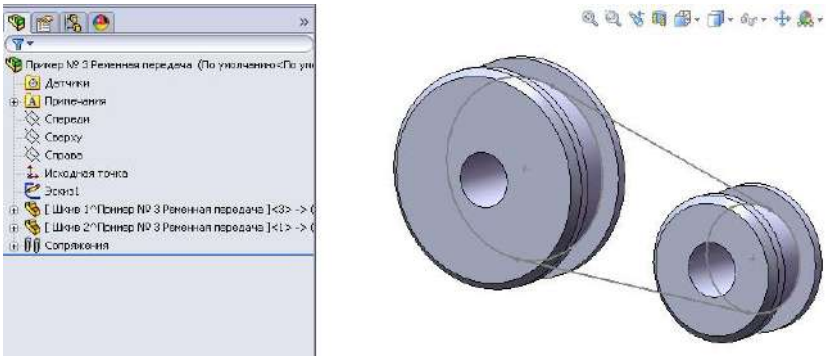


Рисунок 11.77 – Компонувальний ескіз і два сконструйовані шківи

При побудові цього ескізу спочатку намалюємо ескіз, що повністю збігається з ескізом складання, при цьому задамо наступні взаємозв'язки:

- концентричність окружностей в ескізі ременя й ескізі складання;
- рівність окружностей в ескізі ременя й ескізі складання;
- дотичність ліній до окружностей в ескізі ременя.

16. Вилучимо дуги окружностей, не що брати участь у формуванні геометрії ременя (внутрішні частини дуг) (рис. 11.78).

17. Витягнемо контур ременя на 15 мм, використовуючи кнопку – **«Вытянутая бобышка/основание»**. Витягнути ремінь потрібно як тонкостінний елемент – поставити прапорець **«Тонкостенный элемент»**. Нехай товщина ременя буде 3 мм (рис. 11.79).

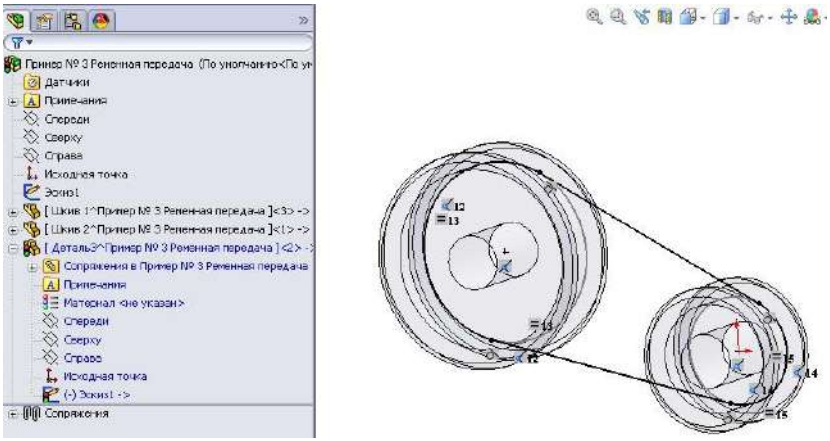


Рисунок 11.78 – Вилучення внутрішніх частин дуг

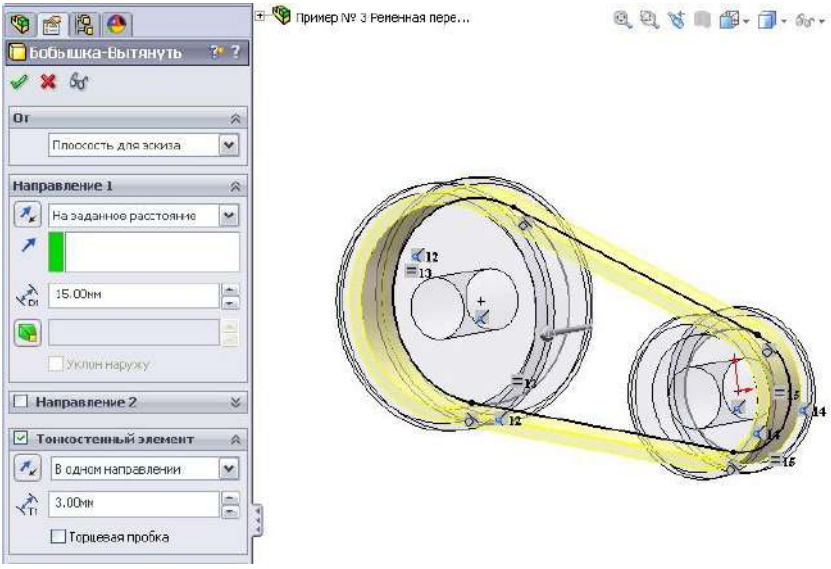


Рисунок 11.79 – Процес створення ременя

18. Закінчимо витягування ременя й вийдемо з режиму редагування деталі. Ми створили не тільки складання, але й складові її деталі **Шків 1, Шків 2 і Ремінь** (рис. 11.80).

Основна перевага складання «зверху-униз» полягає в тому,

що при редагуванні ескізу складання відбувається автоматична зміна всього складання й деталей, що входять у нього. Розглянемо такий приклад зміни складання.

Перешикуємо компонувальний ескіз складання. Для цього в дереві конструювання клацнемо правою кнопкою миші **«Эскиз1»** і виберемо в контекстному меню команду **«Редактировать эскиз»**. Увійдемо в ескіз і змінимо радіус Шківа1 з 50 до 100 мм, а також положення його центру щодо Шківа 2 (рис. 11.81).

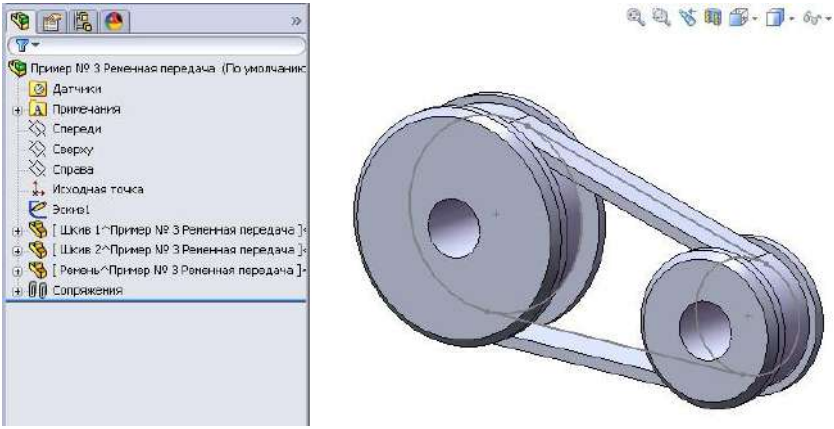


Рисунок 11.80 – Створене складання

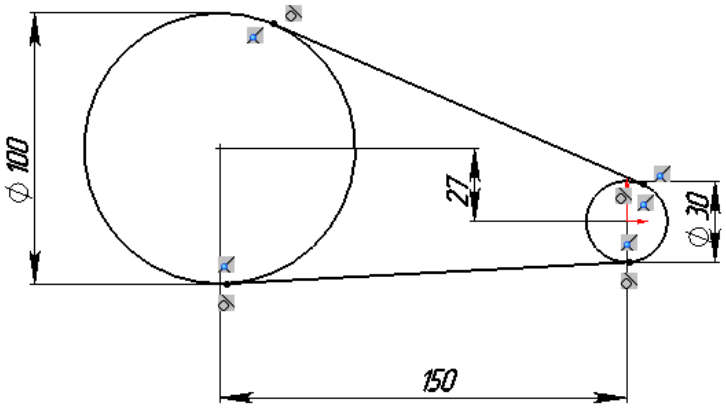


Рисунок 11.81 – Змінено радіус «Шківа 1»
і положення його центру

Потім просто вийдемо з ескізу. У результаті складання повністю перешикується. Одночасно зміняться файли деталей **Шків1** і **Ремінь** (рис. 11.82).

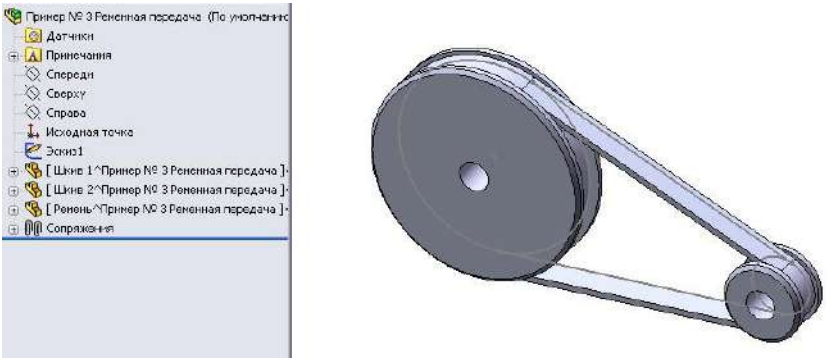


Рисунок 11.82 – Оновлене складання
після зміни розмірів

Отже на цій лекції, ми на конкретних прикладах розглянули основні способи побудови складань методом «знизу-нагору» і методом «зверху-униз». У наступних лекціях ми перейдемо до вивчення особливостей проектування ливарних форм в SolidWorks.

Питання для самоперевірки

1. Що є компонентами складання?
2. Назвіть основні види складань.
3. Які є основні принципи створення складань у САПР?
4. Розкажіть принцип побудови складання методом «зверху-униз».
5. Що таке змішаний тип складання?
6. Розкажіть принцип побудови складання методом «знизу-нагору».
7. Яка основна перевага побудови складання методом «зверху-униз»?
8. Назвіть стандартні сполучення для створення складання.
9. В яких випадках використовують сполучення «Симметричность»?

10. Назвіть додаткові типи сполучень для створення складання.
11. В яких випадках використовують сполучення «Расстояние»?
12. Назвіть механічні типи сполучень для створення складання.
13. Коли необхідно використовувати сполучення «Угол»?
14. Яке призначення Бібліотеки проектування стандартних деталей?
15. Як додати стандартну деталь у складальний простір?
16. Розкажіть загальний алгоритм створення дзеркального масиву компонентів у складанні.
17. Як зберегти елемент складання в окремому файлі?
18. Як відредагувати складання створене методом «зверху-униз»?

12 РОБОТА З ЛИВАРНИМИ ФОРМАМИ

В SolidWorks є можливість використання інструментів роботи з ливарними формами, і не тільки для створення деталей, але й у наступних випадках:

- для створення двох половинок ливарної форми з вирізом порожнини під ливарну деталь;
- для створення штампа з поверхнею штампувальної деталі;
- для створення в деталі порожнини складної форми, коли цю порожнину складно одержати простим або поверненим вирізом, а також їх комбінацією.

12.1 Основні принципи створення ливарних форм

За допомогою інструментів для створення ливарних форм в SolidWorks можна вирішувати наступні категорії завдань:

- **процедурні** – створити ливарну форму або відобразити модель;
- **діагностичні** – у моделі виділяються області із проблемами, які можуть перешкоджати відділенню серцевини й порожнини;
- **виправлення** – виправляються дефекти, наприклад розриви поверхні, виявлені за допомогою діагностичних інструментів.
- **адміністративні** – керування моделями, що полегшує передачу інформації між проектувальниками, інженерами, виробниками й менеджерами.

У загальному випадку при проектуванні ливарних форм необхідно виконати наступний комплекс операцій.

1. Створення тривимірної моделі проектованої деталі, тобто тієї деталі, з якої необхідно надалі створити ливарну форму або порожнину.

2. Створення тривимірної моделі основи ливарної форми, тобто деталі, яка буде містити порожнину для проектованої ливарної деталі або мати форму штампувальної деталі.

3. Створення проміжного складання, у якому буде відбуватися відносне розміщення проектованої деталі й основи ливарної форми.

4. Створення похідних деталей компонента, тобто тих

деталей, які будуть половинами ливарної форми після розрізу основи. Причому кожна половина ливарної форми може зберігатися як окрема деталь, для якої надалі можна зробити робочі креслення.

Усі перераховані процедури можна виконати за допомогою набору інтегрованих інструментів створення ливарної форми.

Завершивши модель, можна скористатися цими інструментами для аналізу й виправлення недоліків моделей. Інструменти ливарної форми охоплюють усі процеси, від вихідного аналізу до створення поділу інструментів. Результатом поділу інструментів буде багатотільна деталь, що містить окремі тіла деталі яка відливається, серцевину, порожнину та інші додаткові тіла, наприклад, базові сторони. Зміни деталі що відливається, автоматично відображаються в тілах інструментів.

До основних команд інструментальної панелі **«Инструменты для литейной формы»** відносяться наступні:

- **«Уклон»**, загострює обрані грані під заданим кутом до нейтральної площини або базової лінії рознімання. Ця ж команда за допомогою інструмента **Draftxpert** перевіряє грані моделі на наявність достатнього ухилу, щоб переконатися, що деталь витягнуть належним чином з інструмента, а також установлює поглинені області, які не допускають виштовхування деталі;
- **«Линии разъема»**, яка має дві функції: перевіряє наявність ухилу на моделі, виходячи із зазначеного кута; створює лінію рознімання, з якої формується поверхня рознімання. Інструмент **«Линии разъема»** дозволяє вибрати крайку й використовувати систему **«Распространить»** для всіх крайок;
- **«Линия разъема»**, проектує ескіз на криву або плоску грані, а також створює кілька окремих граней;
- **«Отсекающие поверхности»**, створює перемички на поверхні для того, щоб закрити наскрізні отвори в деталі яка відливається;
- **«Поверхности разъема»**, витягає лінію рознімання й служить для відділення порожнини від серцевини. Поверхню рознімання можна також використовувати для того, щоб створити заблоковану поверхню;

- **«Разделение инструментов»**, створює тіла серцевини й порожнини шляхом вставки елементів поділу інструментів;
- **«Сердцевина»**, витягає серцевину з існуючого поділу інструментів;
- **«Масштаб»**, здійснює масштабування моделі по обраному коефіцієнту;
- **«Переместить грань»**, переміщає грані твердотільного елемента;
- **«Полость»**, вставляє порожнину в базову деталь;
- **«Плоская поверхность»**, створює плоску поверхню за допомогою ескізу або набору крайок;
- **«Линейчатая поверхность»**, додає ухил для поверхонь на імпортованих моделях. Також використовується для створення заблокованої поверхні;
- «Вставить папки литейной формы», додає папки поверхонь тел.

Якщо на екрані відсутня панель інструментів ливарної форми із кнопками команд, слід відобразити їх, виконавши команду **«Инструменты | Настройка»**, і на вкладці **«Панель инструментов»** установіть прапорець **«Инструменты для литейной формы»**. Натисніть кнопку **ОК**, і панель інструментів відобразиться на екрані.

Якщо за замовчуванням у цій панелі відсутні які-небудь кнопки, то ви можете додати їх: вибрати команду **«Инструменты | Настройка»**, знайти на вкладці **«Команды»** в категорії **«Инструменты для литейной формы»** й перетягнути мишею відповідний до відсутньої команди значок на панель **«Инструменты для литейной формы»**. Після всіх маніпуляцій натисніть кнопку **ОК.**

12.2 Оформлення порожнини ливарної форми

Покажемо на прикладі створення багатотільної деталі оформлення складної порожнини. У цьому випадку можна обійтися без створення проміжного складання. Тут дотримуються наступної послідовності дій: створюється багатотільна деталь або проводиться поділ однієї твердотільної деталі на багатотільну, а потім проводиться вирахування однієї деталі з іншої, у результаті

чого формується порожнина. Як приклад створення складної порожнини створимо деталь «Ліхтарик».

12.2.1 Створення багатотільної деталі.

Запустіть SolidWorks у режимі малювання ескізів і на площині **«Спереди»** за допомогою команди – **«Многоугольник»** панелі інструментів **«Эскиз»** побудуйте шестикутник, показаний на рис. 12.1.

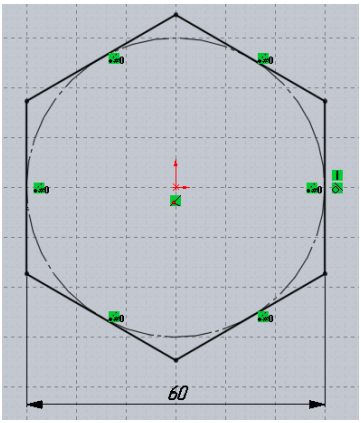


Рисунок 12.1 – Ескіз шестикутника

Добийтеся повного його визначення за допомогою команд – **«Добавить взаимосвязь»** і – **«Автоматическое нанесение размеров»** панелі інструментів **«Размеры/ взаимосвязи»**. Тепер закінчіть роботу з даним ескізом.

Помістіть курсор у графічну область побудови, натисніть на колесо миші й поверніть площину з намальованим ескізом у просторі. Після цього в дереві конструювання клацніть мишею по площині **«Спереди»**. Площина відобразиться елементами блакитного кольору – лініями із круглими точками. Деталь «Ліхтарик» побудуємо з використанням додаткових площин.

Щоб додати площину, паралельну вихідній площині **«Спереди»**, підведіть курсор до площини (при цьому поруч із курсором повинен з'явитися значок перехрестя), натисніть клавішу **<Ctrl>** і захопіть мишею вихідну площину, переміщаючи її вліво по екрану. У діалоговому вікні **«Плоскость»** що з'явилося, встановіть значення параметра **«Расстояние смещения»** рівним 60 мм (рис. 12.2).

Натисніть кнопку **OK** для побудови нової площини. Аналогічним образом додайте ще одну площину із правої сторони вихідної площини на відстані 60 мм. Тепер, використовуючи отримані площини як площини для побудови ескізу, намалюйте на кожній з них окружність діаметром 50 мм.

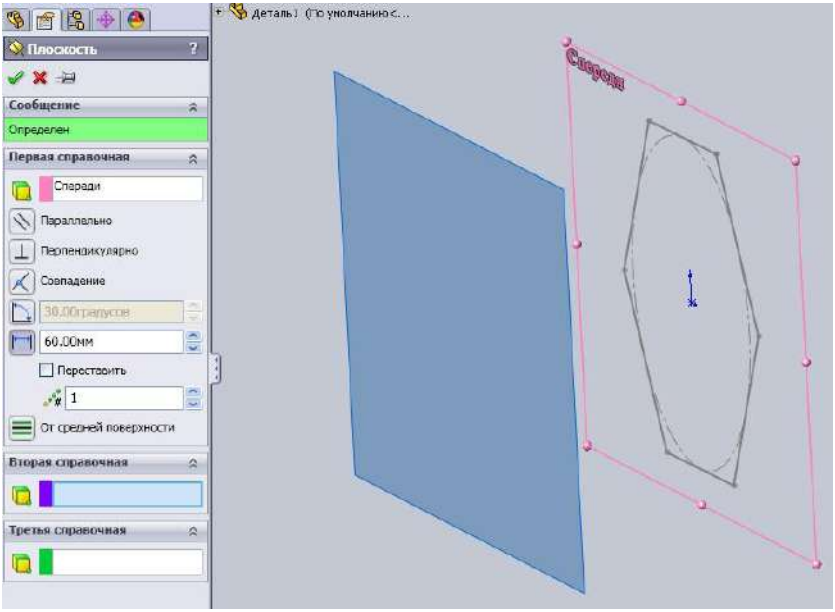


Рисунок 12.2 – Створення паралельної площини

У підсумку у вас повинні вийти три ескізи, як на рис. 12.3. Зверніть увагу на те, що ескізи можна малювати не тільки тоді, коли площина ескізу паралельна площини екрана, але й тоді, коли вона повернена в просторі.

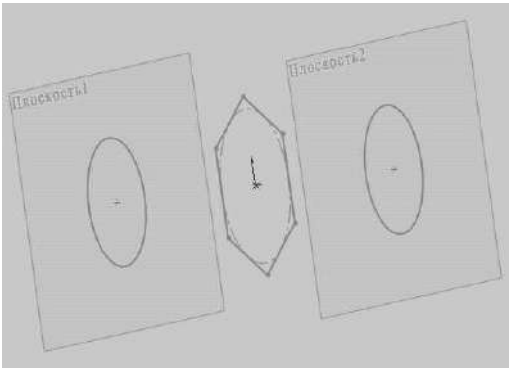


Рисунок 12.3 – Три площини з побудованими ескізами

Тепер можна сформувати деталь по отриманих перетинах. Для цього скористаємося командою – **«Бобышка/основание по сечениям»** в інструментальній панелі **«Элементы»**.

Ця команда дозволяє додавати матеріал між профілями для одержання твердотільного елемента. У вікні **«По сечениям»** менеджера властивостей клацніть мишею в полі **«Профили»**, а потім послідовно вкажіть побудовані профілі в наступній послідовності: перша окружність – шестикутник – друга окружність. У вас повинна вийти фігура, показана на рис. 12.4.

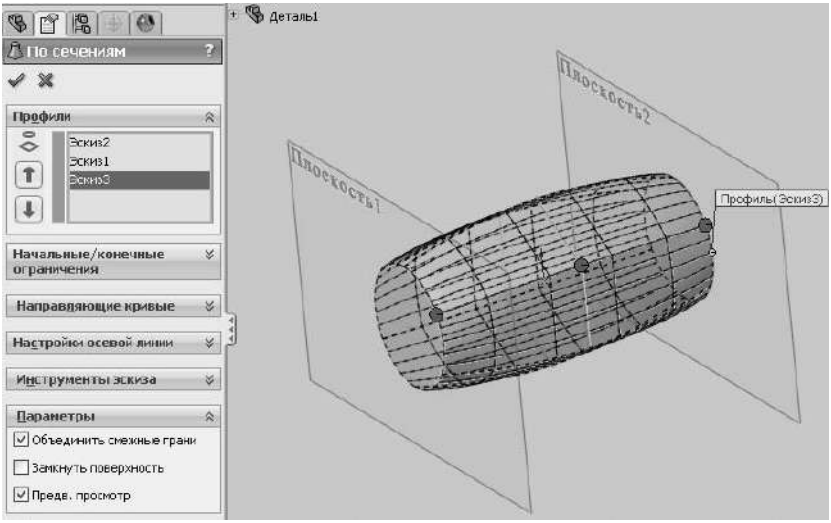


Рисунок 12.4 – Процес створення деталі по перетинах

Натисніть кнопку **ОК** – і ви одержите готову деталь. Щоб сховати додані площини, клацніть правою кнопкою миші в дереві конструювання по елементу **«Плоскость1»** і в контекстному меню, що з'явилося, виберіть кнопку **«Скрыть»**. Аналогічну операцію проробіть із елементом **«Плоскость2»**. Збережіть деталь під іменем «Ліхтарик.sldprt».

12.2.2 Створення порожнини складної форми

Тепер уявіть собі, що нам потрібно виготовити порожнину, форма якої відповідає деталі Ліхтарик. Продовжимо подальші

побудови багатотільної деталі. Для цього знову ввійдіть у режим малювання ескізу на площині **«Спереди»** й намалюйте ескіз квадрата, показаний на рис. 12.5.

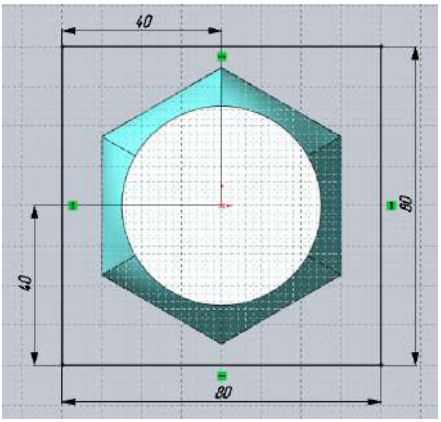


Рисунок 12.5 – Ескіз квадрату

Закінчить малювання ескізу й зробіть витягування елемента в обидва боки за допомогою команди – **«Вытянутая бобышка/ основание»** на відстань 60 мм. Обов'язково зніміть прапорець **«Результат слияния»**. Якщо цього не зробити, то деталь виявиться однотільною у результаті злиття. По рис. 12.7 проконтролюйте коректність ваших побудов. Якщо все зроблено правильно, натисніть кнопку **OK**.

У результаті побудований паралелепіпед поглинув нашу деталь «Ліхтарик». Але, проте, побудови містять два твердих тіла.

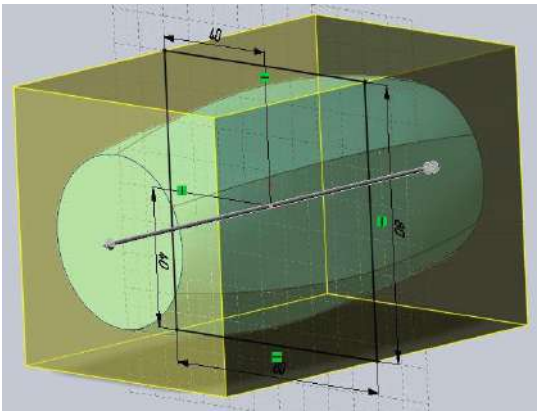


Рисунок 12.7 – Витягування елемента

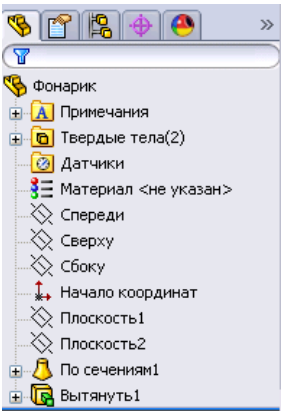


Рисунок 12.6 – Папка «Твердые тела»

Про це свідчить папка **«Твердые тела»** в дереві конструювання. У дужках зазначена кількість твердих тіл (рис. 12.6). Тепер залишилося виконати порожнину усередині паралелепіпеда. Для цього викличте команду – **«Скомбинировать тела»** на панелі інструментів **«Элементы»**.

У полі **«Тип операции»** встановіть прапорець **«Удалить»**. Відкриється додаткове поле **«Основное тело»**, для якого вкажіть зовнішню деталь, а для поля **«Удалить тела»** вкажіть внутрішню деталь. Якщо це важко зробити на деталі, то розкрийте дерево конструювання в графічній області побудови, відкрийте папку **«Твердые тела»** й послідовно виберіть пункти **«Вытянуть1»** і **«По сечениям1»**. Натисніть кнопку **«Предв. просмотр»** і проконтролюйте результат операції (рис. 12.8).

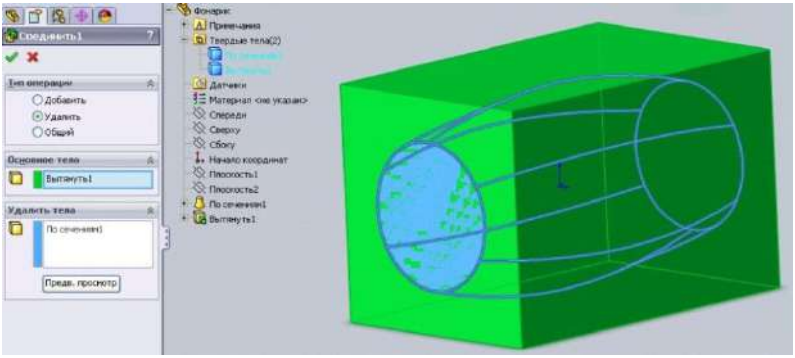


Рисунок 12.8 – Створення порожнини усередині паралелепіпеда

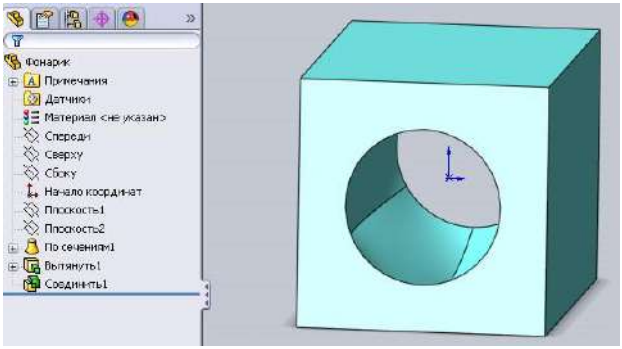


Рисунок 12.9 – Створено складну порожнину усередині паралелепіпеда

Якщо все зроблено правильно, то натисніть кнопку **OK**, і ви одержите складну порожнину усередині паралелепіпеда (рис. 12.9). Збережіть деталь, використовуючи команду **«Файл| Сохранить как»**, під іменем «Основа для ліхтарика.sldprt»**.**

12.2.3 Створення ливарних напівформ

Для того щоб створити напівформи отриманої деталі з порожниною усередині, досить просто розрізати деталь навпіл. Це можна зробити за допомогою команди – **«Вытянутый вырез»** на панелі інструментів **«Элементы».**

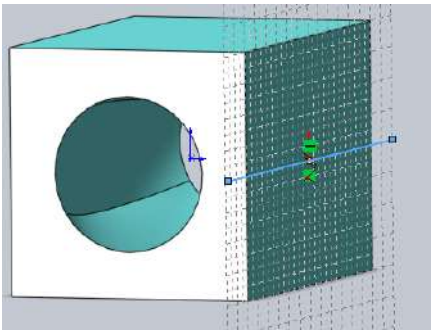


Рисунок 12.10 – Ескіз на боковині

Спочатку на боковій поверхні паралелепіпеда створіть ескіз і намалюйте лінію уздовж тіла так, як показано на рис. 12.10.

Тепер викличте команду – **«Вытянутый вырез»** в інструментальній панелі **«Элементы»** та у якості профілю виберіть намальовану лінію. На вкладці **«Направление1»** у полі **«Граничное условие»** установіть параметр **«Насквозь»** (рис. 12.11). Після цього натисніть кнопку **OK** і одержите одну з половинок ливарної форми (рис. 12.12).

Збережіть цю деталь, використовуючи команду **«Файл | Сохранить как»**, під іменем «Напівформа1 для ліхтарика.sldprt». Для одержання другої напівформи клацніть правою кнопкою миші в дереві конструювання по пункту **«Вытянуть2».**

У контекстному меню, що з'явилося, виберіть кнопку – **«Редактировать определение»**. У менеджері властивостей відкриється вікно **«Вытянуть2»**, у якому необхідно змінити тільки один параметр: установити або зняти (залежно від ситуації) прапорець **«Переставить сторону для выреза».**

Після цього натисніть кнопку **OK** і ви одержите другу половинку ливарної форми (рис. 12.13). Для завершення цього прикладу скористайтеся командою **«Файл | Сохранить как»** і

збережіть другу напівформу під іменем «Напівформа2 для ліхтарика.sldprt».

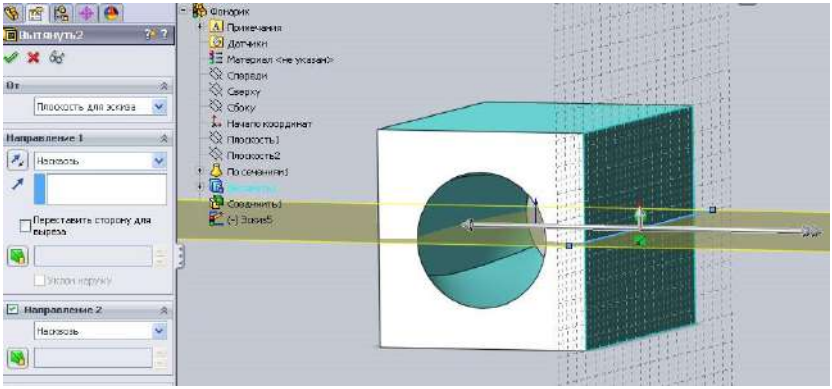


Рисунок 12.11 – Процес розрізання деталі

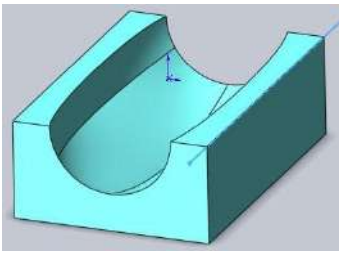


Рисунок 12.12 – Напівформа1

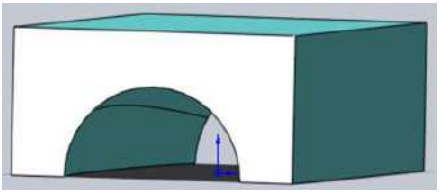


Рисунок 12.13 – Напівформа2

12.3 Проста ливарна форма

Тепер ми можемо перейти до розгляду побудови простої ливарної форми за допомогою створення проміжного складання на прикладі деталі Циліндр. Для цього створимо вихідні дві окремі твердотільні деталі (рис. 12.14). Першу деталь, циліндр діаметром 100 мм і довжиною 100 мм, збережіть у файл «Циліндр.sldprt» (деталь, яку потрібно відлити, або деталь, за формою якої потрібно зробити порожнину).

Другу деталь, куб з довжиною ребра 120 мм, збережіть у файл «Основа для циліндра.sldprt» (деталь, з якої потрібно зробити ливарну форму, або деталь, у якій потрібно зробити порожнину). Тепер створіть складання і додайте спочатку деталь

«Основа для циліндра.sldprt», а потім деталь «Циліндр.sldprt». Перемістіть циліндр усередину куба приблизно так, як показано на рис. 12.15.

Для переміщення деталі скористайтеся кнопкою – **«Переместить компонент»** в інструментальній панелі **«Сборка».**

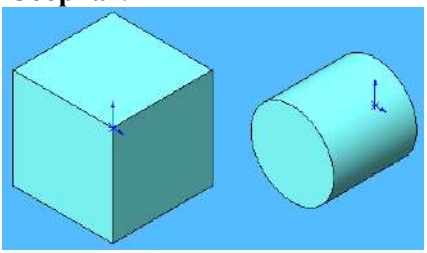


Рисунок 12.14 – Твердотільні деталі

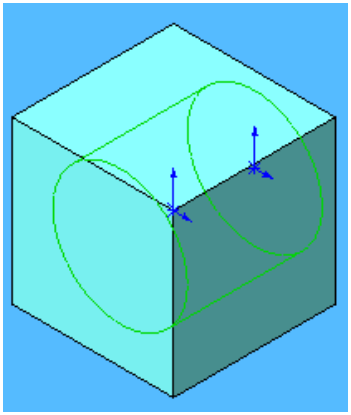


Рисунок 12.15 – Циліндр в кубі

Щоб зручніше було орієнтуватися в переміщенні однієї деталі усередині іншої деталі, її можна зробити напівпрозорою.

Для цього наведіть покажчик миші на основу в графічній області або в дереві конструювання й натисніть праву кнопку миші. З'явиться контекстне меню, що випадає, у якому виберіть кнопку – **«Изменить прозрачность».**

У результаті у вас повинен вийти напівпрозорий куб, у якому розміщається циліндр (рис. 12.16). Для більш точного центрування скористайтеся командою – **«Условия сопряжения»** панелі інструментів **«Сборка».**

За допомогою даної команди добийтеся, щоб відстані між плоскими гранями циліндра й куба становили по 10 мм, а вісь циліндра проходила через центр граней куба. Збережіть складання під іменем «Основа для циліндра.sldasm».

Виділіть деталь Куб, клацнувши мишею по деталі в складанні або в дереві конструювання по елементу **«Основание для цилиндра»**. Потім на панелі інструментів **«Сборка»** натисніть кнопку – **«Редактировать деталь».** Ця команда здійснює перемикання між режимом редагування деталі або вузла

й головного складання. Дану команду можна також викликати,

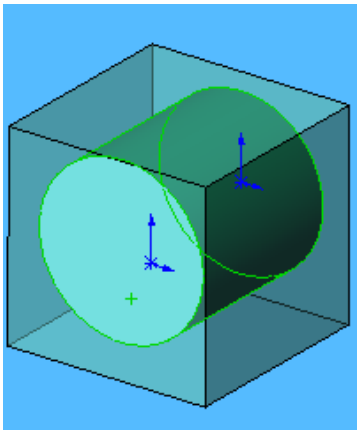


Рисунок 12.16 – Куб у якому розміщається циліндр

клацнувши правою кнопкою миші по елементу **«Основание для цилиндра»** в дереві конструювання і в контекстному меню, що з'явилося вибравши кнопку – **«Редактировать деталь»**. Тепер на панелі інструментів **«Инструменты для литейной формы»** натисніть кнопку – **«Полость»**. Ця команда дозволяє вставити порожнину в базову деталь. У діалоговому вікні, що з'явилося, **«Полость»** в поле **«Компоненты проекта»** з дерева конструювання додайте деталь Циліндр так, як показано на рис. 12.7.

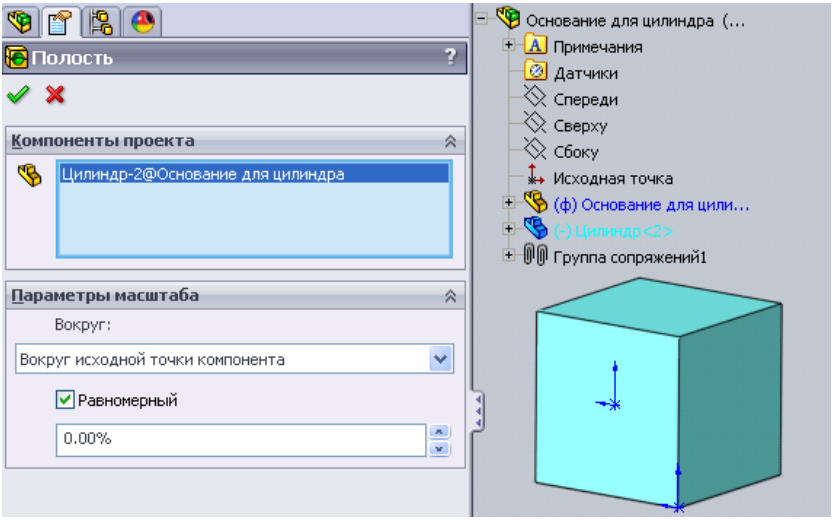


Рисунок 12.17 – Створення порожнини

Натисніть кнопку **ОК**. У результаті пророблених операцій ми одержали деталь «Куб» з порожниною, що має форму деталі

«Циліндр». У такий спосіб можна одержувати порожнини в деталях будь-якої складності. При цьому змінилася вихідна деталь, що входить у складання. Перейдіть у вікно з основою для циліндра, і ви побачите, що в дереві конструювання з'явився пункт **«Полость1»** (рис. 12.18).

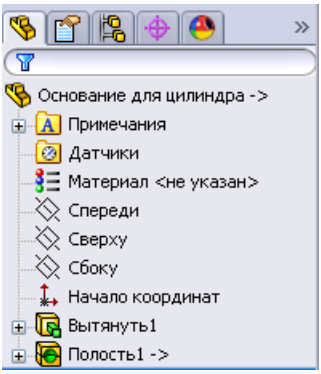


Рисунок 12.18 – Дерево конструювання

Збережіть складання, нажавши кнопку **«Сохранить»**. Після створення складання деталі з порожниною можна перейти до створення похідного компонента деталі в контексті складання. Це необхідно для того, щоб при створенні двох половинок ливарної форми не зачіпалася вихідна деталь. У нашому випадку цією деталлю є куб («Основа для циліндра.sldprt»). Для цього в наявному складанні зробіть активною деталь Куб, клацнувши мишею по деталі на екрані складання або в дереві конструювання. Далі виберіть команду **«Файл | Деталь производного компонента»**. У результаті даних дій у новому вікні повинна з'явитися деталь Куб. Вона має повний асоціативний зв'язок з деталлю в складанні, і це видно по дереву конструювання (рис. 12.19).

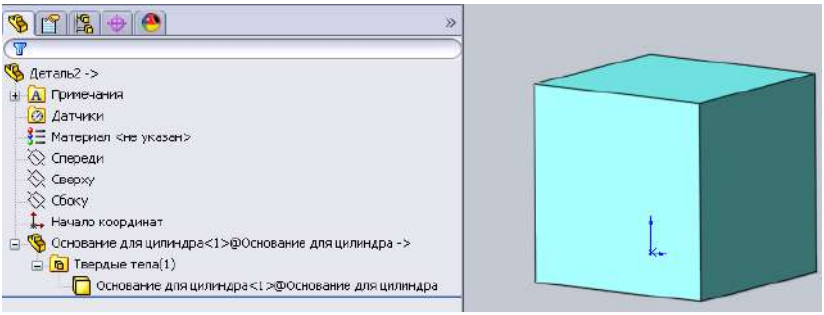


Рисунок 12.19 – Деталь «Куб»

Тепер на передній грані нової деталі похідного компонента за допомогою інструментів ескізу побудуйте лінію приблизно так,

як показано на рис. 12.20. У цьому випадку лінію необов'язково проводити строго через вісь циліндра.

Тому що зараз ми поки не торкаємося питань, пов'язаних з добуванням відлитої деталі з форми, а лише покажемо, як можна просто розрізати деталь і одержати дві половини однієї ливарної форми. Після побудови передбачуваної лінії рознімання можна розрізати нашу деталь на дві половини.

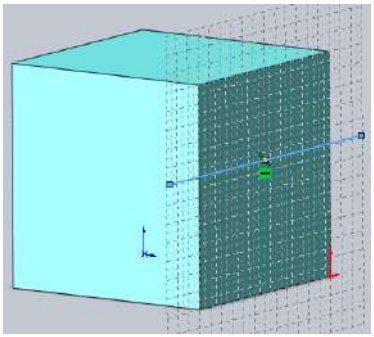


Рисунок 12.20 – Побудова лінії на передній грані

Лінія рознімання не обов'язково повинна бути прямою і розташовуватися строго перпендикулярно напрямку рознімання.

У якості лінії рознімання можна використовувати лінію під кутом до напрямку рознімання, ламану лінію або навіть сплайн. Далі перейдемо до створення розрізу деталі. Виділіть лінію розрізу й натисніть на панелі інструментів **«Элементы»** кнопку – **«Вытянутый вырез»**. В діалоговому вікні **«Вытянуть»**, що з'явилося в менеджері властивостей перевірте, що виріз буде здійснюватися через усю деталь (рис. 12.21), і натисніть кнопку **ОК**. У результаті ви одержите одну з половинок (нижню) ливарної форми так, як показано на рис. 12.22. Збережіть отриману деталь під іменем «Основа для циліндра_1.sldprt».

Для одержання другої (верхньої) половини форми клацніть правою кнопкою миші в дереві конструювання на елементі **«Вытянуть1»** і в контекстному меню що з'явилося виберіть кнопку – **«Редактировать определение»**. У менеджері властивостей у діалоговому вікні **«Вытянуть1»**, що знову з'явилося, на вкладці **«Направление1»** установіть прапорець **«Переставить сторону для выреза».**

Натисніть кнопку **ОК**, і ви одержите другу половину ливарної форми, яка в цьому випадку аналогічна першій, тому що циліндр є симетричною деталлю щодо своєї осі. Для збереження цієї половини в окремому файлі виконайте команду **«Файл |**

Сохранить как» і задайте ім'я файлу «Основа для циліндра_2.sldprt».

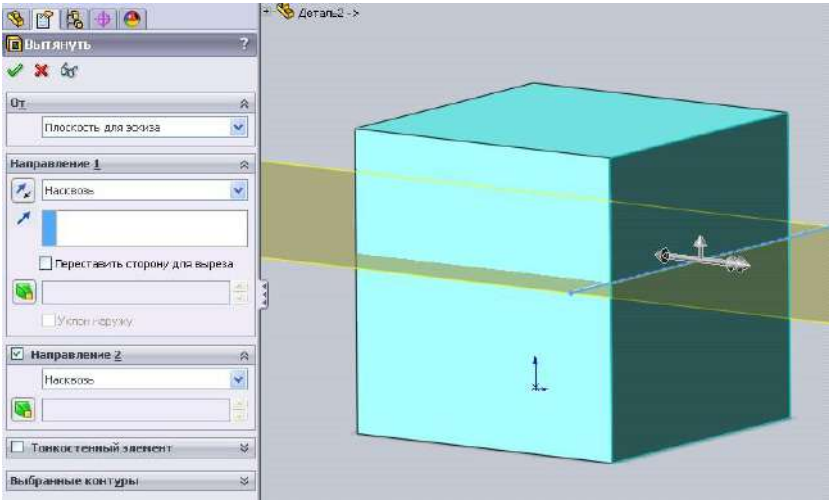


Рисунок 12.21 – Розрізання деталі

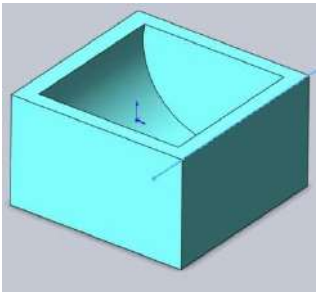


Рисунок 12.22 – Нижня половина ливарної форми

У результаті ми одержали наступні тривимірні моделі: модель деталі, яку необхідно відлити або створити з неї порожнину в іншій деталі; модель основи, з якої необхідно зробити ливарну форму, або деталі, у якій необхідно зробити порожнину; моделі двох половинок ливарної форми.

Ще раз нагадаємо, що розглянутим методом можна виготовляти в деталях порожнини різної складності, які важко одержати шляхом витягнутого й поверненого вирізу, а також при складній конфігурації внутрішніх поверхонь.

У цьому випадку простіше виготовити модель порожнини й здійснити виріз цієї порожнини в іншій деталі за допомогою панелі **«Инструменты для литейной формы»**.

12.4 Оформлення ливарної форми зі складним розніманням

Далі ми розглянемо команди, необхідні при проектуванні ливарних форм, з урахуванням їх розбирання на складові й вилучення відлитої деталі з форми. Оформлення ливарних форм зі складним розніманням розглянемо на прикладі проектування контейнера.

При проектуванні взаємозалежних деталей, таких як модель порожнини й дві половини ливарної форми, зручно розташовувати тіла й поверхні моделей у спеціальних папках, передбачених в SolidWorks при проектуванні ливарних форм. Відкрийте нове вікно проектування деталі, вибравши команду **«Файл | Новый | Деталь»** і нажавши кнопку **OK.**

Якщо на екрані є інструментальна панель **«Инструменты для литейной формы»**, то в цій панелі повинна бути активною кнопка – **«Вставить папки литейной формы»**. Ці папки призначені для систематизації твердих тіл, які будуть брати участь у процесі проектування ливарних форм. Натисніть на цю кнопку.

Тепер при використанні різних інструментів ливарної форми програма автоматично створить зазначені далі папки й додасть до них відповідні поверхні:

- **«Тела поверхности полости»** – при створенні лінії рознімання. Якщо поверхні, що відтинають, не потрібні, то програма вносить у папку одне тіло поверхні порожнини. Якщо потрібні поверхні, що відтинають, то папка залишається порожньою;
- **«Тела поверхности сердцевины»** – при створенні лінії рознімання. Якщо поверхні, що відтинають, не потрібні, то програма вносить у папку одне тіло поверхні серцевини. Якщо потрібні поверхні, що відтинають, то папка залишається порожньою;
- **«Тела поверхности разъема»** – при створенні поверхні рознімання. Якщо вибрати параметр **«Сшить»** в менеджері властивостей, то в папку додається одна поверхня, в іншому випадку – в папку додається кілька окремих поверхонь.

12.5 Побудова тіла порожнини

Давайте тепер спроектуємо деталь, яка буде моделлю для побудови порожнини. Відкрийте для редагування площину **«Спереди»** й побудуйте ескіз по розмірах, показаних на рис. 12.23.

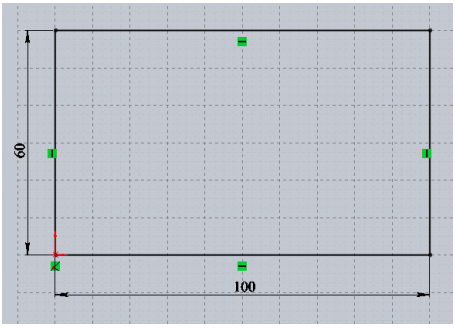


Рисунок 12.23 – Ескіз деталі

Потім вийдіть із ескізу й зробіть його витягування на відстань 40 мм. Таким чином, ми одержали заготовку для нашого контейнера. Збережіть отриману деталь під іменем «Контейнер.sldprt». Оскільки контейнер є пустотілою деталлю, нам необхідно вирізати із центру серцевину.

Можна, звичайно, скористатися командою витягнутого вирізу, але тоді ми втратимо серцевину як деталь. Тому скористаємося іншим прийомом. На панелі інструментів **«Инструменты для литейной формы»** є кнопка – **«Сердцевина»**. Ця команда дозволяє вилучати серцевину з існуючого поділу інструментів. Натисніть на неї. У якості площини побудови виберіть передню грань нашої заготовки й побудуйте ескіз із розмірами, зазначеними на рис. 12.24.

Тепер вийдіть із режиму редагування ескізу й у діалоговому вікні **«Сердцевина»** встановіть параметри так, як на рис. 12.25. Установіть параметр – **«Включить/Выключить уклон»** у режим **«Включить»** й уведіть значення 5°. Це необхідно зробити для того, щоб забезпечити вилучення серцевини з відлитої деталі.

Значення величини ухилу є проектувальним і може мінятися залежно від ливарного матеріалу. Не забудьте встановити прапорець **«Торцевая пробка»**, щоб відітнути днище контейнера. Перевірте, щоб не стояв прапорець **«Уклон наружу»**. Після виставляння всіх параметрів натисніть кнопку **OK**.

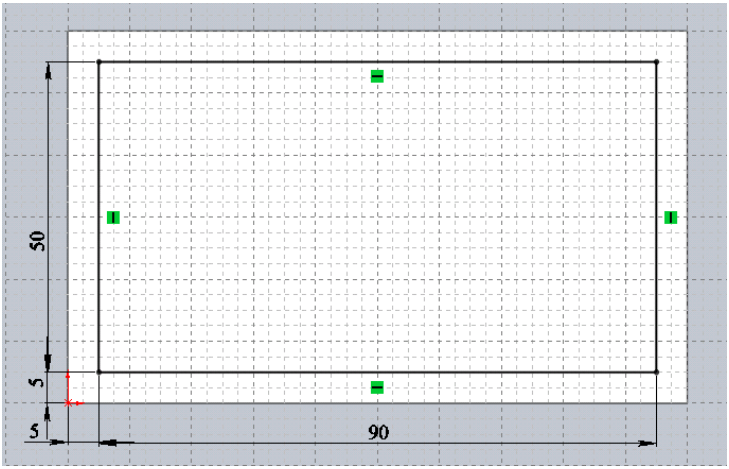


Рисунок 12.24 – Ескіз на передній грані заготовки

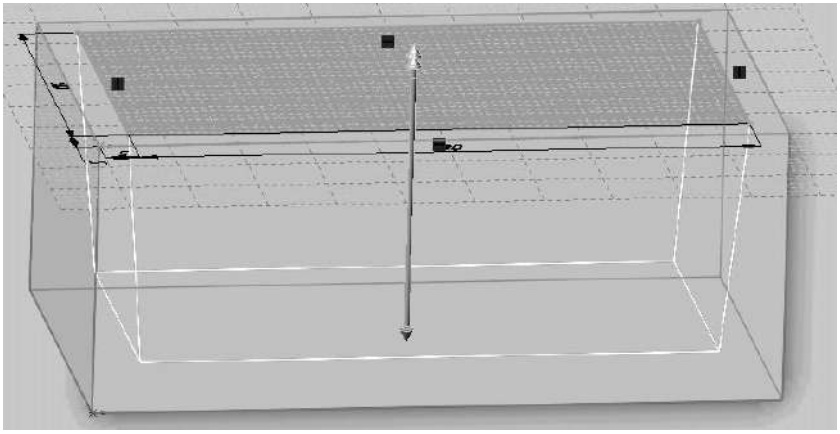


Рисунок 12.25 – Процес створення серцевини

Зовні нічого, начебто б, не змінилося, крім появи у дереві конструювання нового елемента **«Сердцевина1».** Але насправді наша заготовка тепер формально розділена. Тепер розділимо заготовку не формально, а фактично на два твердих тіла.

Для цього скористаємося на панелі **«Инструменты для литейной формы»** кнопкою – **«Разделить»**. В області побудови

точками з винесеннями будуть зазначено два тверді тіла, яким необхідно дати імена й зберегти їх в окремих файлах. Клацнувши мишею по вікну **«Инструменты для отсечения»**, активізуйте його. Потім укажіть мишею верхню грань на деталі **<Грань1>**, щоб ім'я грані з'явилося у вікні. Після цього натисніть кнопку **«Разрезать деталь».**

На вкладці **«Результат»** можна задати ім'я файлу й установити статус деталі: сховати або відобразити тіло деталі. Для збереження, двічі клацніть поле із заголовком **«Файл»** і введіть для об'єкта **«Тело 1»** (зовнішнє тіло) ім'я файлу «Модель контейнера.sldprt», а для об'єкта **«Тело 2»** (внутрішнє тіло) – «Сердцевина.sldprt». Перевірте по рис. 12.26, чи правильно ви все зробили.

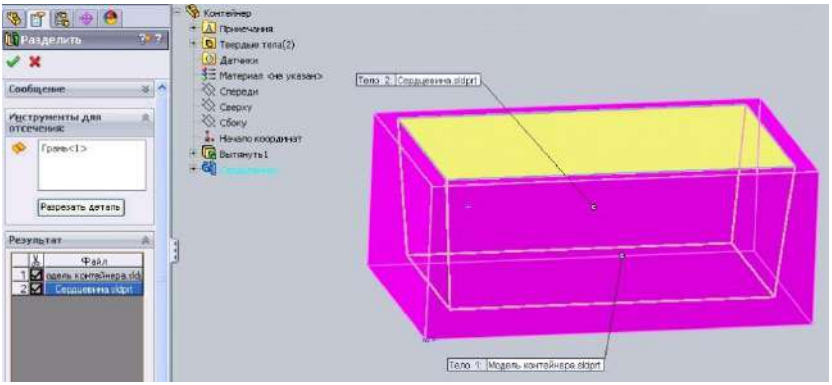


Рисунок 12.26 – Поділ деталей

Після збереження зніміть прапорець із деталі «Модель контейнера.sldprt» під ножицями й установіть в **«Абсорбировать вырезанные тела»**. У результаті серцевина буде схована. Натисніть кнопку **OK**. Якщо ви все зробили правильно, повинен вийти контейнер без серцевини. Крім того, окремо у файлі збережена серцевина контейнера, яка надалі буде нам потрібна для формування ливарної форми.

12.6 Аналіз ухилів

Для того щоб відлита деталь могла бути вилучена з форми, необхідно надавати граням деталі, що розташовуються уздовж

напрямку добування, ливарні ухили. Інакше кажучи, до виштовхування моделі висувають наступні вимоги:

- усі грані повинні відхилятися від лінії рознімання, яка відокремлює серцевину від площини;
- специфікації проекту повинні включати мінімальний кут ухилу для перевірки;
- поверхні внутрішньої сторони деталі повинні мати позитивний ухил;
- поверхні базової сторони деталі повинні мати негативний ухил;
- значення кута ухилу всіх поверхонь повинне бути більше мінімального значення, зазначеного в специфікаціях проекту;
- поверхні перетинання повинні бути відсутні.

Аналіз ухилу за допомогою команди «Анализ уклона».

Для аналізу ливарних ухилів в SolidWorks є інструмент – **«Анализ уклона»**. Отже давайте проаналізуємо нашу деталь «Контейнер» з погляду вилучення з форми. Для запуску команди пройдіть шлях **«Вид | Отображение | Анализ уклона»**. Відразу в менеджері властивостей з'явиться діалогове вікно **«Анализ уклона»**, у якому потрібно задати параметри для аналізу. Оскільки ливарна форма складається із двох половин, що переміщаються при добуванні деталі в різних напрямках, то при аналізі поверхонь необхідно стежити за відповідними гранями деталі. Давайте для початку простежимо можливість вилучення половини форми із серцевиною зсередини контейнера.

На вкладці **«Настройки анализа»** активізуйте поле **«Направление натяжения»** й укажіть на контейнері грань, що є дном цього контейнера (**Грань<1>**). **«Угол уклона»** – 5. Перевірте, чи спрямована стрілка в грані нагору. Якщо стрілка спрямована вниз, натисніть кнопку – **«Реверс направления»**. Коли всі параметри задані, установіть прапорець **«Определение грани»** (рис. 12.27). Внутрішні грані й дно контейнера повинні підсвітитися зеленим кольором (установленим за замовчуванням). Це говорить про те, що ухили встановлені правильно, і проблем з вилученням деталі з форми із серцевиною бути не повинно. Тут і далі вказується розцвічення граней, що позначає різні варіанти ухилів, прийняті за замовчуванням.

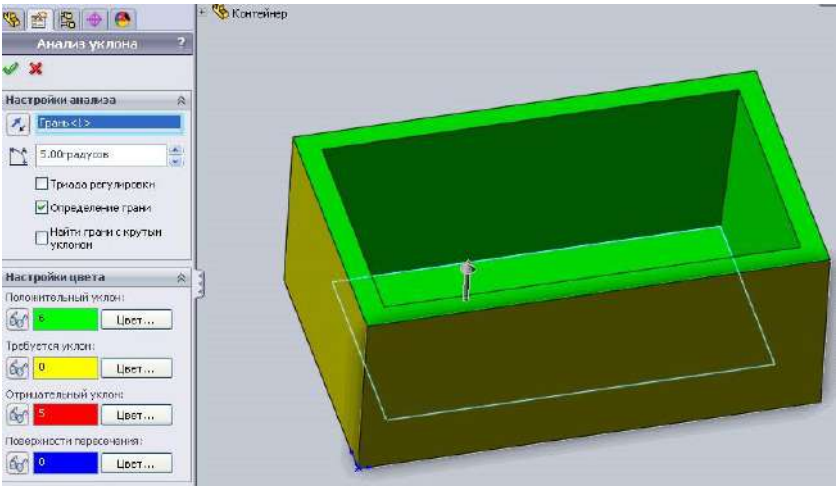


Рисунок 12.27 – Настроювання аналізу ухилу

У принципі, користувач сам може призначити зручне для себе розцвічення граней. Для цього потрібно лише нажати кнопку й вибрати варіант що сподобався. Нажавши кнопку – **«Отобразить/скрыть»**, можна сховати й знову відобразити грані з відповідними ухилами.

Тепер проаналізуємо вилучення контейнера із другої форми. Для цього переверніть деталь, активізуйте поле **«Направление натяжения»** й натисніть клавішу **<Delete>** для видалення старої грані. Після цього клацніть мишею по дну контейнера, але із зовнішньої сторони. У вікні з'явиться елемент **Грань<2>**. Стрілка натягу повинна бути спрямована нагору, по напрямку вилучення форми. Оскільки параметри залишилися тими ж, то програма відразу покаже результат (рис. 12.28).

Цього разу бічні грані контейнера офарбилися в жовто-зелений колір, що говорить про те, що для цих граней потрібно встановити ухил. Величина ухилу залежить від застосовуваного матеріалу. Після аналізу натисніть кнопку **OK**. Програма збереже кольори граней з додаванням легенди й вказівкою кількості граней у нижній правій ділянці графічної зони (рис. 12.29). Щоб скасувати розцвічення граней, ще раз пройдіть шлях **«Вид | Отображение | Анализ уклона».**

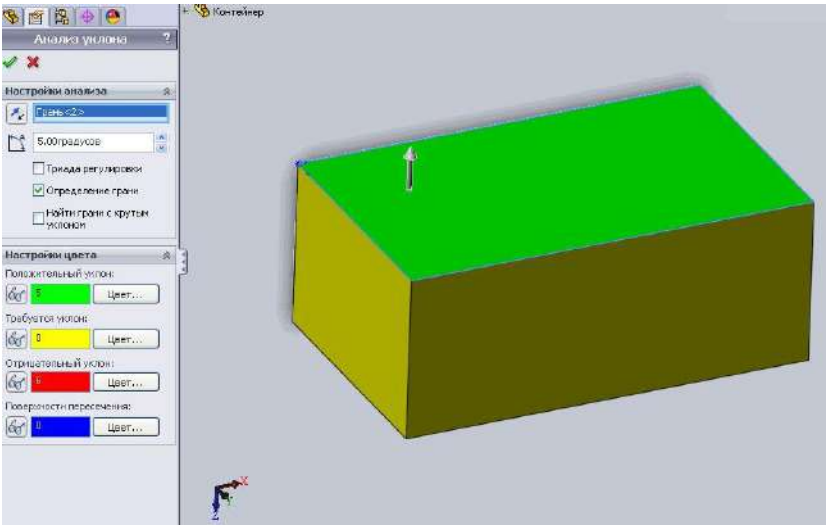


Рисунок 12.28 – Аналіз вилучення деталі з форми

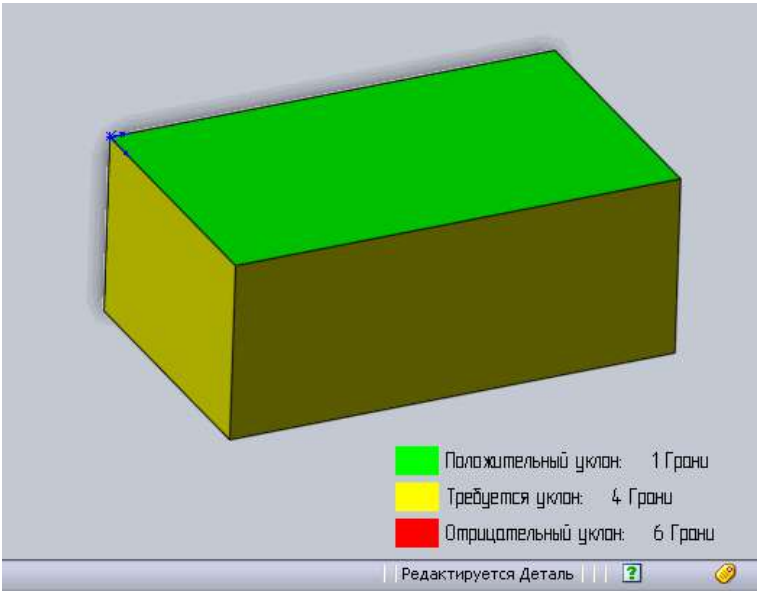


Рисунок 12.29 – Вибір кольорів граней
з додаванням легенди

12.7 Аналіз ухилів за допомогою інструмента Draftxpert

Для полегшення аналізу ливарних ухилів та їх завдання, в SolidWorks служить інструмент **Draftxpert**. Давайте проаналізуємо нашу деталь Контейнер з погляду вилучення з форми за допомогою цього інструмента.

Натисніть на панелі інструментів **«Инструменты для литейной формы»** кнопку – **«Уклон»**. Відразу з'явиться діалогове вікно **«Уклон»**, у якому не тільки можна задати параметри ухилу, але й провести аналіз інструментом **Draftxpert.**

Оскільки ливарна форма складається із двох половин, що переміщаються при добуванні деталі в різних напрямках, то при аналізі поверхонь необхідно стежити за відповідними гранями деталі. Проаналізуємо можливість вилучення половини форми із серцевиною зсередини контейнера.

У вікні **Draftxpert** перейдіть на вкладку **«Добавить»** й клацніть мишею в полі **«Нейтральная плоскость»** розділу **«Элементы под уклон»**. Потім клацніть мишею на контейнері грань, що є дном цього контейнера (**Грань<1>**). **«Угол уклона»** установіть 5. Перевірте, чи спрямована сіра стрілка (що вказує напрямок виштовхування) в одного з кутів грані нагору.

Якщо стрілка спрямована вниз, натисніть кнопку – **«Реверс направления»**. Коли всі параметри встановлені, установіть прапорець **«Авто-краска»** в розділі **«Анализ уклона»** (рис. 12.30). Внутрішні грані контейнера повинні підсвітитися синім кольором (установленим за замовчуванням). Це говорить про те, що ухили встановлені правильно й проблем з вилученням деталі з форми із серцевиною бути не повинно.

Зовнішні грані підсвітяться жовтим кольором, це вказує що ухил граней дорівнює 0°. Числа в кольорових вікнах розділу **«Анализ уклона»** означають кількість граней, що задовольняють заданій умові ухилу.

Тепер проаналізуємо вилучення контейнера із другої форми. Для цього переверніть деталь, активізуйте поле **«Нейтральная плоскость»** й натисніть клавішу **<Delete>** для видалення старої грані. Після цього клацніть мишею по дну контейнера, але із зовнішньої сторони. У вікні з'явиться елемент **Грань<6>.**

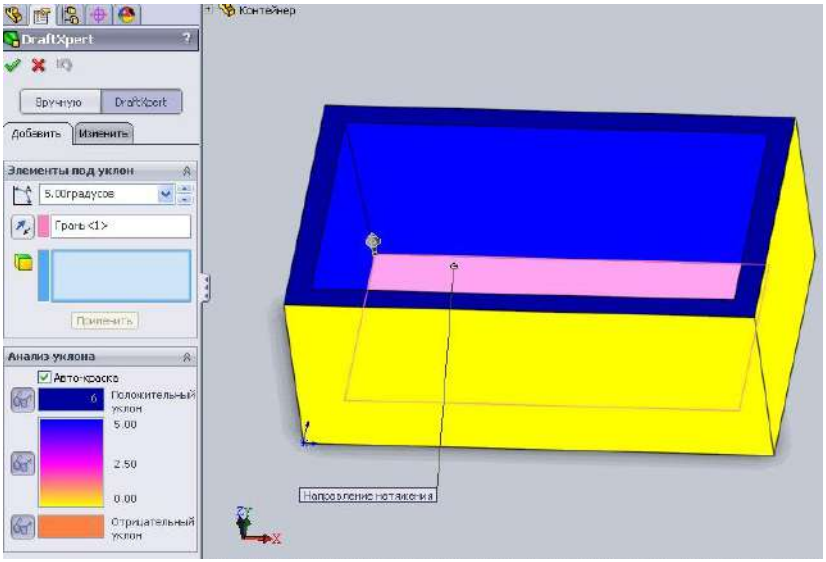


Рисунок 12.30 – Аналіз ухилів за допомогою інструмента Draftxpert

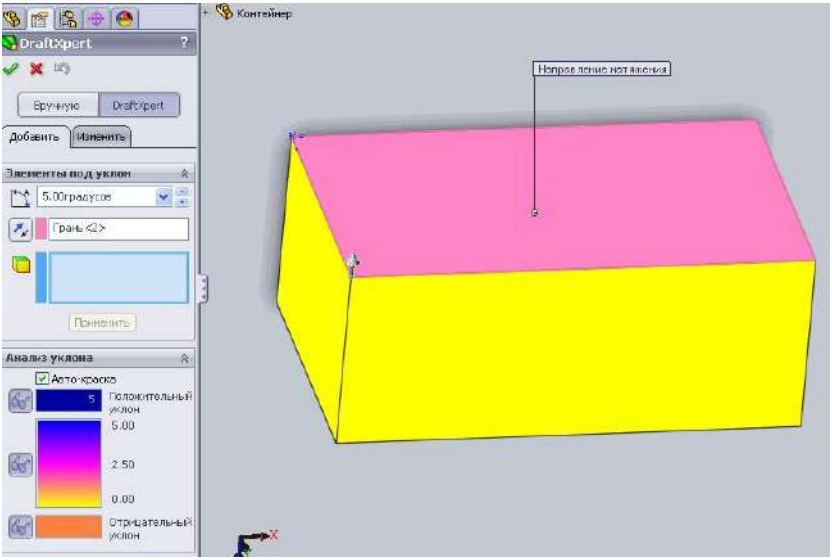


Рисунок 12.31 – Аналізуємо вилучення контейнера із другої форми

Стрілка натягу повинна бути по напрямку вилучення форми. Оскільки параметри залишилися тими ж і прапорець **«Авто-краска»** не знімався, то просто проаналізуйте ухили граней (рис. 12.31). Цього разу бічні грані контейнера офарбилися в жовтий колір, що говорить про те, що для цих граней потрібно встановити ухил.

Величина ухилу залежить від застосовуваного матеріалу. Після аналізу можна нажати кнопку **OK** у менеджері властивостей для завершення команди, але якщо потрібно задати граням ухил, то завершувати команду немає необхідності.

12.8 Завдання ухилу

Тепер давайте для граней, яким потрібен ухил, призначимо ливарні ухили. Якщо ви встигнули завершити попередню команду, то знову натисніть кнопку – **«Уклон»** на панелі інструментів **«Инструменты для литейной формы»**. З'явиться діалогове вікно **«Уклон»**. Перейдіть на вкладку **«Вручную»**. Виберіть у списку **«Тип уклона»** значення **«Нейтральная плоскость»** і в якості площини вкажіть верхню грань борту контейнера (**Грань<1>**).

Поруч із гранню з'явиться стрілка, що вказує напрямок натягу – униз. Потім клацніть мишею у вікні **«Грани под уклон»** і виберіть бічні грані контейнера (їх усього чотири). Імена граней повинні відобразитися у вікні. Інші параметри встановіть так, як показано на рис. 12.32.

Далі натисніть кнопку **OK**. У результаті грані контейнера набудуть ухил, а в дереві конструювання з'явиться відповідний елемент. Тепер за допомогою інструмента **Draftxpert** можете самостійно провести аналіз вилучення деталі з форми.

12.9 Визначення виточення

Далі ми розглянемо ще один інструмент проектування – **«Анализ выточки»** для пошуку в моделі поглинених областей, які не можна витягти з ливарної форми. Ці області звичайно переміщаються перпендикулярно напрямку розділених сегментів серцевини й порожнини. Отже інструмент – **«Анализ выточки»** застосовується тільки для визначення елементів твердих тел. Визначення елементів поверхонь не виконується.

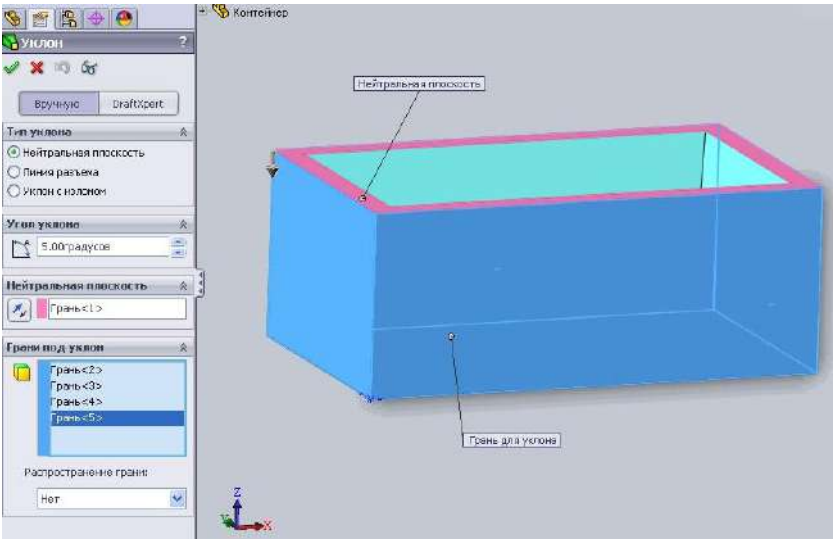


Рисунок 12.32 – Призначення ливарних ухилів

Давайте проведемо визначення виточення для нашого контейнера. Для цього запустіть команду, пройшовши шлях **«Вид | Отображение | Анализ выточки»** (рис. 12.33).

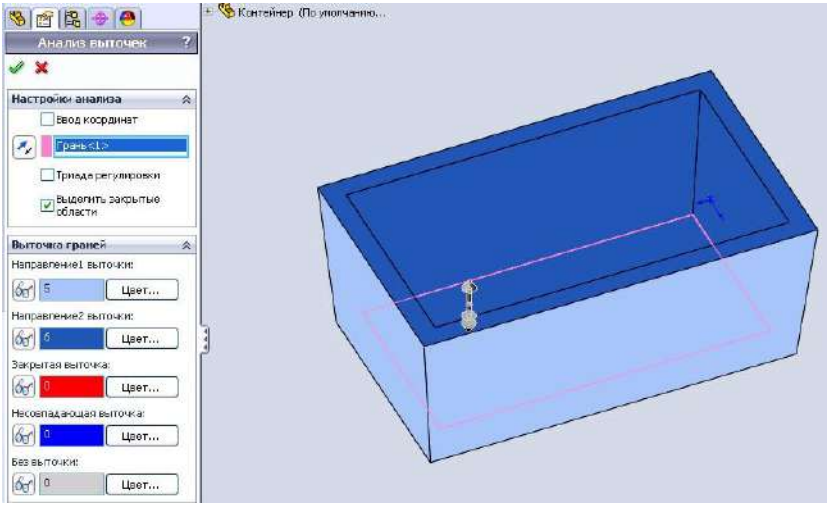


Рисунок 12.33 – Процес пошуку в моделі поглинених областей

У якості напрямку для натягу виберіть дно контейнера (**Грань<1>**). Внутрішні грані при цьому стануть блакитними, а зовнішні – синіми. Це говорить про те, що дана деталь може бути вільно вилучена з форми в обох напрямках.

Натисніть кнопку **OK**, і деталь збереже кольори граней, причому в правому нижньому куті графічної зони з'явиться легенда із вказівкою кольору й кількості виточень (рис. 12.35). Для скасування колірного розцвічення граней знову пройдіть шлях **«Вид | Отображение | Анализ выточки»**. Як приклад неправильного проектування давайте створимо виточення на внутрішній бічній грані контейнера так, як показано на рис. 12.34. Для цього на бічній грані побудуйте ескіз окружності й створіть витягнутий елемент. Розміри циліндричного виточення можуть бути довільними, тому що ми просто продемонструємо дію команди визначення виточення. Після створення виточення знову викличте команду **«Анализ выточки»**. Як і минулого разу, у якості напрямку для натягу виберіть дно контейнера (**Грань<1>**). **«Результат»** аналізу цього разу виявився іншим (рис. 12.36).

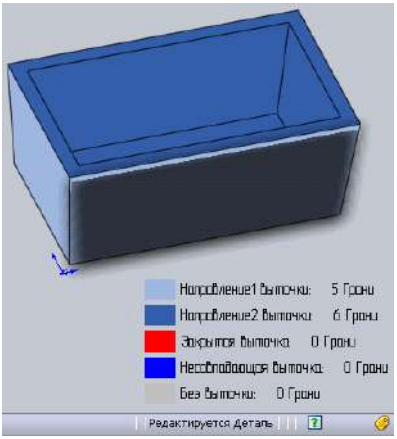


Рисунок 12.35 – Кількість виточень

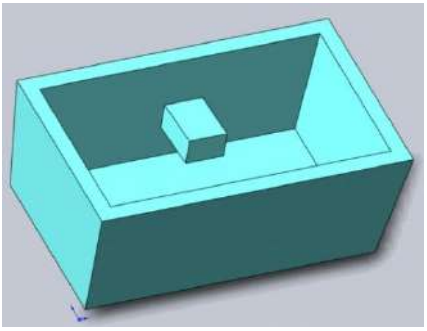


Рисунок 12.34 – Виточення на внутрішній бічній грані контейнера

Грані, які не зможуть бути витягнуті з форми, відзначені червоним кольором. У такий спосіб можна попередньо аналізувати процес вилучення ливарної деталі з форми.

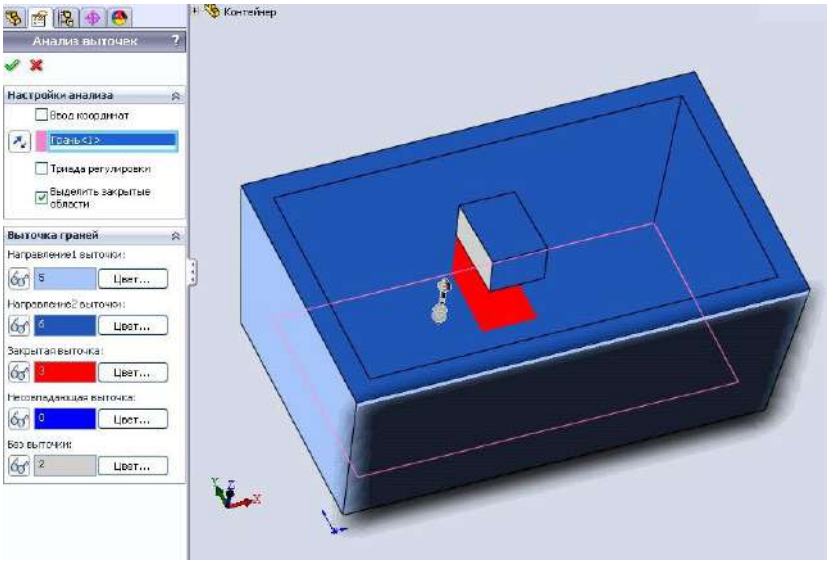


Рисунок 12.36 – Приклад аналізу неправильного проектування

Тепер натисніть кнопку – **«Отмена»**, щоб завершити команду без збереження кольорів граней, і вилучите тільки що побудоване виточення з ескізом, тому що вони нам надалі більше не знадобляться. Збережіть побудовану деталь «Контейнер», нажавши кнопку **«Сохранить».**

12.10 Створення основи

Давайте тепер спроектуємо деталь основи контейнера. Для цього побудуйте ескіз по розмірах, показаних на рис. 12.37. Потім вийдіть із ескізу й зробіть витягування на відстань 60 мм. Розміри основи повинні бути обов'язково більші моделі. Збережіть деталь, нажавши кнопку **«Сохранить»** й увівши в поле **«Имя файла»** ім'я деталі, що зберігається, «Основа для контейнера.sldprt».

12.11 Створення проміжного складання

Створіть новий файл «Сборка.sldasm». У менеджері властивостей з'явиться діалогове вікно **«Начать сборку»**. Якщо файли з деталями, що беруть участь у складанні, були попередньо

відкриті, то у вікні **«Деталь/сборка для вставки»** з'являться імена деталей. А якщо ні, то необхідно буде нажати кнопку **«Обзор»** і провести пошук файлу самостійно.

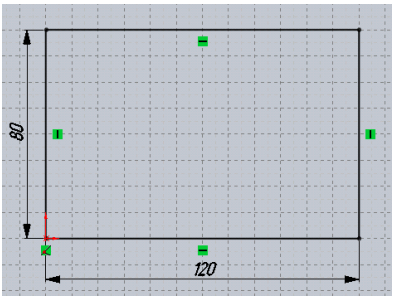


Рисунок 12.37 – Ескіз основи контейнера

Спочатку в складання вставте деталь Основа для контейнера. Тому що ця деталь у складанні є першою, вона автоматично буде зафіксована.

Відразу ж зробіть деталь напівпрозорою, щоб надалі було видно розташування контейнера усередині основи.

Для цього наведіть на деталь покажчик миші й натисніть праву кнопку.

У меню, що випадає, виберіть кнопку – **«Изменить прозрачность»**. Тепер прийшла черга вставити в складання другу деталь. Для цього виберіть команду **«Вставка | Компонент | Из файла»**. З'явиться вже знайоме вам діалогове вікно **«Вставить компонент»**. Розташуйте деталь Контейнер усередині основи для контейнера, користуючись кнопками – **«Переместить компонент»** і **«Вращать компонент»** на панелі інструментів **«Сборка»**. Тепер установимо відстань між бортом контейнера й гранню основи, щоб при розніманні форми точно потрапити в площину борту.

Для цього натисніть кнопку – **«Условия сопряжения»** на панелі інструментів **«Сборка»**. Укажіть мишею грань борту контейнера й грань основи так, як показано на рис. 12.38. У вікні **«Выбор сопряжений»** повинні з'явитися імена обраних граней. Натисніть кнопку – **«Расстояние»**, щоб установити відстань між гранями 10 мм. Перевірте, чи все правильно ви зробили, і натисніть кнопку **ОК**. Збережіть складання під іменем «Ливарна форма для контейнера.sldasm»**.**

12.12 Створення порожнини

Тепер створимо порожнину за формою нашого контейнера. Для цього зробіть активною деталь основи для контейнера, клацнувши по ній у дереві конструювання, і натисніть кнопку –

«Редактировать деталь» на панелі інструментів **«Сборка»**.

Потім натисніть кнопку – **«Полость»** на панелі інструментів **«Инструменты для литейной формы»** й виберіть у дереві конструювання компонент складання **«Контейнер»**.

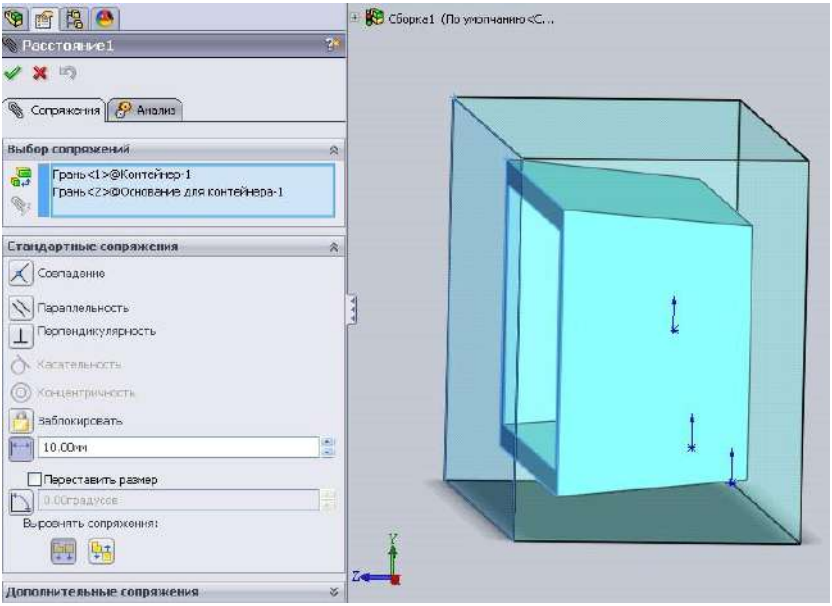


Рисунок 12.38 – Створення проміжного складання

Дерево конструювання в цьому випадку переміщається в область побудови і може бути згорнуте. Щоб його розгорнути, натисніть на значок плюса поруч із іменем **«Литейная форма для контейнера»**. Після вставки компонента його ім’я повинне з’явитися у вікні **«Компоненты проекта»**. Якщо матеріал деталі сильно всідається при охолодженні, необхідно задавати відсоток усадки.

У вікні **«Параметры масштаба»** встановіть усадку **«Вокруг исходной точки компонента»**, поставте прапорець **«Равномерный»** і встановіть відсоток усадки (1%). Перевірте по рис. 12.39 правильність усіх установок.

Якщо все правильно, то натисніть кнопку **ОК**. Збережіть складання, нажавши кнопку **«Сохранить»**. При запиті програми,

який документ зберегти, послідовно виберіть файл деталі й файл складання.

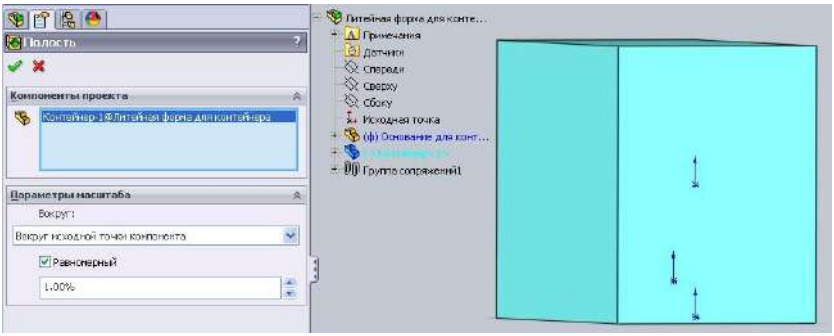


Рисунок 12.39 – Процес створення порожнини

12.13 Оформлення першої ливарної напівформи

Відкрийте файл деталі «Основа для контейнера.sldprt» або перейдіть у вікно із цією деталлю, якщо файл не був закритий. Зробіть деталь напівпрозорою, для чого правою кнопкою миші клацніть на деталі й у контекстному меню, що з'явилося, виберіть пункт – **«Внешние виды».**

При цьому відкриється нове контекстне меню, у якому виберіть останній пункт **«Основание для контейнера»** (рис. 12.40), щоб змінити прозорість усієї деталі. У менеджері властивостей відкриється діалогове вікно **«Цвет»**, у розділі **«Дополнительно»** на вкладці **«Освещение»** перемістіть повзунок **«Прозрачность»** у середнє положення (рис. 12.41).

Для завершення команди натисніть кнопку **ОК**. На передній грані деталі створіть ескіз і побудуйте лінію так, як показано на рис. 12.42, на відстані від краю 10 мм. Лінія повинна виступати по довжині по обидва боки. Закінчить редагування ескізу.

Далі створіть **«Вытянутый вырез»**, нажавши на панелі інструментів **«Элементы»** кнопку – **«Вытянутый вырез».** Оскільки лінія не має товщини, то виріз також не буде мати товщини, а просто розсіче деталь.

У якості ескізу для вирізу виберіть тільки що побудований ескіз із лінією. З'явиться діалогове вікно **«Вытянуть».**

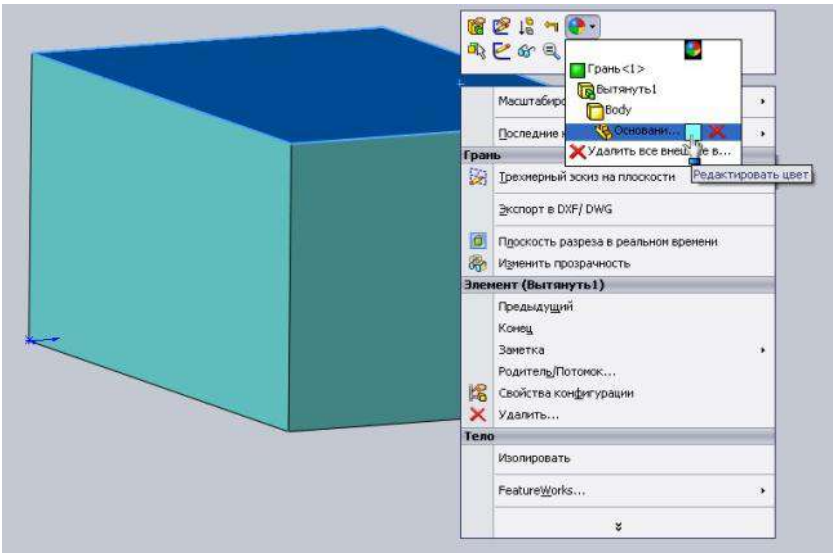


Рисунок 12.40 – Вибір пункту «Внешние виды»

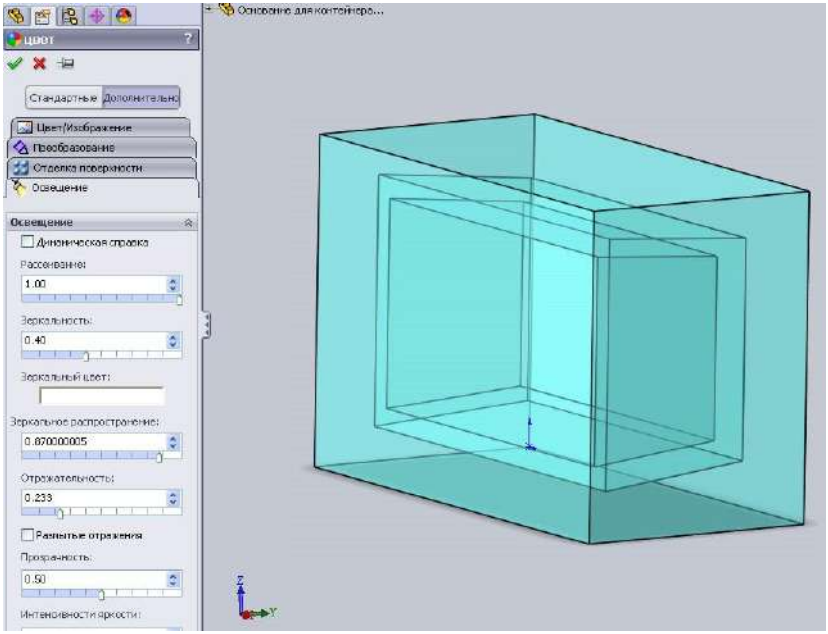


Рисунок 12.41 – Зміна прозорості

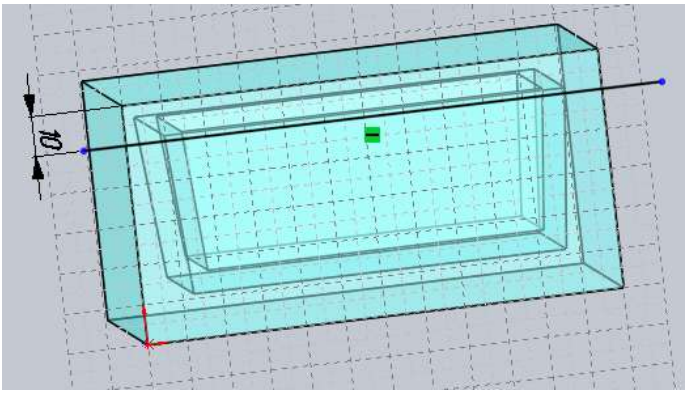


Рисунок 12.42 – Побудова лінії розрізу

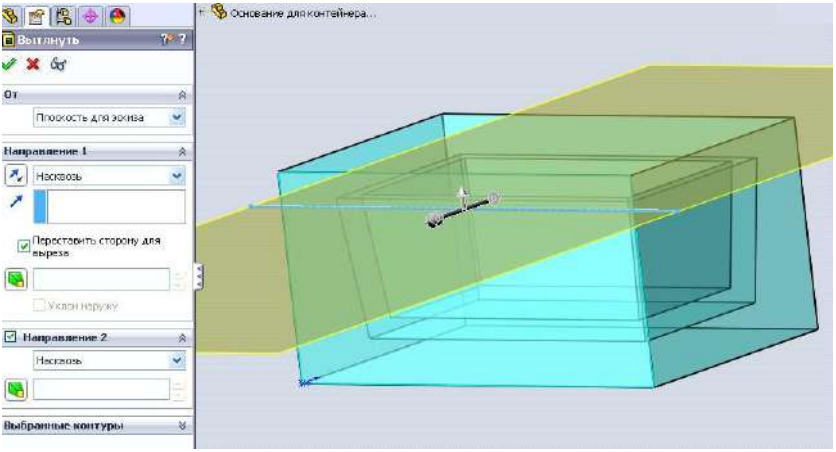


Рисунок 12.43 – Створення витягнутого вирізу

Упевніться, що в розділі **«От»** установлене значення **«Плоскость для эскиза»**, а в розділах **«Направление1»** і **«Направление2»** у полі **«Граничное условие» – «Насквозь».** Одна зі стрілок (та, що показує напрямок відсікання) повинна бути спрямована нагору (рис. 12.43).

Тепер натисніть кнопку **ОК**. Програма зробить виріз, і оскільки в частині, що залишилася, виникають дві роз'єднані деталі, то запросить у користувача за допомогою вікна, показаного на рис. 12.44, яке з тіл залишити.

Виберіть ту деталь, яка є зовнішньою, установіть у вікні **«Оставить тела»** прапорець і натисніть кнопку **OK**. Ви одержите практично готову половину ливарної форми, показану на рис. 12.45. Зробіть деталь знову непрозорою й збережіть її в окремому файлі.

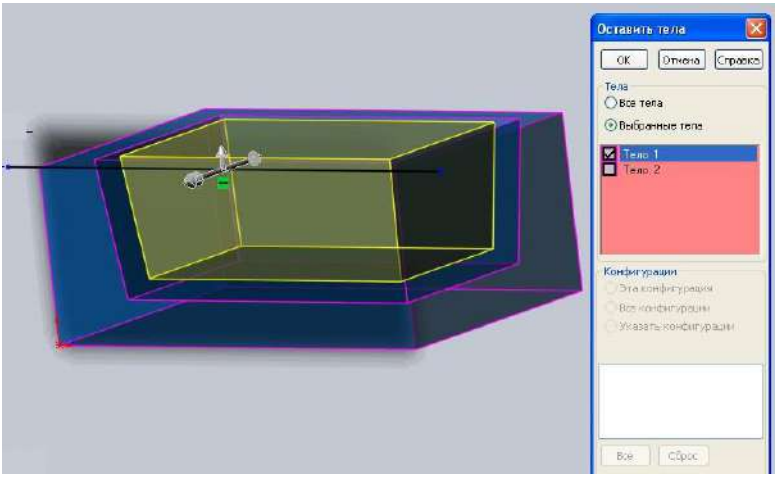


Рисунок 12.44 – Запит на залишення частини

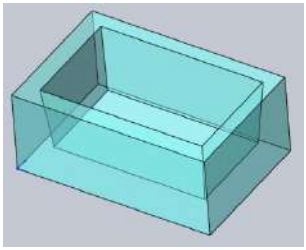


Рисунок 12.45 – Готова половина форми

Перед збереженням програма попередить, що дана команда може порушити існуючі посилання. Але посилання нам ще будуть потрібні, тому що необхідно створити другу половину ливарної форми.

Тому у діалоговому вікні **«Сохранить как»** установіть прапорець **«Сохранить как копию»**. Уведіть ім'я файлу **«Напівформа_1»** і натисніть кнопку **OK**.

12.14 Оформлення другої ливарної напівформи

Тепер настала черга сформувати другу напівформу. Відкрийте файл деталі «Основа для контейнера.sldprt», якщо ви встигнули його закрити, і відредагуйте останню операцію

витягнутого вирізу по лінії.

Для цього наведіть мишу в дереві конструювання на елемент **«Вытянуть1»** і клацніть правою кнопкою. У контекстному меню виберіть кнопку – **«Редактировать определение»**. Відкриється діалогове вікно **«Вытянуть1»**, у якому поставте прапорець **«Переставить сторону для выреза»**. У такий спосіб ми змінимо напрямок для відсікання. Тепер натисніть кнопку **ОК**. У результаті ми одержимо другу половину ливарної форми, але поки що без серцевини (рис. 12.46). Збережіть цю деталь, нажавши кнопку **«Сохранить».**

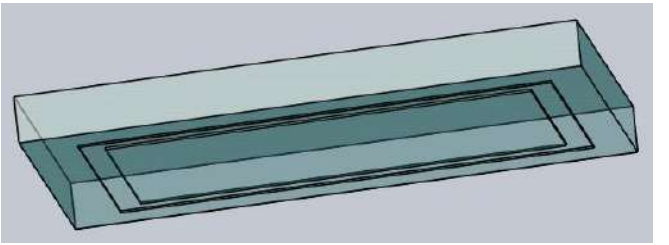


Рисунок 12.46 – Друга половина ливарної форми

Щоб зробити повноцінну напівформу, необхідно скористатися складанням. Отже створіть нове складання. У діалоговому вікні **«Начать сборку»**, що відкрилося на вкладці **«Деталь/сборка для вставки»**, знайдіть елемент **«Основание для контейнера»** і вставте його в складання. Якщо такої деталі немає, зробіть пошук файлу, нажавши кнопку **«Обзор».**

У якості другої деталі вставте файл «Сердцевина.sldprt», вибравши команду **«Вставка | Компонент | Из файла»** й нажавши кнопку **«Обзор»**. Попередньо встановіть серцевину на деякій відстані від основи й натисніть кнопку – **«Условия сопряжения»** в інструментальній панелі **«Сборка»**. Укажіть грані на серцевині й основі, звернені одна до одної, як на рис. 12.47. Тепер натисніть кнопку – **«Совпадение»** і вирівняйте виділені грані. Натисніть кнопку **ОК** у менеджері властивостей. Далі за допомогою цієї ж команди помістіть серцевину в потрібне місце. Використовуючи крайки серцевини й основи, призначте умови сполучення так, щоб серцевина розташовувалася посередині основи (рис. 12.48).

Після установки всіх сполучень натисніть кнопку **OK**. У такий спосіб ми одержали другу половину ливарної форми. Натисніть кнопку **«Сохранить»** й збережіть половинку ливарної форми у файлі під іменем **«Напівформа_2.sldasm»**. У результаті ми одержали дві напівформи, які, замикаючись, утворюють порожнину. Тепер з напівформ можна створювати робочі креслення деталей.

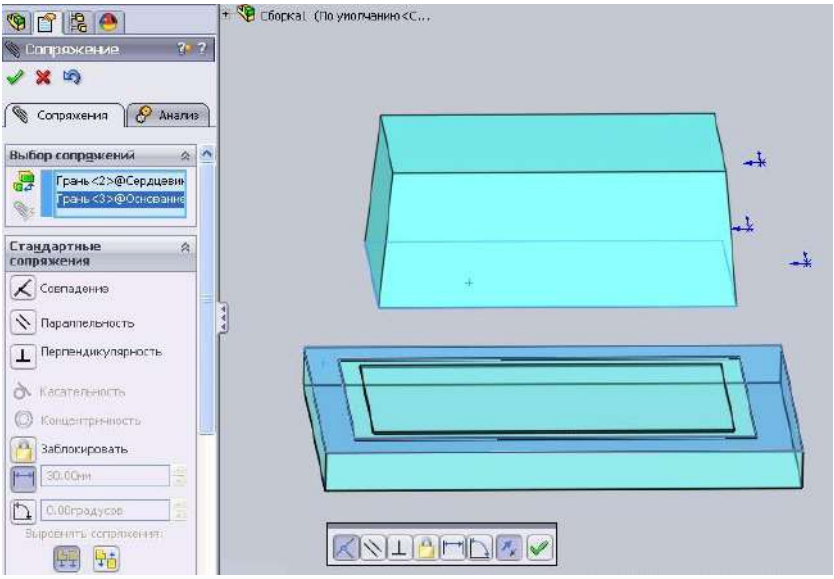


Рисунок 12.47 – Завдання умов сполучень

12.15 Проектування ливарної форми

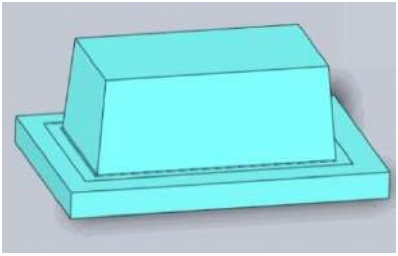


Рисунок 12.48 – Дві напівформи, які утворюють порожнину

Ливарна форма складається із серцевини й порожнини.

Використовуючи існуючу модель як початкову точку, створюється серцевина, що повторює форму внутрішньої поверхні моделі, і порожнина, що повторює форму зовнішньої поверхні моделі.

Лінія рознімання відокремлює серцевину від порожнини. **«Сердцевина»** й порожнина з'єднуються, і в процесі лиття, матеріал вводиться усередину й заповнює порожній простір між серцевиною й порожниною.

Після того як ливарний матеріал охолоне, серцевина й порожнина розділяються й модель видаляється. Перед створенням серцевини й порожнини необхідно підготувати модель так, щоб забезпечити її правильне видалення. Для цього послідовно застосовуються інструменти ливарної форми. Сердцевина й порожнина являють собою дві напівформи, з яких складається цільна форма для лиття.

12.16 Створення моделі деталі

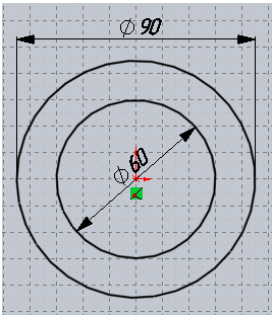


Рисунок 12.49 – Ескіз втулки

Покажемо проектування ливарної форми на прикладі простої деталі – Втулки. Створимо модель цієї деталі. Запустимо програму SolidWorks і ввійдемо у режим малювання ескізів.

Намалюємо ескіз, показаний на рис. 12.49. Тепер за допомогою команди – **«Вытянутая бобышка/основание»** на панелі інструментів **«Элементы»** зробіть витягування ескізу втулки в обидві сторони на 50 мм, загальна довжина при цьому складе 100 мм (рис. 12.50). В обох напрямках задайте ухил усередину 1°. Це необхідно для того, щоб забезпечити вилучення деталі з напівформ. У менеджері властивостей натисніть кнопку **OK** і збережіть деталь під іменем файлу «Втулка.sldprt». Дана деталь буде моделлю для створення ливарних напівформ. Далі створимо лінію рознімання й заодно перевіримо ухил. Для цього з інструментальної панелі **«Инструменты для литейной формы»** викличте команду – **«Линии разъема».**

Інструмент **«Линии разъема»** використовується для перевірки ухилу й додавання ліній рознімання, а також для відділення напівформ. У діалоговому вікні **«Базовая линия уклона»** для поля **«Направление натяжения»** вкажіть мишею в дереві конструювання площина **«Спереди».**

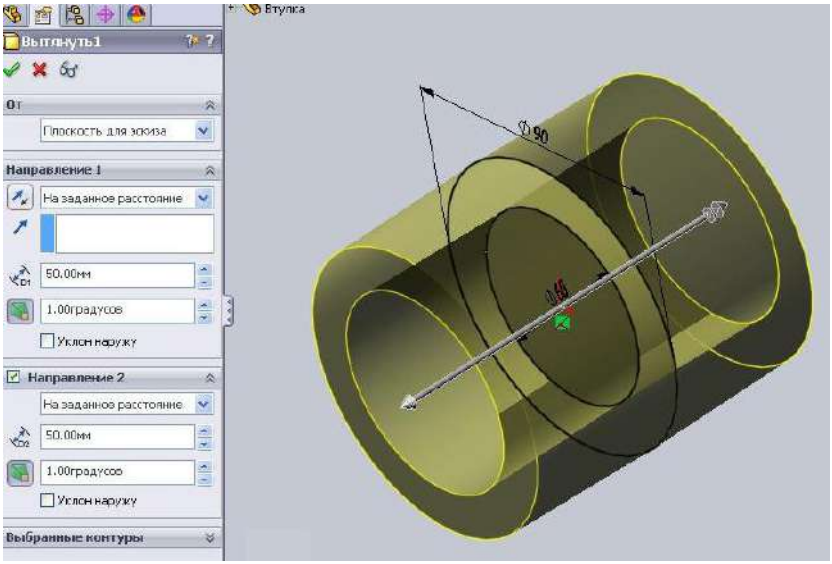


Рисунок 12.50 – Витягування ескізу втулки
в обидві сторони на 50 мм

Оскільки деталь Втулка симетрична, то не має значення установка параметра – **«Реверс направления»** (рис. 12.51).

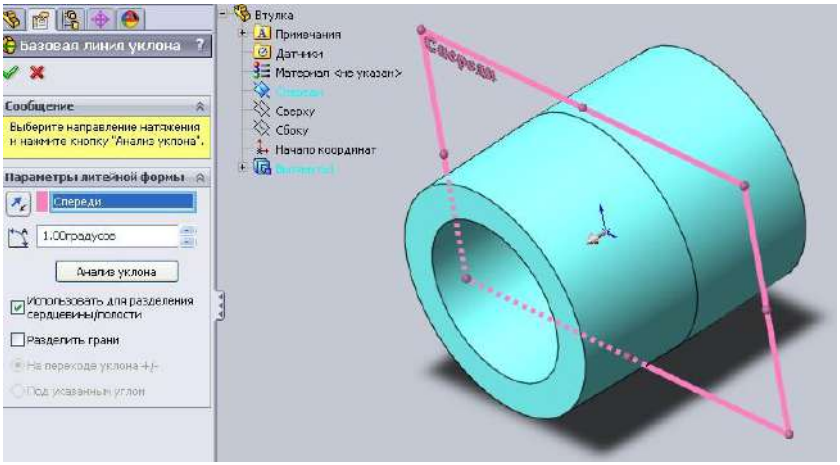


Рисунок 12.51 – Створення лінії рознімання

Натисніть кнопку **«Анализ уклона»**, щоб перевірити ухил моделі. На вкладці **«Линии разъема»** для параметра **«Кромки»** відображаються крайки, які визначають шлях лінії рознімання. У цьому випадку виникла тільки одна крайка – **Крайка<1>** (рис. 12.52).

Якщо модель включає замкнений контур ланцюжка крайок між позитивними й негативними гранями (без поверхонь перетинання), лінія рознімання буде створена уздовж цього ланцюжка крайок.

Однак створена системою лінія рознімання не гарантує достатній ухил усіх граней. При цьому модель офарбилася в різні кольори: зелений колір – позитивний ухил, що забезпечує видалення; жовтий колір – без ухилу; червоний колір – негативний ухил, що не дає вільно витягати деталь; синій колір – перетинання.

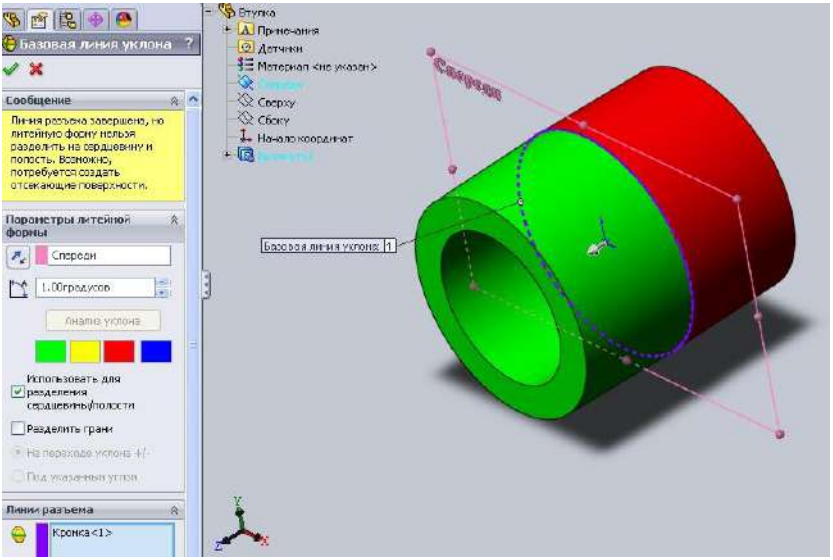


Рисунок 12.52 – Перевірка ухилу

За бажанням користувача кольори можна поміняти, якщо клацнути мишею по одному із квадратів. Покрутіть деталь і перевірте відсутність поверхонь перетинання або граней без ухилу. Оскільки в нашій деталі відсутні жовті й сині кольори,

вона відповідає всім вимогам. Перевірте по рис. 12.52 коректність установки параметрів і натисніть кнопку **ОК** для створення лінії рознімання.

Щоб розрізати ливарну форму на дві частини, необхідні дві закінчені поверхні (поверхня серцевини й поверхня порожнини) без яких-небудь наскрізних отворів. Відсікаючі поверхні закривають наскрізні отвори. На панелі інструментів **«Инструменты для литейной формы»** натисніть кнопку **«Отсекающие поверхности»**. Усі наскрізні отвори відображаються на вкладці **«Кромки»**. У цій вкладці встановіть прапорці:

- **«Сшить»** – поєднує кожну, відсікаючу поверхню з поверхнею напівформ ливарної форми;
- **«Выбрать контуры»** – вибирає контури, які не є правильними отворами;
- **«Показать условные обозначения»** – показує умовні позначки контурів. У графічній області умовні позначки вказують кожну петлю з типом заповнення поверхні за замовчуванням **«Контакт».**

Перевірте по рис. 12.53 коректність установки параметрів і натисніть кнопку **ОК** для створення відсікаючих поверхонь.

12.17 Створення поверхонь рознімання

Поверхні рознімання витягаються з лінії рознімання й використовуються для відділення напівформ ливарної форми. Для цього на панелі інструментів **«Инструменты для литейной формы»** натисніть кнопку – **«Поверхности разъема»**. На вкладці «Параметры литейной формы» виберіть параметр «Перпендикулярно к натяжению»**.**

На вкладці «Поверхность разъема» встановіть для параметра «Расстояние» значення 10 мм. На вкладці **«Параметры»** встановіть прапорці **«Предв. просмотр»** і **«Сшить все поверхности»**. Натисніть кнопку **«Реверс направления смещения»**, щоб поверхня рознімання була зовні деталі.

Перевірте по рис. 12.54 коректність установки всіх параметрів і натисніть кнопку **ОК** для створення поверхонь рознімання. Неоднорідний колір моделі свідчить, що поверхня напівформи (порожнини) збігається із гранями твердого тіла.

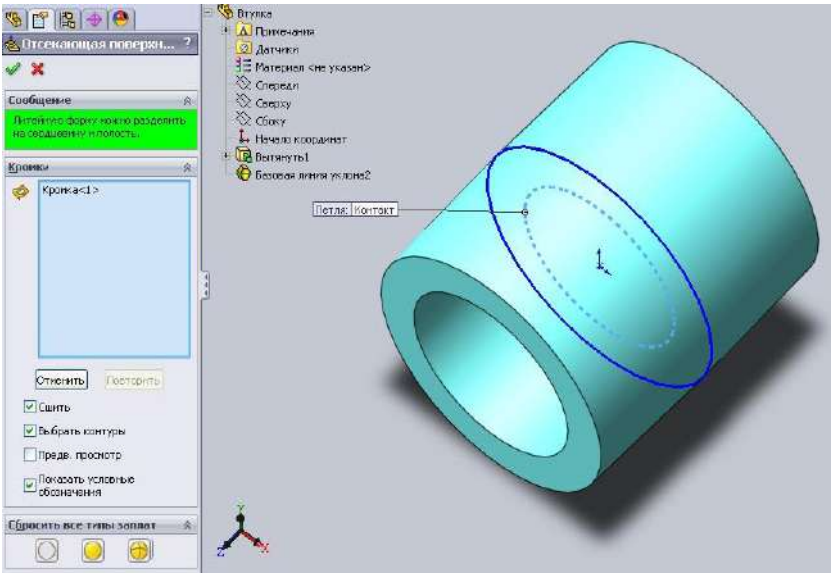


Рисунок 12.53 – Перевірте коректність установки параметрів

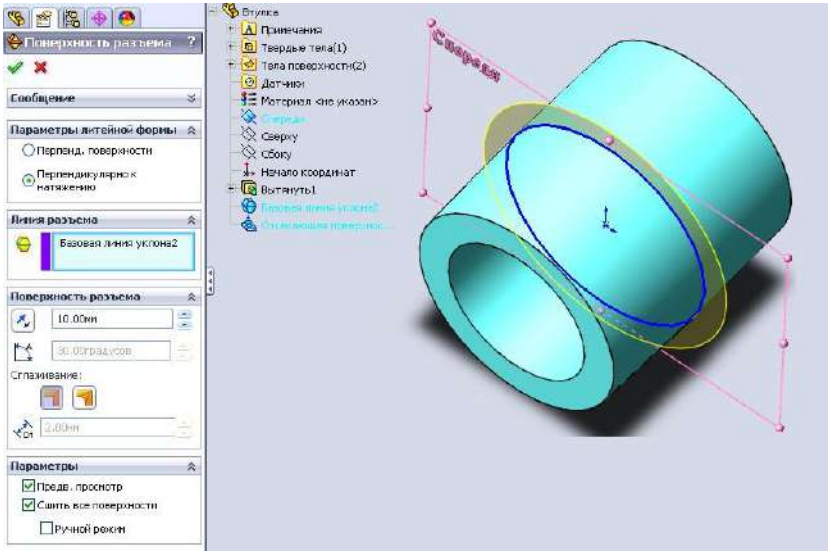


Рисунок 12.54 – Створення поверхонь рознімання

Поверхня рознімання відобразиться в полі **«Тела поверхности разъема»** в розділі **«Тела поверхности»** дерева конструювання.

12.18 Поділ інструментів

Тепер створимо площину поділу інструментів. Для цього зробіть площину **«Спереди»** активною, клацнувши по ній мишею в дереві конструювання. Потім натисніть і втримуйте клавішу **<Ctrl>**, захопіть мишею в графічній області площину **«Спереди»** (при цьому курсор змінить свою форму) і перетягніть її уздовж осі деталі. У менеджері властивостей з'явиться діалогове вікно **«Плоскость»**, у полі якого **«Смещение»** задайте відстань 70 мм (рис. 12.55).

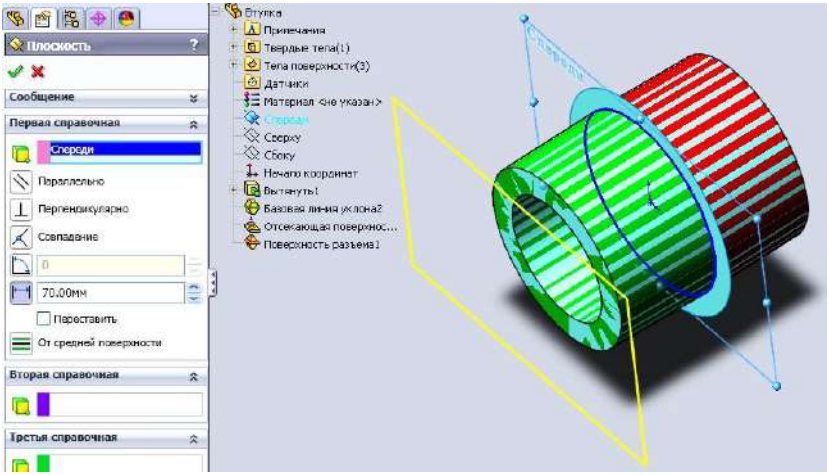


Рисунок 12.55 – Зміщення площини на 70 мм

Натисніть кнопку **OK** – у такий спосіб ми створимо нову площину **«Плоскость1»**. Тепер зробіть активною нову площину й потім на панелі інструментів **«Инструменты для литейной формы»** викличте команду – **«Разделение инструментов»**. На знову створеній площині відкриється ескіз, у якому намалюйте прямокутник, показаний рис. 12.56. Закінчіть режим малювання ескізу. У менеджері властивостей відкриється діалогове вікно **«Разделение инструментов»**.

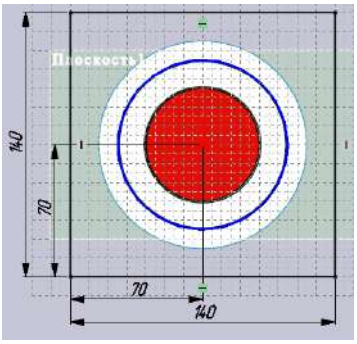


Рисунок 12.56 – Ескіз прямокутника

У цьому вікні відобразиться наступне (рис. 12.57): **«Отсекающая поверхность1[1]»** у розділі **«Сердцевина»**; **«Отсекающая поверхность1[2]»** у розділі **«Полость»**; **«Поверхность разъема1»** у розділі **«Поверхность разъема»**.

На вкладці **«Размер блока»** для параметра **«Глубина в направления 1»** установіть значення 30 мм, для **«Глубина в направления 2»** – 150 мм, тому що створений інструмент повинен перекривати деталь. Установіть прапорець **«Заблокировать поверхность»** й значення 3° параметра – **«Угол уклона»**. Заблокована поверхня оточує периметр поверхонь рознімання майже в перпендикулярному напрямку (у більшості випадків) з ухилом в 5°.

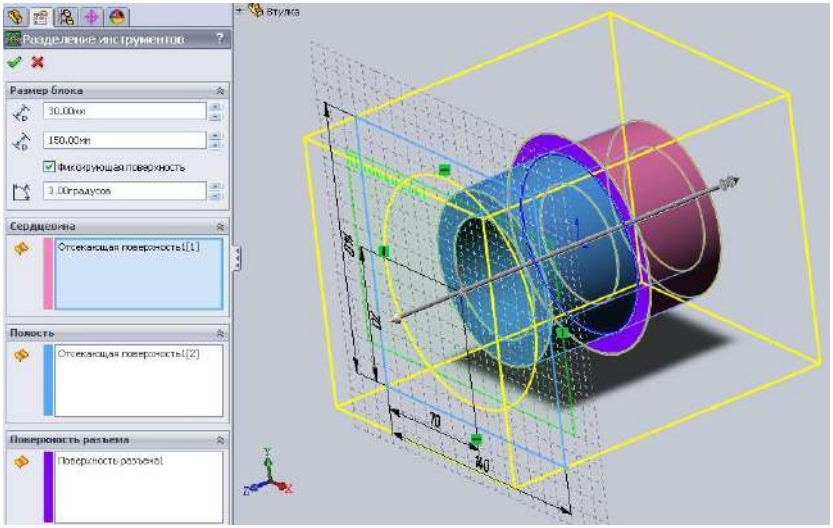


Рисунок 12.57 – Поділ інструментів

Як і всі грані з ухилом, заблокована поверхня відхиляється від лінії рознімання. Заблоковані поверхні використовуються в

наступних цілях:

- для ущільнення ливарної форми належним чином з метою запобігання витоку ливарного матеріалу;
- для направлення інструменту під час процесу ливарного формування;
- для збереження вирівнювання між об'єктами інструментів;
- для запобігання появи зсувів, нерівних поверхонь або стінок неправильної товщини;
- для зменшення вартості обробки формоутримувачів поперек лінії поділу, оскільки область заблокованої поверхні є плоскою.

Перевірте по рис. 12.57 коректність установки всіх параметрів і натисніть кнопку **OK** для створення блоків поділу інструментів. У результаті ми одержимо форму, показану на рис. 12.58. Для відділення ливарної форми одна від одної натисніть кнопку – **«Переместить/копировать тела»** на панелі інструментів **«Элементы».**

Клацніть мишею по вкладці **«Тела для перемещения».** Потім виберіть у графічній області тіло верхньої напівформи. **«Вращать»** кнопку **«Вращать»** аж унизу діалогового вікна. На вкладці **«Преобразовать»** встановіть значення – 170 мм для ΔZ (рис. 12.59).

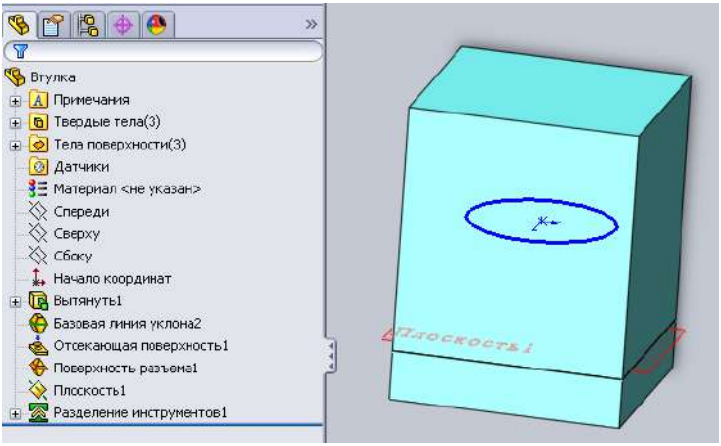


Рисунок 12.58 – Ливарна форма

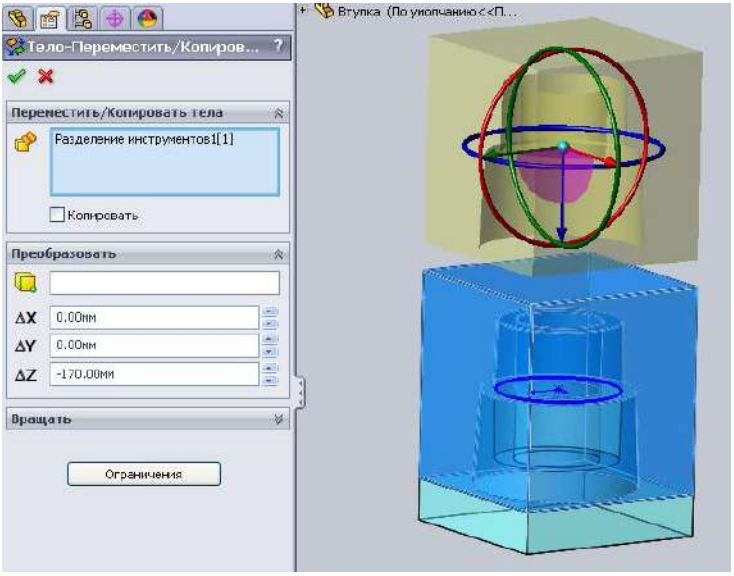


Рисунок 12.59 – Процес відділення форм

Мінус потрібний тому, що вісь Z спрямована вниз. Натисніть кнопку **OK** – і ви одержите поділ інструментів. Далі перейдемо до установлення видимості ливарної форми. Отже щоб відобразити об’єкти напівформ без додаткових тіл або поверхонь, у дереві конструювання необхідно буде вибрати в розділі **«Твердые тела (3)»** і **«Тела поверхности(3)»** параметри **«Скрыть твердое тело»** й **«Скрыть тело поверхности»** (рис. 12.60). Щоб сховати тверде тіло втулки, у розділі **«Твердые тела (3)»** клацніть правою кнопкою миші на елементі **«Базовая линия уклона2»** і в контекстному меню, що випадає, виберіть пункт – **«Скрыть».**

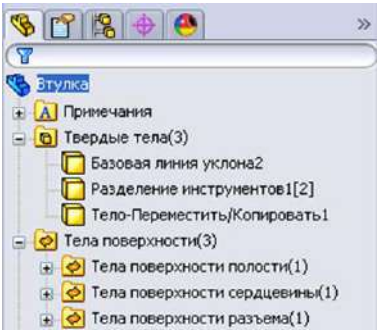


Рисунок 12.60 – Параметри відображення напівформ

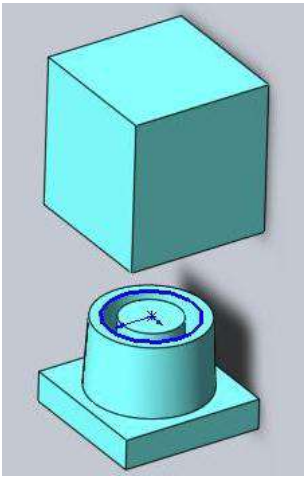


Рисунок 12.61 – Тіла поверхні роз'єму

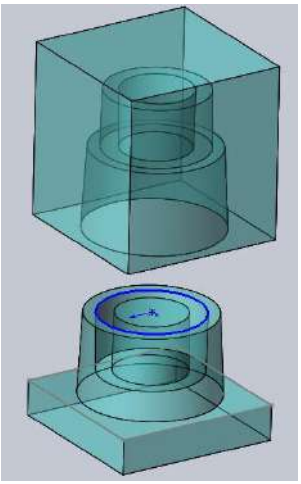


Рисунок 12.62 – Зміна прозорості

Аналогічно зробіть з кожною з наступних папок у розділі **«Тела поверхности(3)»:**

- Тела поверхности полости(1);
- Тела поверхности сердцевины(1);
- Тела поверхности разъема(1) (рис. 12.61).

Правою кнопкою миші клацніть на деталі й у контекстному меню, що з'явилося, виберіть пункт – **«Внешние виды».** Виберіть пункт **«Втулка»**, щоб змінити прозорість усієї деталі.

У менеджері властивостей відкриється діалогове вікно **«Цвет»**, і в розділі **«Дополнительно»** на вкладці **«Освещение»** перемістіть повзунок **«Прозрачность»** у середнє положення. Натисніть кнопку **ОК** – і ви одержите деталь, показану на рис. 12.62. Збережіть отриману форму для лиття під іменем «Втулка.sldprt».

Питання для самоперевірки

1. Які категорії завдань можна вирішувати за допомогою інструментів для створення ливарних форм?
2. Окрім створення деталей, в яких ще випадках використовують інструменти для роботи з ливарними

формами?
3. Розкажіть основні принципи створення ливарних форм у системі SolidWorks.
4. Назвіть основні команди для створення ливарних форм.
5. Які операції виконують при проектуванні ливарних форм?
6. Чи є необхідність у створенні проміжних складань?
7. Як створити ливарну напівформу?
8. Чи є необхідність створення проміжного складання при оформленні складної порожнини багатотільної деталі?
9. Розкажіть загальний алгоритм створення порожнини складної ливарної форми.
10. Як розрізати деталь і одержати дві половини ливарної форми?
11. Розкажіть алгоритм створення ливарної форми зі складним рознімання.
12. Де в SolidWorks розташовуються тіла й поверхні моделей при створенні ливарних форм?
13. Для чого потрібно проводити аналіз ухилів форми?
14. Які вимоги до виштовхування моделі з ливарної форми?
15. Яке призначення інструмента Draftxpert?
16. Як змінити величину ливарного ухилу?
17. Яке призначення інструмента «Анализ выточки»?
18. Розкажіть загальний алгоритм створення поверхонь рознімання.
19. З якою метою блокують поверхні рознімання?

13 ОФОРМЛЕННЯ КРЕСЛЕНЬ

На даній лекції будуть розглянуті основні принципи створення креслень у SolidWorks відповідно до вимог стандартів на прикладі побудови елементів креслень, використовуваних в оформленні конструкторської документації.

13.1 Основні принципи оформлення креслень в SolidWorks

SolidWorks дозволяє досить просто генерувати креслення створених у ньому деталей, вузлів і виробів. Креслення підтримують двосторонній асоціативний зв'язок із тривимірними моделями. При внесенні змін у модель її креслення автоматично модифікується відповідно до них. І навпаки, якщо користувач змінює який-небудь розмір на кресленні, це відразу ж відбивається в тривимірній моделі.

У СНД всі креслення виконуються відповідно до ЄСКД (Єдина Система Конструкторської Документації). Щоб швидко виконувати креслення відповідно до ГОСТ, користувачеві рекомендується встановити в SolidWorks шаблони форматок з основними написами, розмірами від А0 до А4, а також бланки специфікацій.

Усю роботу зі створення й оформлення креслення в SolidWorks можна розділити на наступні етапи.

1. Вибір креслярського шаблону форматок з основним написом.
2. Створення необхідних видів на кресленні й операції з видами.
3. Нанесення розмірів і настройка параметрів їх відображення.
4. Додавання приміток інших типів: шорсткостей, відхилень форми, баз і т.д.
5. Друк креслення.
6. Оформлення специфікації.

Отже далі ми розглянемо ці етапи на конкретних прикладах.

13.2 Установка шрифтів і шаблонів SolidWorks

Щоб текст на кресленнях по своєму накресленню відповідав ЄСКД (ГОСТ 2.304-81 Шрифти креслярські), у систему необхідно додати відповідні шрифти. Оскільки SolidWorks користується шрифтами, установленими в Windows, то слід перевірити наявність файлів **Gost_a.ttf** і **Gost_b.ttf** у папці Fonts системи Windows.

Тобто, якщо система Windows установлюється на диск C:, ця папка розташовується по наступному шляхові: C:\Windows\Fonts. За замовчуванням папка є схованою.

В ній і слід перевірити наявність (коректність) установки цих файлів шрифтів. Для цього в Windows пройдіть шлях: **«Пуск | Настройка | Панель управления | Шрифты»**. У вікні установлених шрифтів, що відкрилося, перевірте наявність файлів **Gost_a.ttf** і **Gost_b.ttf.**

Далі перевірте наявність (встановіть) в SolidWorks шаблонів документів (**«Деталь», «Сборка»** і **«Чертеж»**), які вже настроєні для роботи, відповідно до вимог ЄСКД.

Шаблон креслення – це спеціальний тип файлів SolidWorks з розширенням **drwdot**. У файлі шаблону креслення втримуються настроювання за замовчуванням для відображення розмірів, стрілок розмірів, розмірних і виносних ліній.

Вказані шаблони повинні знаходитися у папці Templates, в каталозі установки SolidWorks C:\Program Files\SolidWorks Corp\ SolidWorks\ Data. Отже запустіть програму SolidWorks і в рядку меню виберіть **«Инструменты | Параметры»** або просто натисніть кнопку – **«Параметры».**

Відкриється вікно **«Настройки пользователя»**. Потім клацніть мишею по розділу **«Месторасположение файлов».** Відкриється діалогове вікно **«Настройки пользователя»,** показане на рис. 13.1 – перевірте, щоб у розділі **«Отобразить папки для»** стояв прапорець **«Шаблони документів»**. Потім натисніть кнопку **«Добавить»**. Далі у вікні **«Обзор папок»** виберіть шлях до скопійованої папки C:\Program Files\ SolidWorks Corp\SolidWorks\data\templates. Обраний шлях повинен відобразитися в розділі **«Папки»** (рис. 13.1).

Клацніть мишею по розділу **«Шаблоны по умолчанию».**

Відкриється діалогове вікно **«Настройки пользователя»**, показане на рис. 13.2.

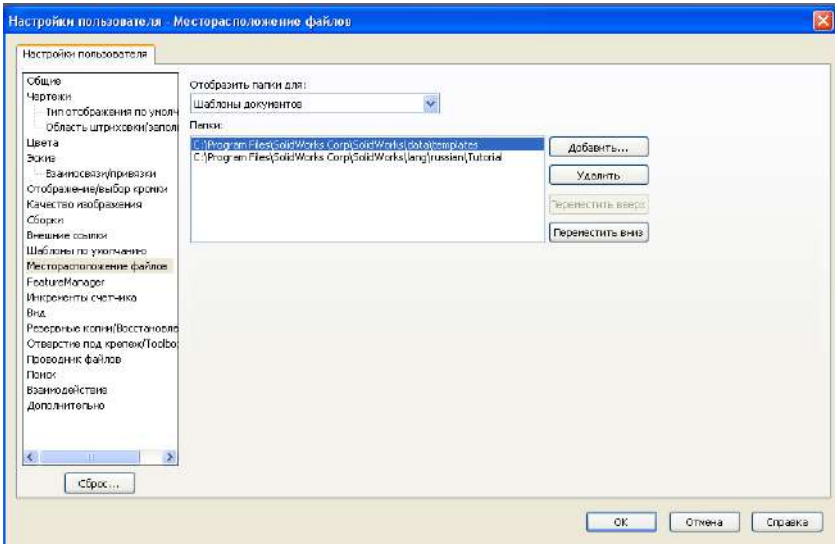


Рисунок 13.1 – Розділ «Месторасположение файлов»

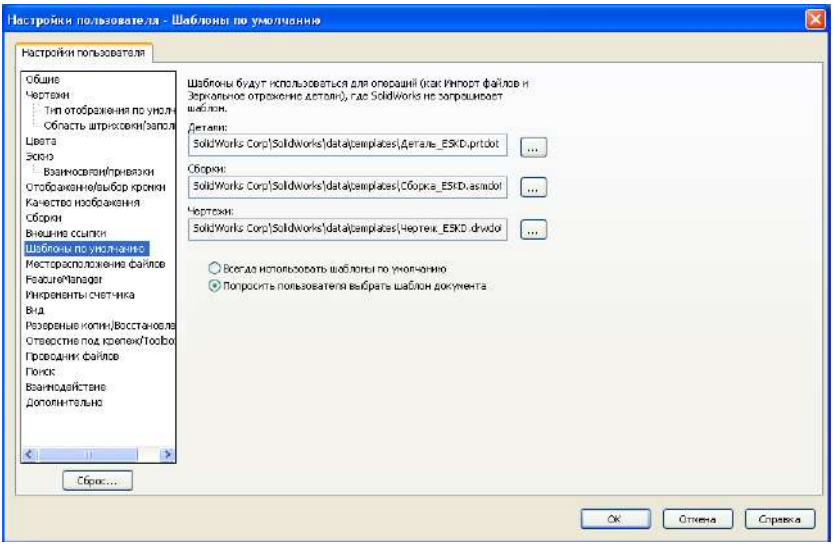


Рисунок 13.2 – Розділ «Шаблоны по умолчанию»

У правій стороні вікна показані шляхи до файлів в SolidWorks за замовчуванням. Натисніть кнопку й на запит системи про зміну настроювань на заводські натисніть кнопку **ОК**. Тепер для завдання нового шляху до шаблону **«Деталь»** натисніть кнопку – **«Найдите шаблон по умолчанию»** і у вікні **«Новый документ SolidWorks»**, що відкрилося, показаному на рис. 13.3, виберіть вкладку **«Шаблоны»** й клацніть мишею по елементу **«Деталь_ESKD».** Натисніть кнопку **ОК**. Зазначений шлях відобразиться у вікні **«Настройки пользователя».**

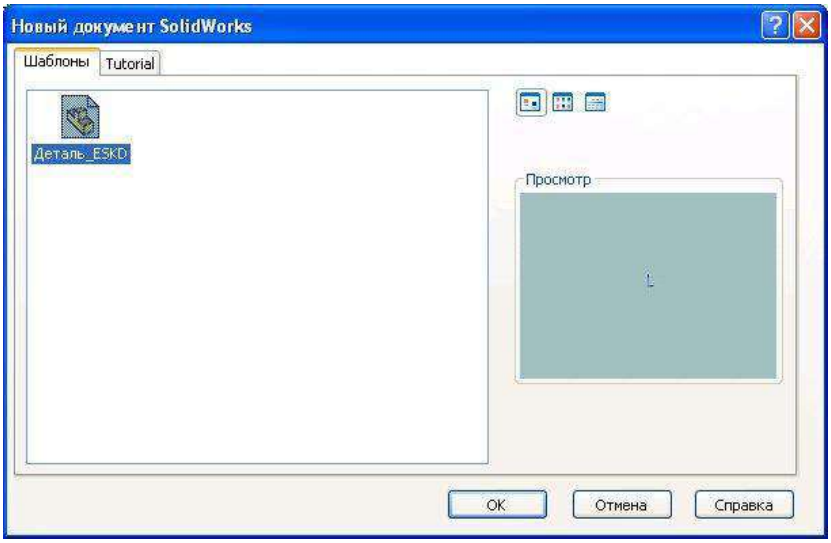


Рисунок 13.3 – Вікно «Новый документ SolidWorks»

Аналогічну процедуру проробіть для інших шаблонів: для елемента **«Сборка»** виберіть шаблон **«Сборка_ESKD»**, для елемента **«Чертежи»** – шаблон **«Чертеж_ESKD»**. Після цього встановіть прапорець **«Всегда использовать шаблоны по умолчанию»** (рис. 13.2) і натисніть кнопку **ОК**.

Тепер при відкритті будь-якого нового документа в SolidWorks будуть використані шаблони, адаптовані для проектування деталей і створення креслень відповідно до ЄСКД.

Далі встановіть шаблони стандартних форматок креслень від А0 до А4 зі штампом основного напису. Користувачі, звичайно

ж, можуть створити свої власні формати й зберегти їх як шаблони в каталог користувача «C:\Documents and Setting\ <Ім'я користувача>\ Application Data\ SolidWorks\ SolidWorks\ lang\ russian\ Sheetformat». Тепер при відкритті шаблону **«Чертеж»**, крім форматів за замовчуванням, будуть пропонуватися стандартні формати ГОСТ 2.301-613.

13.3 Створення нового креслення

Для створення нового креслення запустіть SolidWorks і виберіть команду меню **«Файл | Новый»** або просто натисніть кнопку – **«Создать»** інструментальної панелі **«Стандартная»**. Відкриється вікно **«Новый документ SolidWorks»**.

Клацніть кнопку – **«Двухмерный технический чертеж»** і потім **ОК**. Відбудеться загрузка шаблону креслення й вікна **«Формат листа/Размер»**. У даному діалоговому вікні користувач може вибрати один зі стандартних або користувацький розмір аркуша й файл основного напису за замовчуванням.

Установіть перемикач **«Размер листа»** в положення **«Стандартный размер листа»**, якщо він не встановлений за замовчуванням. Нижче, у вікні стандартних форматів будуть перераховані шаблони креслень, виконаних по міжнародному стандарту ISO.

А в самому кінці списку будуть розташовані шаблони для креслень у відповідності зі стандартом ЄСКД. Якщо ж у вас нестандартний аркуш, установіть перемикач у положення **«Пользовательский размер листа»** й задайте ширину й висоту креслення в міліметрах.

Для навчальних цілей виберіть стандартний розмір аркуша А2 (формат **ESKD_a2_1**) (рис. 13.4). Зовнішній вигляд і розміри обраної форматки відобразяться у вікні **«Просмотр»**.

Натисніть кнопку **ОК**. У графічній області побудов з'явиться порожній аркуш креслення з основним написом. При цьому в менеджері властивостей з'явиться діалогове вікно **«Вид модели»** (рис. 13.5). Якби у вас були завантажені файли деталей або складань, то у вікні **«Открыть документы»** на панелі **«Деталь/сборка для вставки»** відобразилися б імена цих файлів.

Якщо вікно **«Открыть документы»** порожнє, то натисніть кнопку **«Обзор…»** і за допомогою провідника Windows знайдіть

необхідний файл. Для прикладу завантажите деталь «Корпус редуктора.sldprt» яка була створена раніше, для складання редуктора. Вибравши деталь, натисніть кнопку **«Открыть»** для вставки моделі в креслення. Вікно **«Вид модели»** змінить свою конфігурацію.

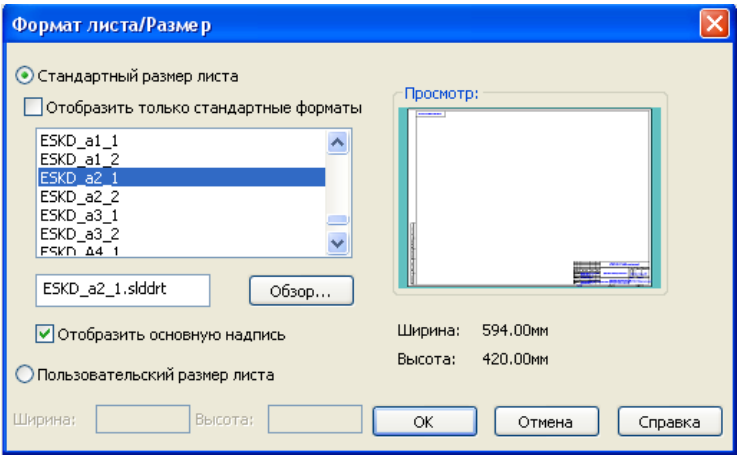


Рисунок 13.4 – Вибір аркуша А2 стандартного розміру

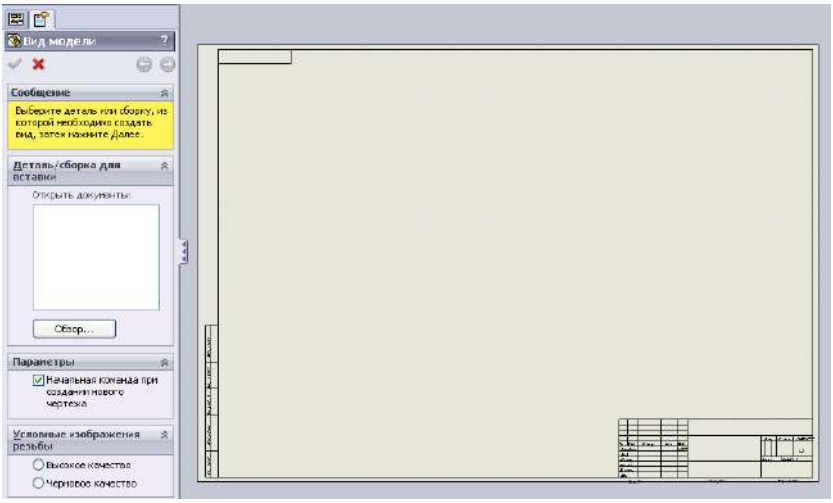


Рисунок 13.5 – Діалогове вікно «Вид модели»

13.4 Створення головного виду

На вкладці **«Ориентация»** зніміть прапорець (якщо він установлений) **«Создать несколько видов»** і в розділі **«Стандартные виды»** натисніть кнопку – **«Спереди»** (рис. 13.6) для побудови виду.

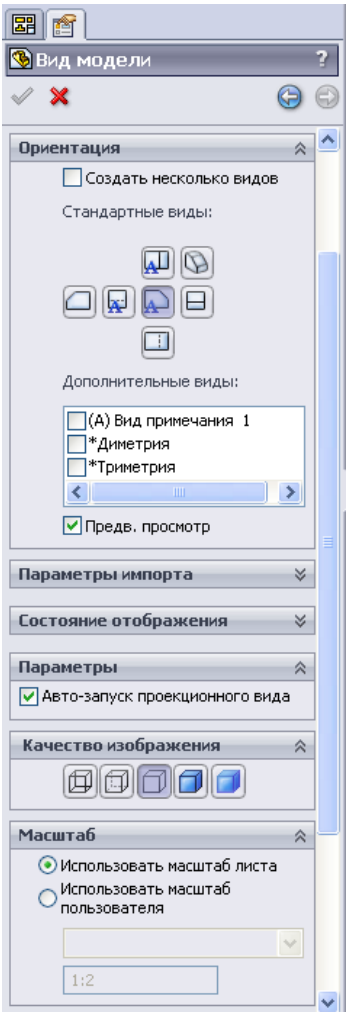


Рисунок 13.6 – Процес побудови виду

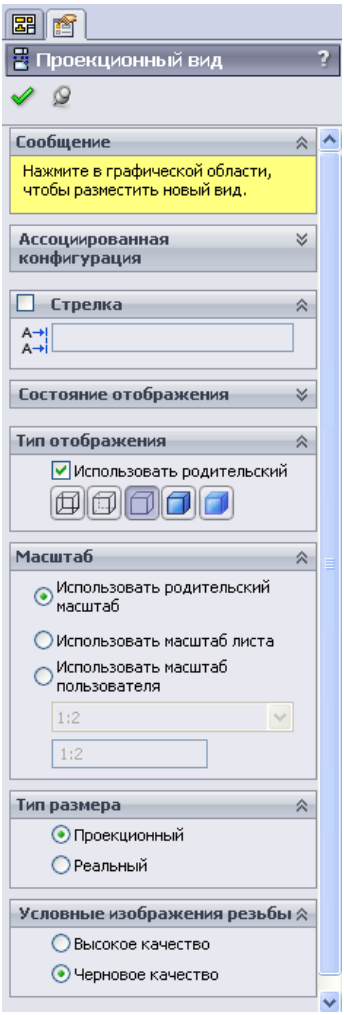


Рисунок 13.7 – Вікно «Проекционный вид»

Установіть прапорець **«Предв. просмотр»**, щоб попередньо відобразити креслярський вид у графічній області. На вкладці **«Параметры»** встановіть прапорець **«Авто-запуск проекционного вида»**. На вкладці **«Качество изображения»** виберіть режим – **«Скрыть невидимые линии»**.

На вкладці **«Масштаб»** задайте параметр **«Использовать масштаб листа»**, щоб при створенні вставленого креслярського виду програма SolidWorks сама, з урахуванням розмірів моделі й обраного аркуша креслення, підібрала оптимальний масштаб для видів, які будуть розташовуватися на даному аркуші.

Для нашої моделі «Корпус редуктора» оптимальним є масштаб 1:2. Інші параметри залишіть як є. Тепер перемістіть покажчик миші в графічну область. Поруч із покажчиком миші виникне вид **«Спереди»**. Натисніть ліву кнопку миші в тому місці графічної області, де ви прагнете розмістити креслярський вид **«Спереди»**.

13.5 Створення проекційних видів

Відразу ж автоматично запуститься команда створення проекційних видів і в менеджері властивостей з'явиться вікно **«Проекционный вид»** (рис. 13.7), у якому можна виконувати настроювання параметрів створюваних видів.

Для кожного проекційного виду можна встановлювати свої параметри. Зверніть увагу, що параметри проекційних видів успадковують параметри батьківського виду, тобто того виду, від якого створено проекційний вид.

Тепер перемістіть курсор нижче виду **«Спереди»** й клацніть у графічній області для створення проекційного виду **«Снизу»,** потім переведіть курсор праворуч виду **«Спереди»** й також клацніть у графічній області для створення проекційного виду **«Справа»**. І, нарешті, переведіть курсор по діагоналі вправо й униз щодо виду **«Спереди»** й клацніть для створення ізометричного виду.

Зверніть увагу, що при побудові проекційних видів, поки ви не нажали ліву кнопку миші, попереднє відображення виду переміщається строго по лінії. Якщо вам необхідне розташування виду не на лінії проекції, то для того, щоб відчепити проекційний вид, натисніть клавішу **<Ctrl>** і, утримуючи її, перемістіть вид у

потрібне місце. Потім тільки натисніть ліву кнопку миші. По закінченню побудови проекційних видів натисніть кнопку **OK.**

При цьому в дереві конструювання з'явилися імена створених видів **«Чертежный вид1»** і т.д. (рис. 13.8). Якщо клацнути мишею по виду в графічній області, то цей вид активізується й у менеджері властивостей з'являється вікно із властивостями даного виду, які можна редагувати незалежно від інших видів.

13.6 Переміщення видів

Будь-який створений вид можна переміщати. Для цього підведіть покажчик миші до виду, який потрібно перемістити. При влученні покажчика на границю виду або крайку моделі поруч із покажчиком виникне значок.

У цей момент клацніть, захопивши вид, і перемістіть його на нове місце. Якщо проекційний вид має прив'язку до головного виду, то він буде переміщатися по вертикалі або горизонталі. Якщо переміщати головний вид, то залежні проекційні види будуть переміщатися разом з ним.

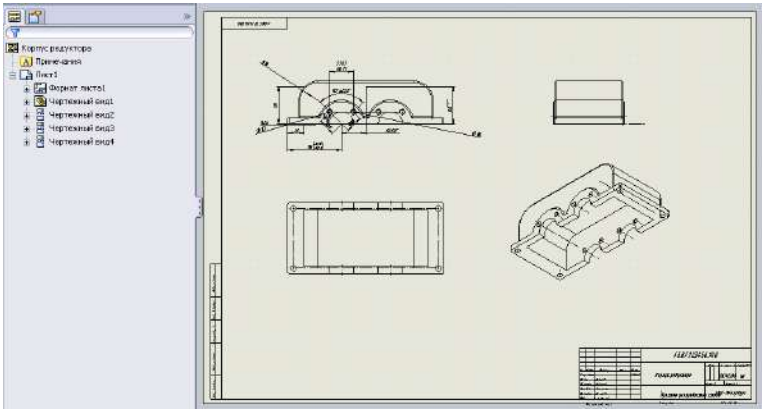


Рисунок 13.8 – Закінчено побудову проекційних видів

Щоб розірвати проекційний взаємозв'язок (умови вирівнювання) між видами, натисніть праву кнопку миші на імені виду в дереві конструювання і в контекстному меню, що випадає, виберіть **«Выровнять | Освободить выравнивание»** (рис. 13.9).

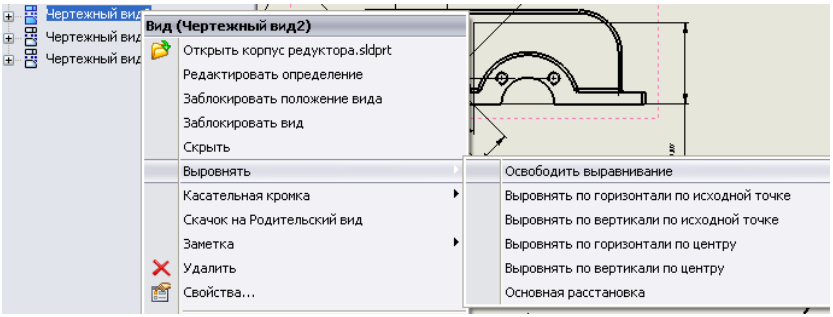


Рисунок 13.9 – Розірвання
проекційного взаємозв'язку

Тепер вид можна перемістити в будь-яке місце графічної області. Для того щоб відновити розірваний проекційний зв'язок з видом батьком, клацніть правою кнопкою миші на виді в дереві конструювання, і в контекстному меню що випадає, виберіть команду **«Выровнять | Основная расстановка».**

Для зміни режиму відображення якого-небудь виду активізуйте мишею цей вид і в діалоговому вікні менеджера властивостей, що з'явилося, натисніть одну із кнопок у розділі **«Тип отображения»:**

- «Каркасное представление» (рис. 13.10, А);
- «Невидимые линии отображаются» (рис. 13.10, Б);
- «Скрыть невидимые линии» (рис. 13.10, В);
- «Закрасить с кромками» (рис. 13.10, Г);
- «Закрасить» (рис. 13.10, Д).

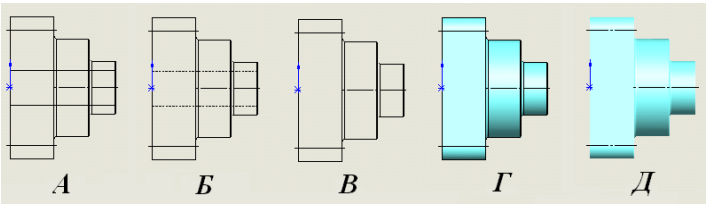


Рисунок 13.10 – Режими відображення видів

При редагуванні параметрів дочірнього креслярського виду на вкладці **«Тип отображения»** з'являється прапорець **«Использовать родительский»** (рис. 13.11).

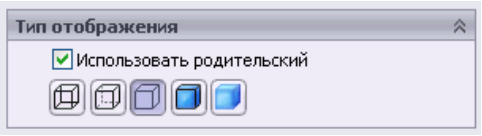


Рисунок 13.11 – Вкладка «Тип отображения»

Якщо він установлений, то буде використовуватися тип відображення батьківського виду. Для зміни режиму відображення дотичних крайок (ліній переходу) будь-якого виду, натисніть на цьому виді в дереві конструювання правою кнопкою миші й у контекстному меню, що випадає, виберіть **«Касательная кромка»** (рис. 13.12).

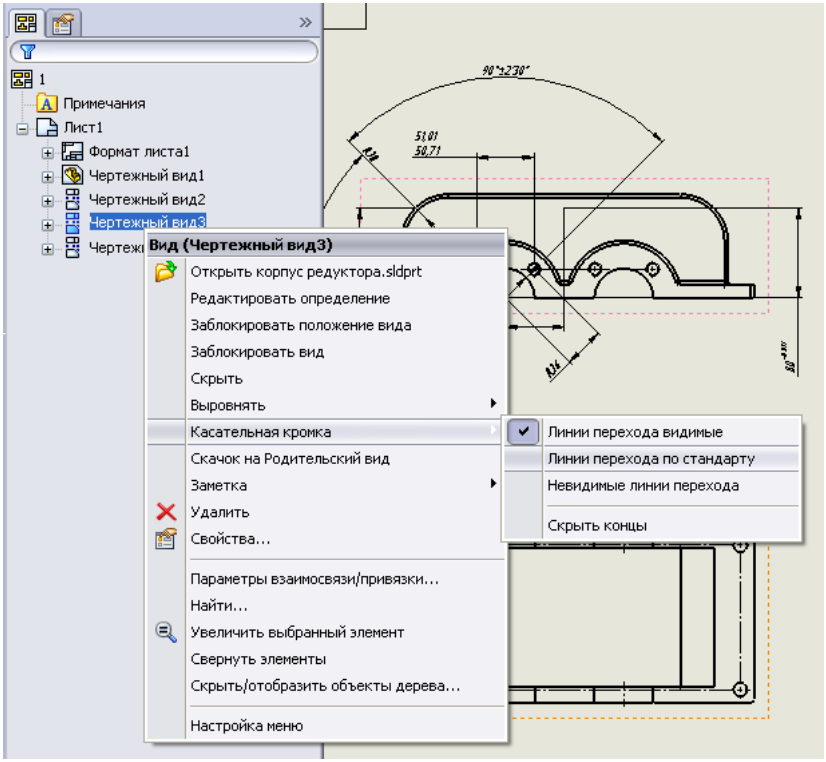


Рисунок 13.12 – Зміна режиму відображення дотичних крайок

У другому контекстному меню, що випадає, виберіть один з наступних пунктів:

- «Линии перехода видимые» (рис. 13.13, А);
- «Линии перехода по стандарту» (рис. 13.13, Б);
- «Невидимые линии перехода» (рис. 13.13, В).

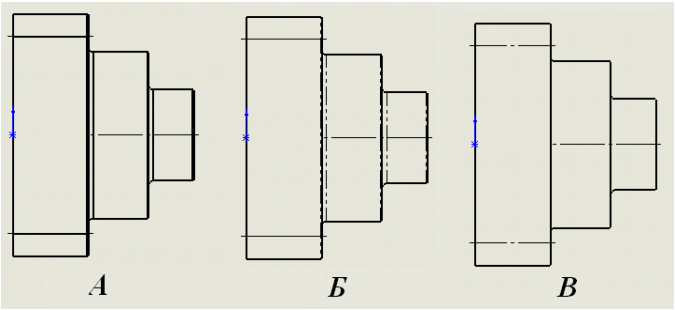


Рисунок 13.13 – Зміна режиму відображення ліній переходу

13.7 Зміна масштабу виду

В SolidWorks кожному креслярському виду можна задати свій масштаб. Припустимі масштаби регламентовані в ГОСТ 2.302-613. Для зміни масштабу виду клацніть мишею по цьому виду й у вікні, що відкрилося, менеджера властивостей на вкладці **«Масштаб»** (рис. 13.14) установіть відповідний прапорець.

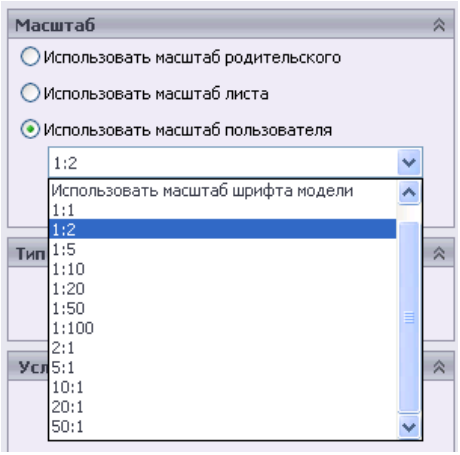


Рисунок 13.14 – Зміна масштабу виду

При зміні масштабу можливі наступні варіанти:

- «Использовать масштаб родительского»;
- **«Использовать масштаб листа»** – буде прийнятий масштаб, який призначила система при створенні першого батьківського виду на креслярському аркуші;
- **«Использовать масштаб пользователя»** – можливе завдання будь-якого довільного масштабу зі списку що випадає. При цьому масштаби дочірніх видів можуть відрізнятися від масштабу батьківського виду.

13.8 Проставляння розмірів

Усі розміри в SolidWorks можна розділити на два види:

- ***керуючі розміри***, або розміри, по яких була побудована модель деталі. Керуючі розміри можна змінювати, як перебуваючи в документі моделі, так і безпосередньо із креслення. Для додавання керуючих розмірів у креслення необхідно нажати кнопку – **«Элементы модели»** в інструментальній панелі **«Примечания»**;
- ***довідкові*** (або керовані) розміри, якими не можна управляти зміною геометрії моделі шляхом редагування. Для перерахування довідкових розмірів необхідно змінити керуючі. Причому можна встановити величину розміру, не пов'язану з реальним розміром моделі. Для додавання довідкових або керуючих розмірів у креслення необхідно нажати кнопку – **«Автоматическое нанесение размеров»** на панелі інструментів **«Размеры/взаимосвязи»** й послідовно вказувати крайки, де ви прагнете додати керовані розміри.

Для того щоб визначити тип розміру, виконайте подвійне клацання миші на цьому розмірі. Якщо в графічній області з'явиться діалогове вікно **«Изменить»**, то розмір є керуючим, а якщо ні, то, коли програма ніяк не прореагує на подвійне клацання, ви маєте справу з керованим (довідковим) розміром.

Усі розміри, які ви проставляли при побудові моделі, можна відобразити на всіх креслярських видах. Для цього виберіть у меню **«Вставка | Элементы модели»** моделі або натисніть кнопку – **«Элементы модели»**. Ця команда здійснює імпорт розмірів, приміток і довідкової геометрії з моделі в обраний вид

(рис. 13.15). На вкладці **«Источник/ Назначение»** у вікні **«Источнник»** виберіть пункт **«Всей модели»** для імпортування всіх розмірів моделі.

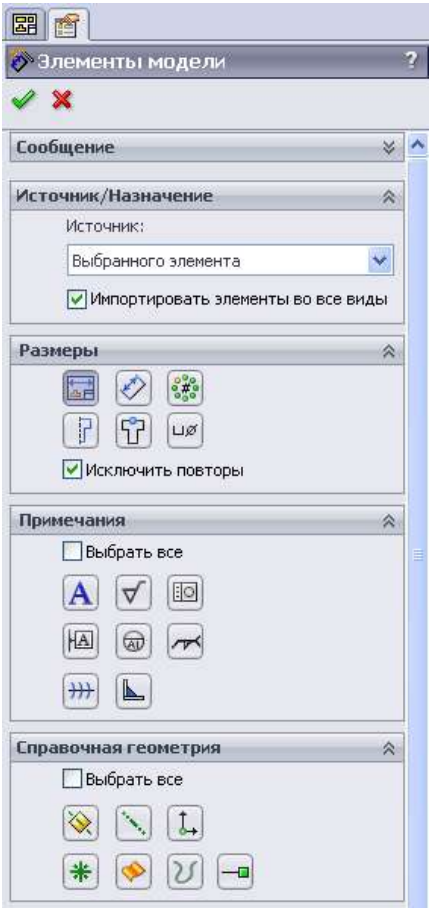


Рисунок 13.15 – Проставляння розмірів на всіх креслярських видах моделі

Установіть прапорець **«Импортировать элементы во все виды»**. На вкладці **«Размеры»** натисніть кнопку – **«Отмеченные для чертежа».**

Установіть прапорець **«Исключить повторы»**, щоб у кресленні була створена тільки одна копія кожного розміру моделі, і натисніть кнопку **OK**. На видах з'являться розміри, які можуть перекривати один одного.

За допомогою миші розтягніть розміри по графічній області. Якщо який-небудь розмір вам не потрібний, то клацніть по ньому мишею й натисніть клавішу **<Delete>**. Розмір зникне з виду. Після всіх маніпуляцій з розмірами у вас повинно вийти креслення, показане на рис. 13.16. Для того щоб змінити напрямок стрілок із внутрішнього розташування на зовнішнє або навпаки, необхідно вибрати розмір, клацнувши по ньому мишею, а потім клацнути блакитну точку на хвостовику стрілки. При цьому стрілки розміру розвертаються на 180°. Проробіть це з розмірами. На виді **«Сверху»** розмір скруглення **R3** не доходить до контуру деталі (рис. 13.17).

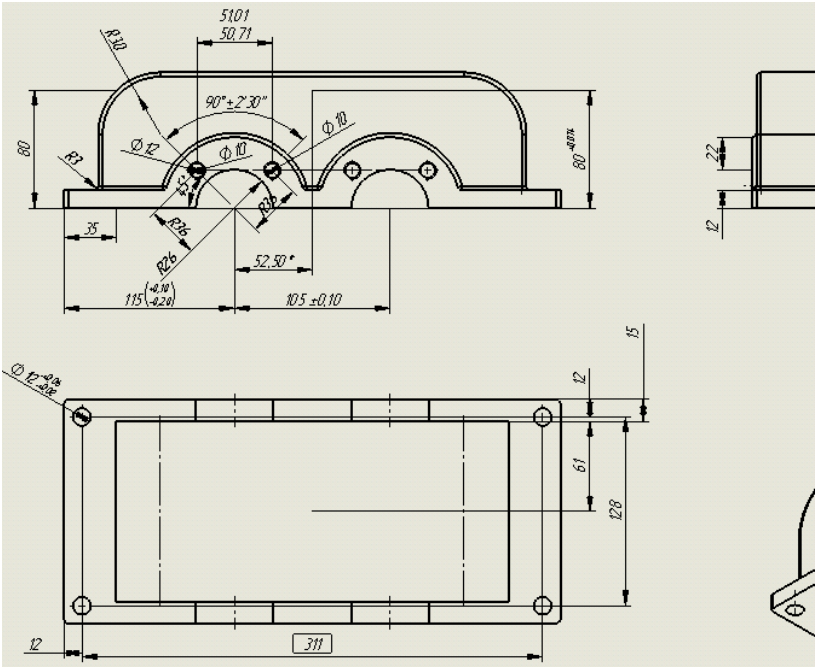


Рисунок 13.16 – Креслення із розмірами

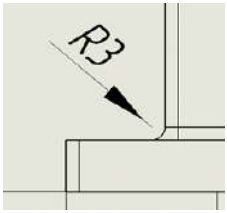


Рисунок 13.17 – Розмір не доходить до контуру деталі

У діалоговому вікні **«Размер»** перейдіть на вкладку **«Выноски»**. У розділі **«Отобразить выноску/выносные линии»** поставте прапорець **«Размер»** усередині дуги (рис. 13.18). Тепер клацніть **«Выноски»** на хвостовику стрілки, щоб розгорнути її на 180°. Після цього натисніть кнопку **OK** у менеджері властивостей. **«Результат»** показаний на рис. 13.19.

У радіуса **R26** на виді **«Спереди»** розмірна лінія продовжується до центру радіуса (рис. 13.20). Для того щоб відключити продовження, викличте знову діалогове вікно **«Размер»** і на вкладці **«Выноски»** в розділі **«Отобразить выноску/выносные линии»** натисніть кнопку – **«Открыть выноску»**, після чого натисніть кнопку **OK** у менеджері

властивостей. Результат показаний на рис. 13.21. Якщо якихось розмірів не вистачає, то їх можна проставити так, як це робилося в ескізах.

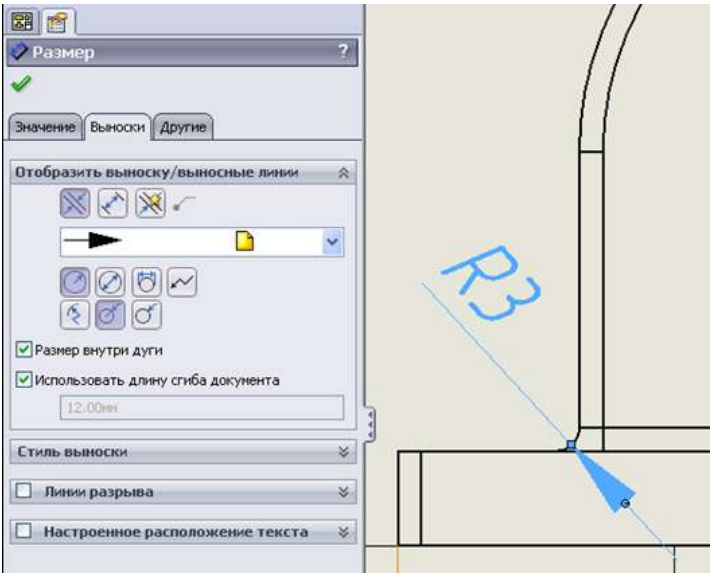


Рисунок 13.18 – Корегування розміру округлення

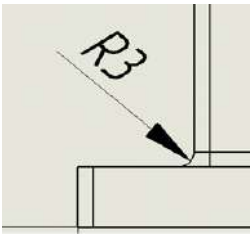


Рисунок 13.19 – Розмір скориговано

Для цього в інструментальній панелі **«Размеры/взаимосвязи»** натисніть кнопку – **«Автоматическое нанесение размеров»** і вкажіть на виді крайку для проставляння її довжини або вкажіть дві крайки для проставляння відстані між ними. Проставте, наприклад, габаритний розмір 152 деталі на виді **«Справа»** (рис. 13.22). Після того як розміри будуть додані в креслення, їх можна переміщати усередині одного виду й між видами, а також копіювати.

13.9 Переміщення та копіювання розмірів

Переміщати або копіювати розмір можна тільки в той вид, орієнтація якого відповідає цьому розміру. Переміщати або копіювати розміри можна такими способами:

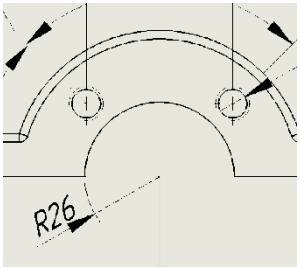


Рисунок 13.20 – Розмірна лінія продовжується до центру радіуса

- для переміщення розміру усередині виду натисніть на розмір, захопіть його мишею й перемістіть в нове місце, після чого відпустіть кнопку миші;
- для переміщення розміру з виду у вид натисніть клавішу **<Shift>**, виберіть розмір і перетягніть його усередину границь іншого виду, після чого відпустіть кнопку миші й клавішу **<Shift>**;

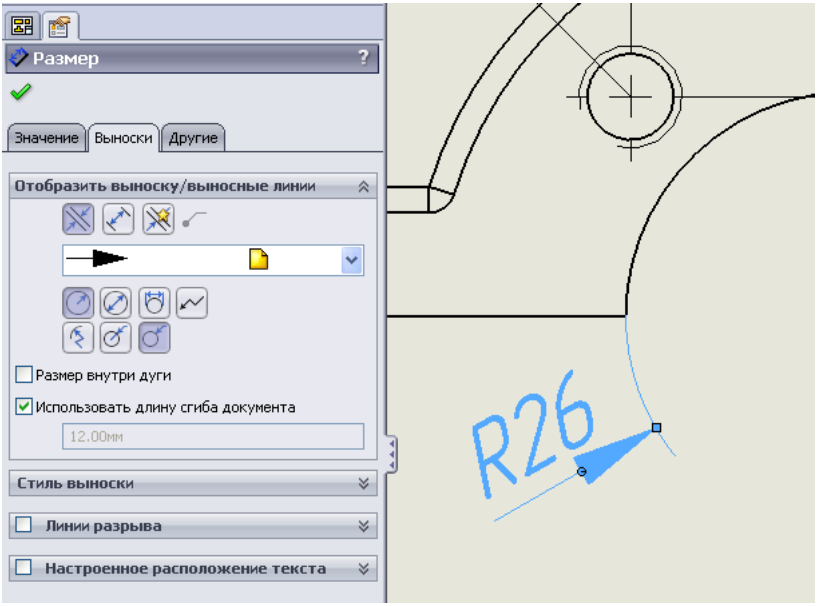


Рисунок 13.21 – Корегування радіуса

- для копіювання розміру з одного виду в інший натисніть під час перетаскування розміру клавішу **<Ctrl>**;
- для переміщення або копіювання відразу декількох розмірів попередньо виберіть їх. Для вибору декількох розмірів натисніть і тримайте клавішу **<Ctrl>** у момент вибору. Вибір можна також здійснити «рамкою».

Приміром, перемістіть висотний розмір 92 з виду **«Спереди»** на вид **«Справа»** (рис. 13.23).

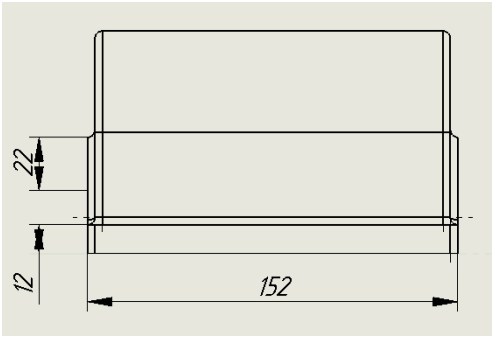


Рисунок 13.22 – Габаритний розмір
на виді «Справа»

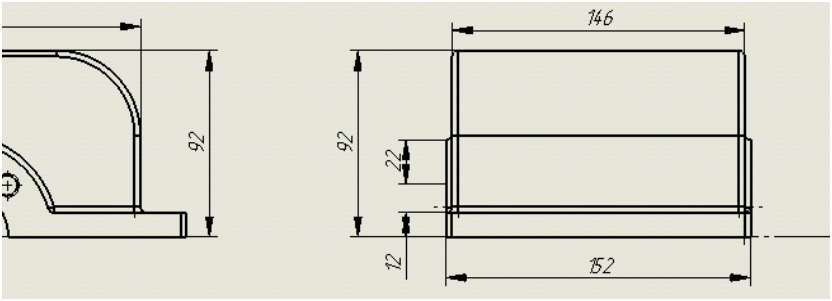


Рисунок 13.23 – Переміщення розміру
з виду «Спереди» на вид «Справа»

13.10 Зміна розмірів

Оскільки в розмірів у моделі та у креслення є асоціативний зв'язок, то при зміні розміру моделі на виді креслення відбувається автоматичне оновлення самої моделі, що відбиває дана зміна. Давайте перевіримо це. Перед перевіркою збережіть креслення у файлі креслення під іменем «Корпус редуктора.slddrw».

На виді **«Снизу»** видно чотири отвори діаметром 12. Допустимо, необхідно змінити діаметр цих отворів на 13. Підведіть курсор до розміру й двічі клацніть мишею по розміру.

З’явиться діалогове вікно **«Изменить»**, у якому замість величини 12 мм установіть 13 мм так, як це показано на рис. 13.24.

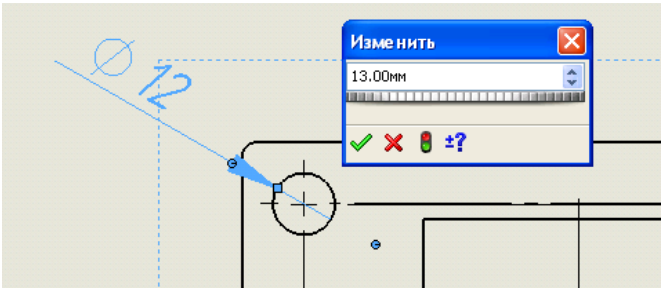


Рисунок 13.24 – Процес зміни діаметру отворів

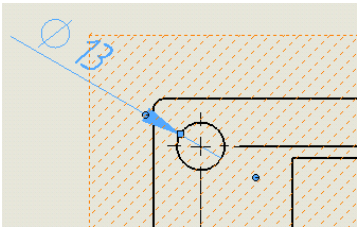


Рисунок 13.25 – Мережа пунктирних ліній

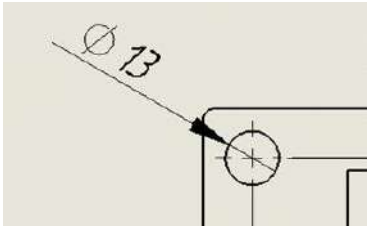


Рисунок 13.26 – Змінено значення діаметру отвору

Натисніть кнопку **OK.** Креслярський вид покриється мережею пунктирних ліній (рис. 13.25). Це означає, що в моделі відбулися зміни, і необхідно її перешикувати. Для перебудування моделі натисніть на панелі інструментів **«Стандартная»** кнопку – **«Перестроить»**. Після перебудування діаметр отвору зміниться на 13 мм (рис. 13.26). Тепер перевіримо, чи відбулися зміни в моделі деталі.

Для цього, не закриваючи файлу креслення, завантажте файл деталі «Корпус редуктора.sldprt»**.** Для швидкого завантаження моделі деталі клацніть правою кнопкою миші по кожному з видів креслення й у контекстному меню, що випадає, виберіть «Открыть корпус редуктора.sldprt»**.** Відкриється файл деталі.

У дереві конструювання на елементі, який вимагає перебудування, зазначений значок перебудування. Натисніть на панелі інструментів **«Стандартная»** кнопку – **«Перестроить».** Тепер розкрийте елемент **«Вырез-Вытянуть2»**, нажавши на

значок плюса. Наведіть курсор миші на **«Эскиз6»** (ескіз отвору), що з'явився, натисніть праву кнопку миші й у контекстному меню виберіть – **«Редактировать эскиз»**. У режимі малювання ескізів перевірте, що діаметр окружності дорівнює 13 мм (рис. 13.27). Тепер змініть цей розмір знову, двічі клацнувши мишею по розміру 13 мм. З'явиться діалогове вікно **«Изменить»**, у якому задайте розмір 12 (рис. 13.28).

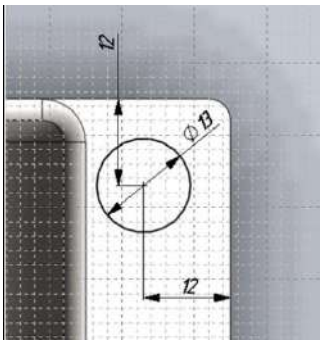


Рисунок 13.27 – Діаметр окружності 13 мм

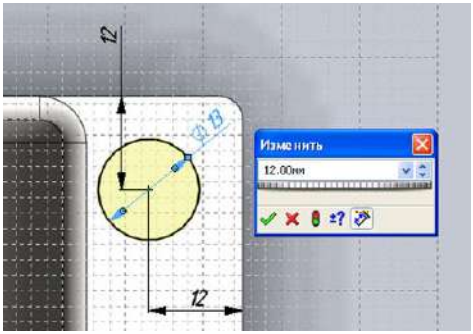


Рисунок 13.28 – Задано діаметр окружності 12 мм

Щоб однією кнопкою прийняти зміни й перешикувати, натисніть у вікні **«Изменить»** кнопку – **«Регенерация модели с текущим значением»**. Натисніть кнопку **OK**, потім вийдіть із ескізу й перейдіть у креслення деталі. Діаметр отвору на кресленні знову 12 мм, що підтверджує двосторонній взаємозв'язок розмірів моделі й креслення.

13.11 Редагування основного напису

В SolidWorks можна створювати свій власний основний напис креслення. Оскільки були встановлені шаблони форматок креслення, то знову малювати основний напис немає необхідності. Але залишилася потреба редагувати основний напис, щоб внести оригінальну інформацію користувача в поля напису. Перш ніж редагувати основний напис, можна внести інформацію із властивостей деталі.

Щоб відредагувати властивості деталі, натисніть правою кнопкою миші на кожному з видів креслення в дереві

конструювання й в контекстному меню, що випадає, виберіть команду «Открыть корпус редуктора.sldprt».

Завантажиться файл деталі «Корпус редуктора». Далі виберіть у меню **«Файл | Свойства»** й у діалоговому вікні **«Суммарная информация»**, що відкрилося, перейдіть на вкладку **«Настройки»** (рис. 13.29).

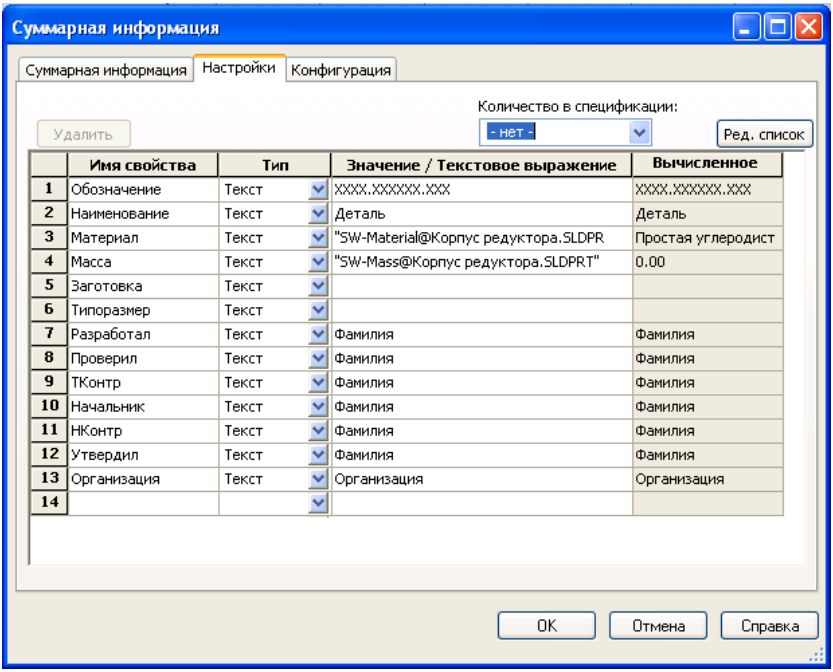
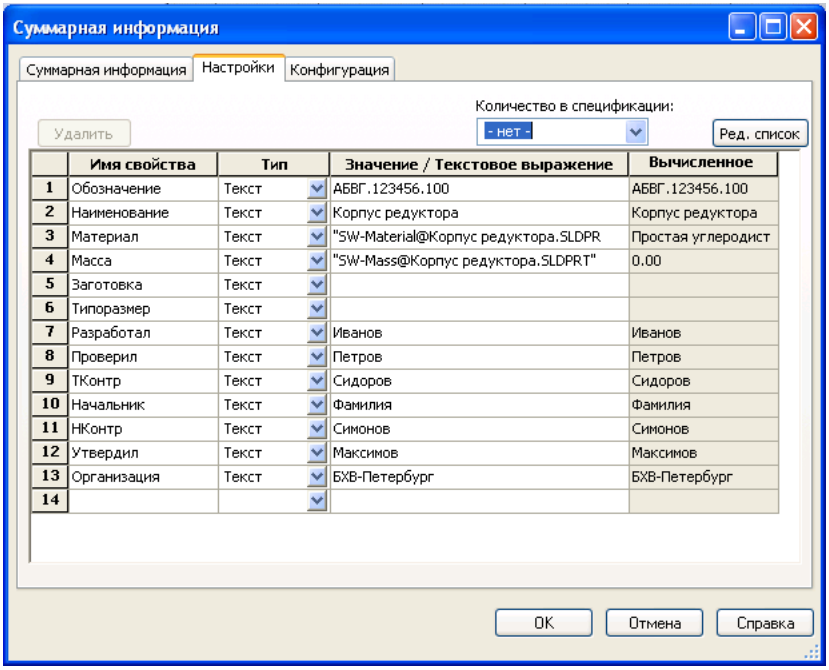


Рисунок 13.29 – Діалогове вікно «Суммарная информация»

Змініть значення полів **«Значение/Текстовое выражение»**, наприклад, як на рис. 13.30, натисніть кнопку **OK** і закрийте діалогове вікно **«Суммарная информация»**.

Збережіть деталь, нажавши кнопку – **«Сохранить»** на панелі інструментів **«Стандартная»**, і перейдіть у файл креслення **«Окно | Корпус редуктора – Лист1»**. Поля в основному напису повинні бути частково заповнені. Для остаточного формування основного напису необхідно перейти в режим її редагування.



	Имя свойства	Тип	Значение / Текстовое выражение	Вычисленное
1	Обозначение	Текст	АБВГ.123456.100	АБВГ.123456.100
2	Наименование	Текст	Корпус редуктора	Корпус редуктора
3	Материал	Текст	"SW-Material@Корпус редуктора.SLDPR	Простая углеродист
4	Масса	Текст	"SW-Mass@Корпус редуктора.SLDPRT"	0.00
5	Заготовка	Текст		
6	Типоразмер	Текст		
7	Разработал	Текст	Иванов	Иванов
8	Проверил	Текст	Петров	Петров
9	ТКонтр	Текст	Сидоров	Сидоров
10	Начальник	Текст	Фамилия	Фамилия
11	НКонтр	Текст	Симонов	Симонов
12	Утвердил	Текст	Максимов	Максимов
13	Организация	Текст	БХВ-Петербург	БХВ-Петербург
14				

Рисунок 13.30 – Зміна значення полів

Щоб перейти в режим редагування основного напису, у дереві конструювання натисніть праву кнопку на елементі **«Лист1»**. У контекстному меню, що випадає, виберіть пункт **«Редактировать основную надпись»**. Усі креслярські види зникнуть, а в основному написі виникнуть поля, які можна редагувати (рис. 13.31).

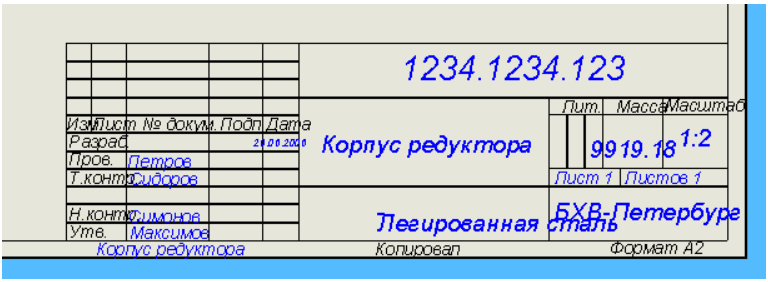


Рисунок 13.31 – Редагування основного напису креслення

Щоб відредагувати яке-небудь поле, просто двічі клацніть по ньому мишею. У вікні **«Форматирование»** (рис. 13.32) можна задати шрифт, його тип і колір, а також розмір. Спробуйте відредагувати основний напис приблизно так, як показано на рис. 13.33.

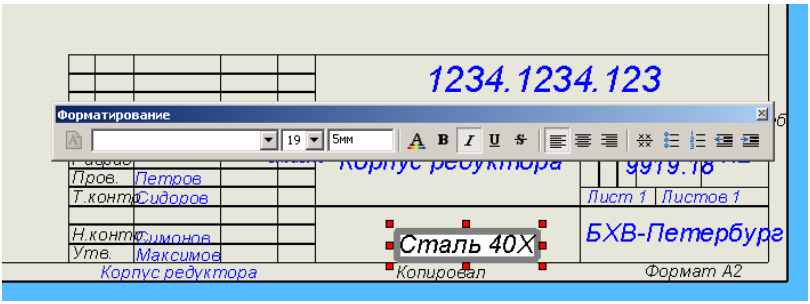


Рисунок 13.32 – Вікно «Форматирование»



Рисунок 13.33 – Відредагований основний напис креслення

Для закінчення редагування основного напису клацніть правою кнопкою миші в графічній області й у контекстному меню, що випадає, виберіть пункт **«Редактировать лист»**. Програма повернеться в режим малювання креслення. Якщо вам щораз буде вимагатися саме такий основний напис (прізвища, організація, шифр і т.п.), то перш ніж виконувати креслення, сформуйте основний напис, а потім збережіть креслення як шаблон: виберіть **«Файл | Сохранить как»** і в поле **«Тип файла»** виберіть **«Шаблоны чертежей (*.drwdot)»**.

Друк креслення. Для друку креслення деталі виберіть у

меню **«Файл | Печать»**. З’явиться діалогове вікно **«Печать»**, у якому необхідно вибрати принтер для друку документів. Далі натисніть кнопку **«Толщина линии»**. Відкриється діалогове вікно **«Свойства документа – Толщина линии»** (рис. 13.34), у якому можна задати до 8 різних градацій ліній по товщині.

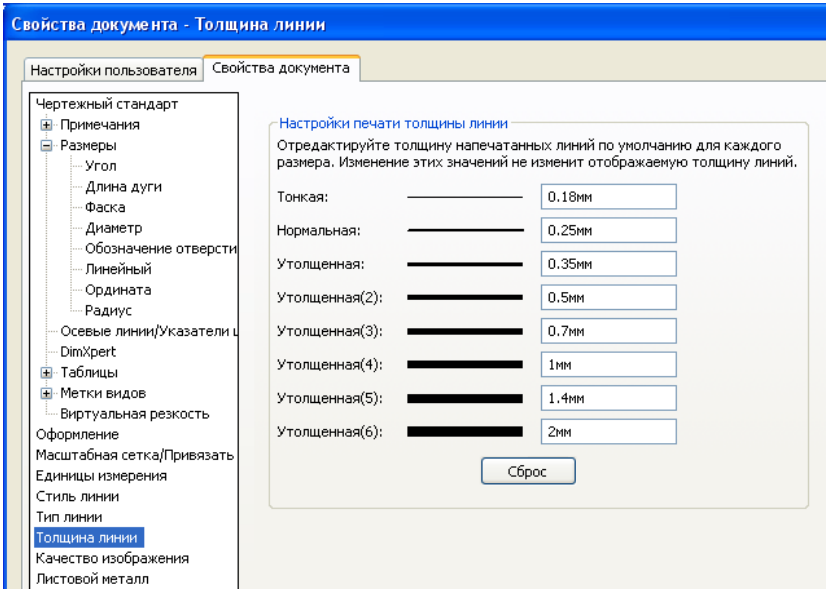


Рисунок 13.34 – Діалогове вікно
«Свойства документа – Толщина линии»

Для оформлення креслення, як правило, досить трьох ліній: тонкої (0,3 мм), основної (0,6 мм) і стовщеної (0,8 мм). Тонкими лініями, наприклад, відображаються розмірні й виносні лінії, основними – лінії видимого контуру, стовщеними – лінії перетинів. Задайте товщини ліній у вікні **«Свойства документа – Толщина линии»** так, як показано на рис. 13.34, і натисніть кнопку **ОК**. Ця команда привласнює кожному типу лінії своє значення товщини. Настроювання товщини виконується однократно й поширюється на всі креслення даного користувача. Далі в розділі **«Страницы»** залишіть обраним параметр **«Все листы»**. Потім натисніть кнопку **«Параметры страницы»**.

З’явиться діалогове вікно **«Параметры страницы»**, у якому

можна змінити параметри принтера, наприклад дозвіл, масштаб, формат паперу і т.д. Установіть всі параметри так, як на рис. 13.35.

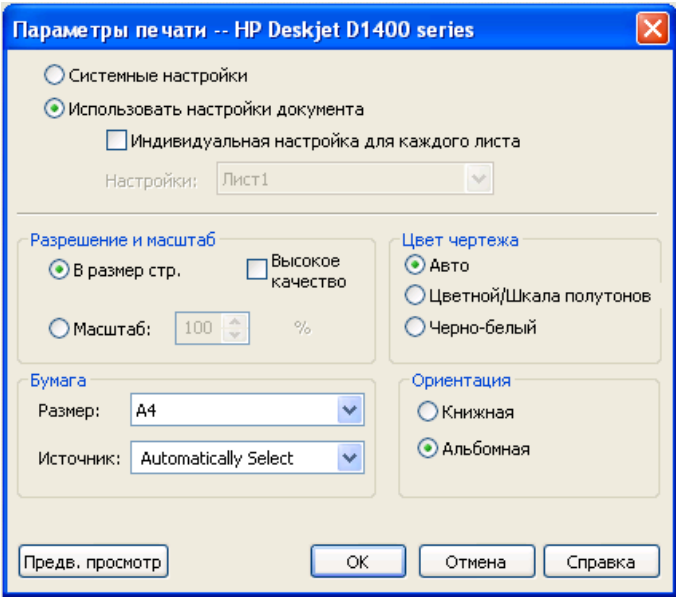


Рисунок 13.35 – Діалогове вікно «Параметры печати»

Для попереднього перегляду креслення можна нажати кнопку **«Предв. просмотр»**. Далі натисніть кнопку **OK**, щоб закрити діалогове вікно **«Параметры печати»**. Якщо вам необхідно зробити друк у файл, то встановіть прапорець **«Печать в файл»**. Потім натисніть кнопку **OK**, щоб закрити діалогове вікно **«Параметры печати»** й роздрукувати креслення.

Тепер натисніть кнопку **«Сохранить»** в інструментальній панелі **«Стандартная»**. Якщо система повідомить про те, що використовувана в кресленні модель була змінена, і запитає, чи потрібно її зберегти, то натисніть кнопку **«Да»**.

13.12 Створення додаткових видів

Ми вже розглянули створення основних креслярських видів деталі. Але іноді для повної уяви про конфігурацію деталей цих видів недостатньо.

Тому зараз, ми на прикладі все тієї ж деталі «Корпус редуктора», розглянемо способи створення додаткових видів, які дозволяє створити SolidWorks. Якщо ви встигнули закрити файл креслення «Корпус редуктора.slddrw», то відкрийте його знову.

Створення розрізу. Виконаємо розріз деталі. Для цього нам буде потрібна інструментальна панель **«Чертеж»**. Якщо її немає на екрані, то викличте її на екран, пройшовши шлях **«Вид | Панель инструментов | Чертеж»**. Як приклад давайте на виді **«Снизу»** зробимо розріз деталі, що проходить через вісь отвору під кришку. Для цього на панелі інструментів **«Чертеж»** натисніть кнопку – **«Разрез».**

Команда **«Разрез»** дозволяє створити простий або східчастий розріз або перетин за допомогою набору розташованих паралельно січних площин. Ця команда додає розріз шляхом розсічення батьківського виду за допомогою лінії перетину.

У менеджері властивостей з'явиться діалогове вікно **«Разрез»**. При цьому активуються кнопки малювання ескізів, зокрема кнопка – **«Линия»**. Тепер у креслярському виді **«Снизу»** намалюйте лінію так, як показано на рис. 13.36.

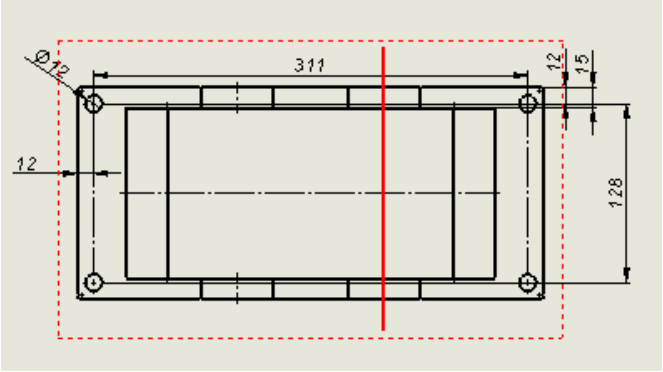


Рисунок 13.36 – Створення лінії на виді «Снизу»

Відразу виникне новий вид, що динамічно переміщається. Він буде переміщатися тільки перпендикулярно лінії розрізу. Щоб відчепити вид, натисніть і втримуйте клавішу **<Ctrl>**, перемістіть вид у потрібне місце, наприклад нижче виду **«Снизу»**, і клацніть мишею.

Виникне нове діалогове вікно **«Разрез А-А»**. Якщо ви будете додавати нові розрізи, то буква (латинська), що позначає розріз, буде мінятися автоматично. У полі **«Метка»** ви можете поміняти позначення розрізу (тут припустима кирилиця).

У полі **«Изменить направление»**, установлюючи або забираючи прапорець, можна змінювати напрямок розрізу. Для нового розрізу можна використовувати батьківський масштаб або встановити свій, це задається на вкладці **«Масштаб»**.

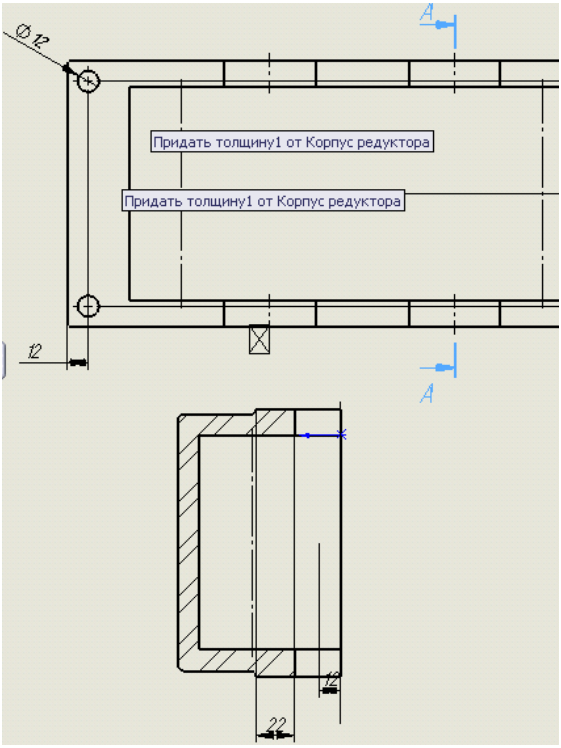


Рисунок 13.37 – Створення розрізу

І останнє: якщо ви прагнете зобразити тільки перетинів, то встановіть прапорець **«Местное сечение»** на вкладці **«Сечение»**. Перевірте по рис. 13.37 коректність установлених параметрів і натисніть кнопку **ОК**. Тепер додамо в розріз позначення по стандарту. Для цього підведіть покажчик до символу й двічі

клацніть мишею. У менеджері властивостей відкриється діалогове вікно **«Заметка»**, а в графічній області виникне поле для введення тексту. Уведіть позначення розрізу **А-А.**

Потім у діалоговому вікні **«Заметка»** на вкладці **«Формат текста»** встановіть прапорець **«Метка вида вручную»**. Кнопка **«Шрифт»** стане доступною. Натисніть її. Відкриється діалогове вікно **«Выбрать шрифт»**, на вкладці якого **«Высота»** встановіть висоту шрифту 7 мм (рис. 13.38).

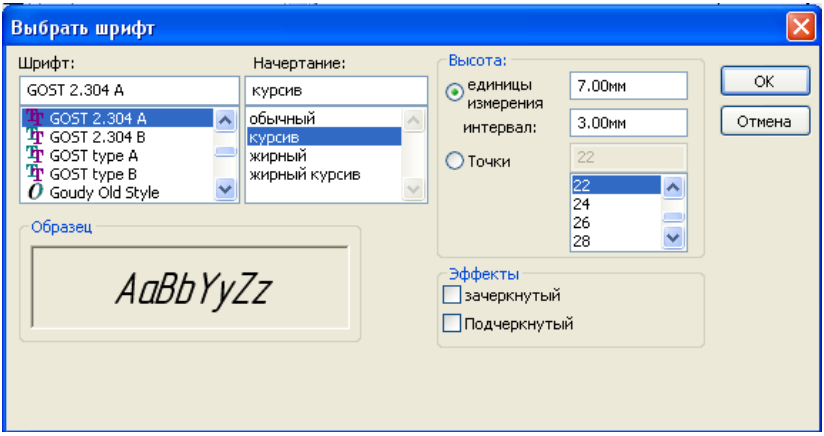


Рисунок 13.38 – Діалогове вікно «Выбрать шрифт»

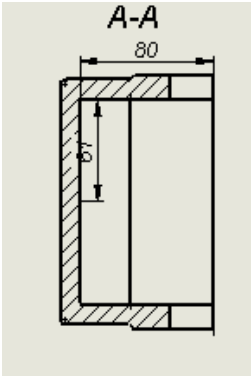


Рисунок 13.39 – Розріз

Натисніть кнопку **ОК**, щоб закрити вікно **«Выбрать шрифт»**, і кнопку **ОК**, щоб закрити вікно **«Заметка»**. У результаті повинен вийти вид, показаний на рис. 13.39. У даний момент ми маємо простий розріз. Щоб розріз зробити східчастим, підведіть курсор до лінії перетину на виді **«Спереди»**.

У той момент, коли поруч із курсором виникне позначення розрізу, лінія перетину змінить свій колір із чорного на червоний і висвітиться підказка, натисніть праву кнопку миші й з контекстного меню виберіть пункт **«Редактировать эскиз»**.

Викликати команду **«Редактировать эскиз»** ви можете також, клацнувши правою кнопкою в дереві конструювання на елементі **«Линия сечения А-А»** у розділі **«Разрез А-А»** (рис. 13.40).

Відредагуйте ескіз лінії перетину так, як показано на рис. 13.41. Щоб лінія перетину проходила через осі або центри отворів, необхідно додавати відповідні взаємозв'язки збігів.

Вийдіть із режиму малювання ескізу й перешикуйте перетин кнопкою **«Перестроить»** панелі інструментів **«Стандартная»**. Ви одержите східчастий перетин як на рис. 13.42.

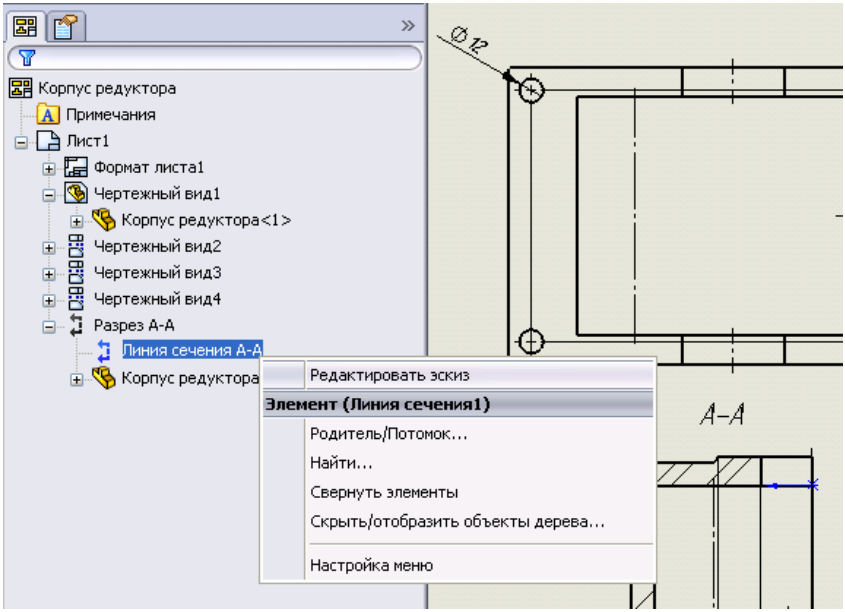


Рисунок 13.40 – Виклик команди «Редактировать эскиз»

У перетині кількість щаблів може бути різною. Отже далі ми сховаємо на розрізі **А-А** крайку, що лежить на границі січних площин. Для цього виберіть мишею крайку (рис. 13.43), яку необхідно сховати. Потім натисніть праву кнопку миші й у контекстному меню виберіть пункт – **«Скрыть кромку»**. Крайка буде схована.

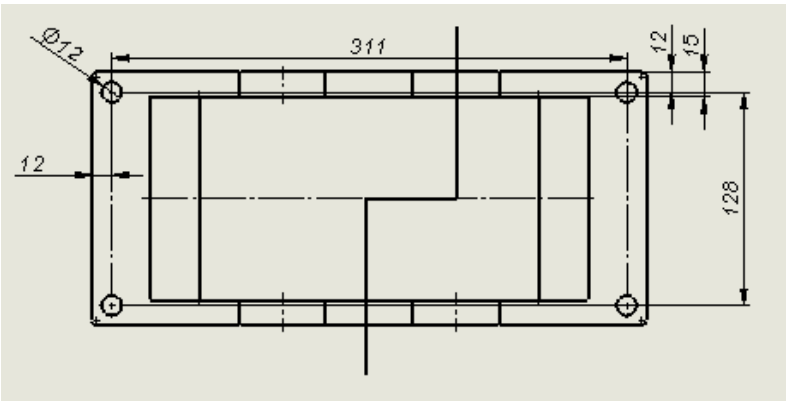


Рисунок 13.41 – Редагування ескізу лінії перетину

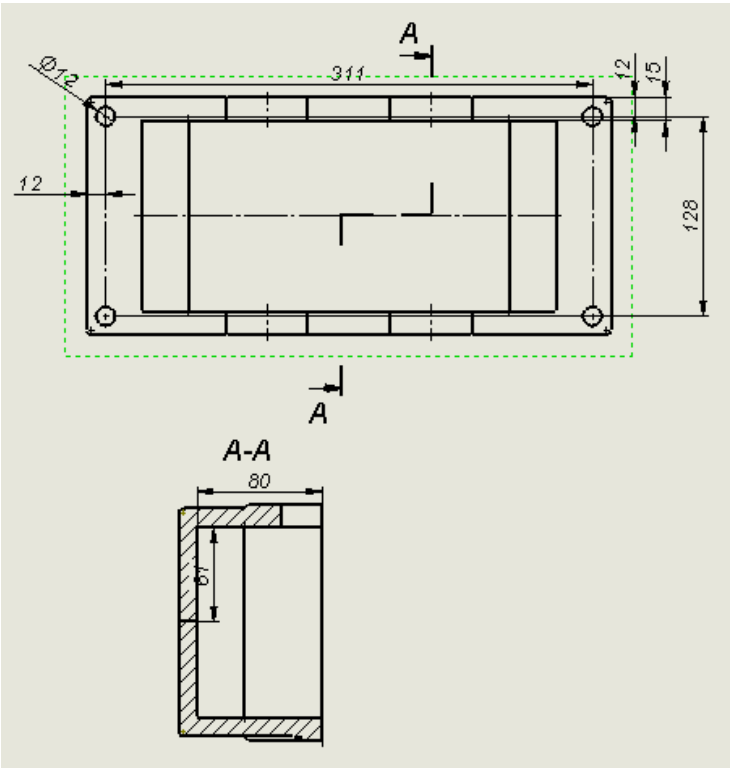


Рисунок 13.42 – Східчастий перетин

13.13 Створення допоміжного виду

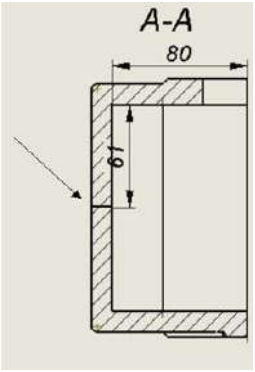


Рисунок 13.43 – Вибір крайки

При створенні креслень іноді зручно показати вид на деталь із якогось певного ракурсу. Для цього в SolidWorks є засіб створення допоміжних видів. Давайте для прикладу створимо допоміжний вид **«Сверху»** на нашу деталь **«Корпус редуктора»**. Відзначимо, що вид **«Сверху»** можна було одержати, використовуючи стандартні проекції, але для прикладу скористаємося допоміжним видом. Для створення допоміжного виду виберіть крайку на виді **«Справа»**, зазначену на рис. 13.44.

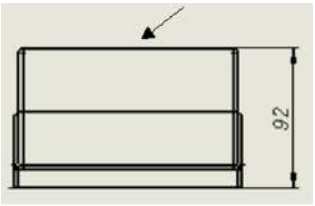


Рисунок 13.44 – Вибір крайки на виді «Справа»

Потім в інструментальній панелі **«Чертеж»** натисніть кнопку – **«Вспомогательный вид»**. Ця команда створює вид шляхом використання крайки або іншого лінійного об'єкта. Відразу ж автоматично створюється вид, перпендикулярний крайці, а також стрілка й мітка виду **«В»**. Натисніть клавішу **<Ctrl>** для розриву проекційного зв'язку між видами й помістіть вид поруч із вихідним видом, клацнувши мишею в графічній області. У менеджері властивостей відкриється діалогове вікно **«Чертежный вид6»**, у якому встановіть прапорець **«Изменить направление»** щоб відобразити вид **«Сверху»**. Натисніть кнопку **OK**, щоб закрити діалогове вікно.

У результаті ви повинні одержати новий допоміжний вид (рис. 13.45). Якщо вид виявився за межами креслення, то нічого страшного. Давайте ми його розгорнемо на 90°.

Для цього знову активуйте вид і натисніть кнопку – **«Вращать вид»** панелі інструментів **«Вид»**. З'явиться діалогове вікно **«Вращать чертежный вид»**. Тепер у цім вікні в полі **«Угол чертежного вида»** встановіть 90° і натисніть кнопку

«Применить», або просто в графічному вікні захопіть мишею вид і здійсніть обертання виду так, як показано на рис. 13.46.

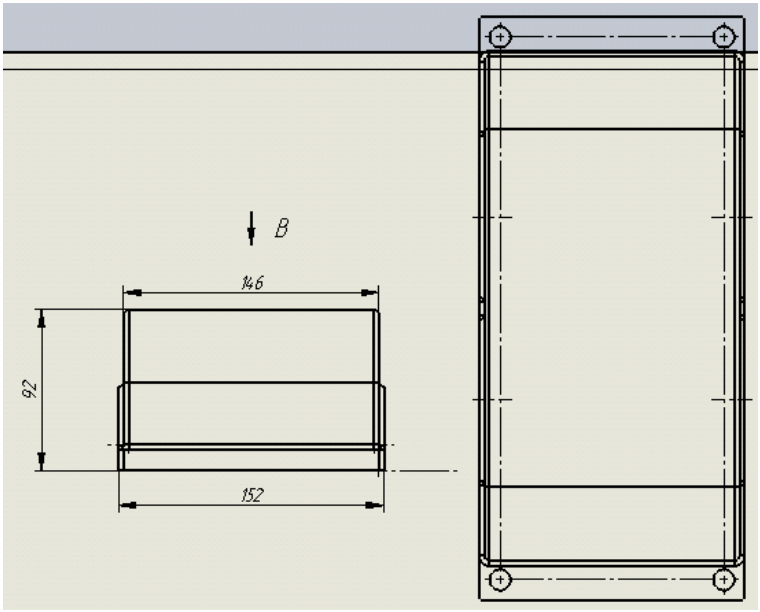


Рисунок 13.45 – Створено новий допоміжний вид

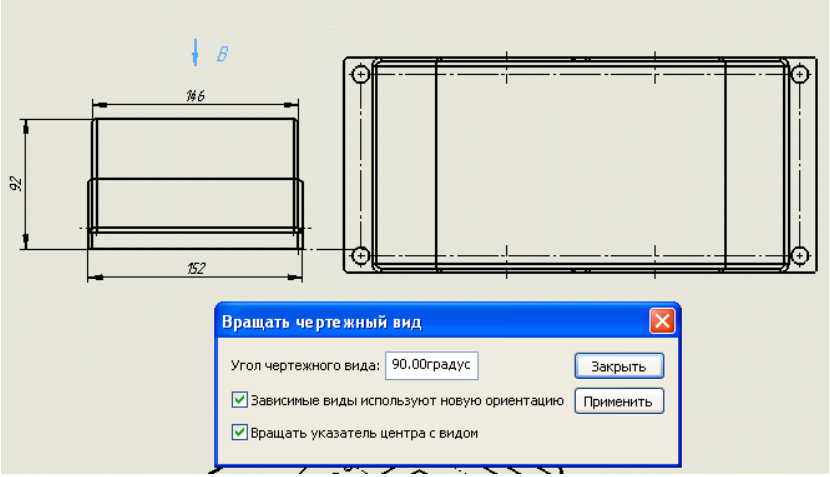


Рисунок 13.46 – Процес повороту виду

Після завершення операції натисніть кнопки **«Закрыть»** і **ОК**, щоб закрити обоє діалогових вікна. Тепер вирівняємо вид **В** так, щоб він перебував на одній горизонталі з вихідним видом.

Для цього клацніть у дереві конструювання правою кнопкою миші на елементі **«Чертежный вид6»** (Вид В) і в контекстному меню, що випадає, виберіть пункт **«Выровнять | Выровнять по горизонтали по исходной точке»** (рис. 13.47).

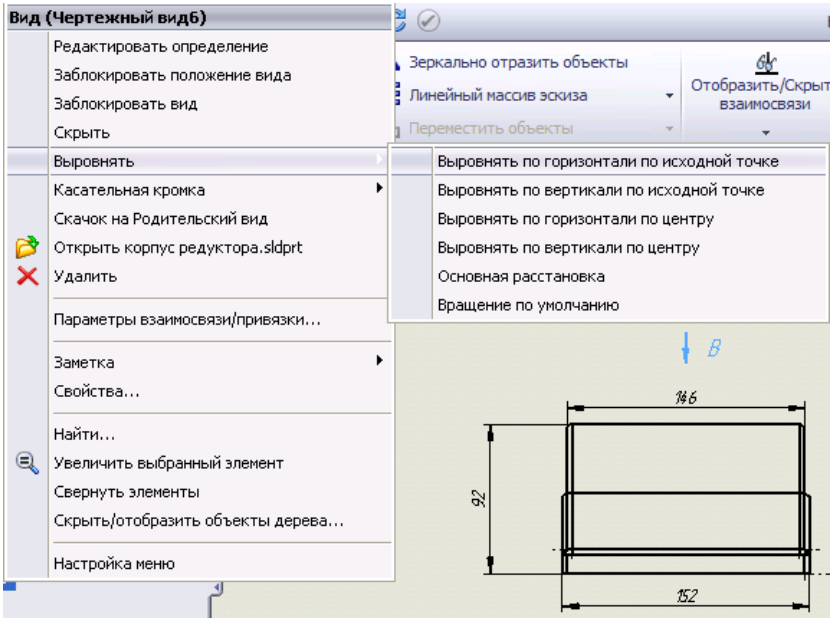


Рисунок 13.47 – Вирівнювання виду

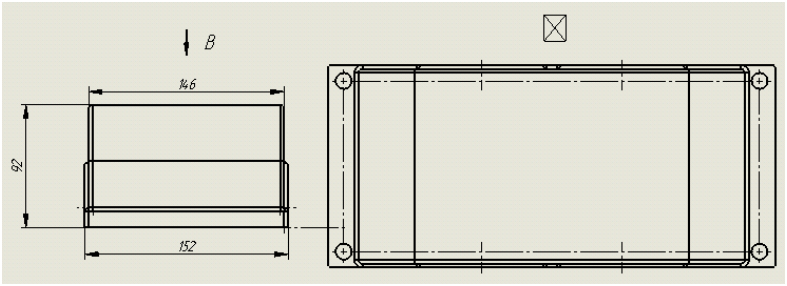


Рисунок 13.48 – Вихідні точки двох видів на одній горизонталі

Відповідно зміниться зображення курсору. Потім у графічній області клацніть об'єкт, щодо якого ви прагнете вирівняти вид. У цьому випадку це вид **«Справа»**. Після цього вихідні точки двох видів будуть перебувати на одній горизонталі (рис. 13.48).

Створення блоку. Змінимо мітку виду й додамо значок **«Повернуто»**, тому що ми розгорнули наш вид на 90°.

Підведіть покажчик до значка й виконаєте подвійне клацання. При цьому система перейде в режим редагування замітки. У поле графічної області введіть мітку **Б**. У діалоговому вікні **«Заметка»** менеджера властивостей на вкладці **«Формат текста»** встановіть прапорець **«Метка вида вручную»**, а потім натисніть кнопку **«Шрифт».**

Якщо кнопка **«Шрифт»** недоступна, то зніміть і знову встановіть прапорець **«Метка вида вручную»** або змініть параметр **«Угол».**

У діалоговому вікні **«Выбрать шрифт»**, що відкрилося, виберіть необхідний шрифт і на вкладці **«Высота»** виберіть 7 мм. Потім натисніть кнопку **ОК**, щоб закрити обидва вікна. Мітка виду встановлена. Далі додамо властиво значок **«Повернуто».**



Рисунок 13.49 – Значок «Повернуто»

Оскільки в SolidWorks у позначеннях такий значок відсутній, то давайте створимо його, використовуючи блок.

Спочатку на вільному місці (наприклад, поруч із позначенням **«Б»**) намалюйте значок **«Повернуто»** за допомогою інструментів ескізу **«Окружность»** і **«Линия»** (рис. 13.49).

Потім виберіть команду **«Инструменты | Блок | Создать».** Ця команда створює блок, який звичайно містить часто використовувані елементи креслення. У цьому випадку ми використовуємо блок, тому що прагнемо створити елемент креслення, який відсутній у позначеннях. У менеджері властивостей відкриється діалогове вікно **«Создать блок»** і з'явиться порожнє графічне вікно. Клацніть мишею по створеним окружності й двом лініям (рис. 13.50).

Потім у діалоговому вікні клацніть по заголовкові **«Точка вставки»**. З'явиться маніпулятор, який мишею необхідно перенести в центр окружності. Це необхідно зробити для того,

щоб надалі при вставці блоку в креслення блок розміщався своєю точкою вставки в місці, яке вказується курсором миші.

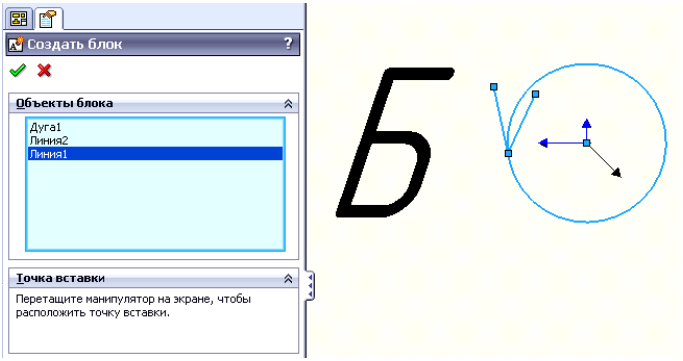


Рисунок 13.50 – Графічне вікно створення блоку

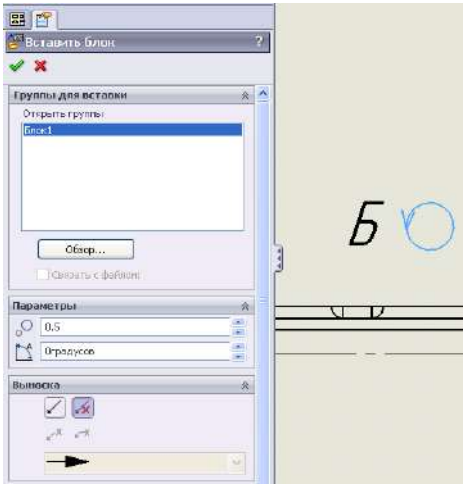


Рисунок 13.51 – Додавання блоку у креслення

Для завершення створення блоку натисніть кнопку **ОК**. У дереві конструювання виник новий елемент **«Блоки»**. Додамо блок у креслення, для чого на панелі инструментов **«Примечания»** натисніть кнопку – **«Вставить блок».**

Ця команда додає блок, що містить використовувані елементи креслення.

У вікні **«Вставить блок»**, що відкрилося в менеджері властивостей, на вкладці **«Группы для вставки»** виберіть елемент **«Блок1»** (рис. 13.51). Тепер підведіть курсор миші до мітки **«Б»** допоміжного виду. Поруч із курсором буде зображений символ створюваного блоку. Визначить необхідне місце для блоку зі значком **«Повернуто»** і клацніть мишею.

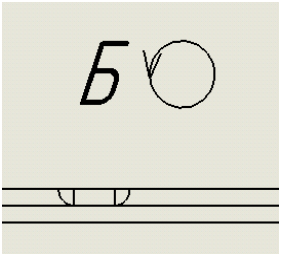


Рисунок 13.52 – Блок зі значком «Повернуто»

Для завершення команди натисніть кнопку **ОК** (рис. 13.52). Залишилося тільки згрупувати мітку **«Б»** і значок **«Повернуто»** з метою спільного переміщення в області креслення. Для цього натисніть клавішу **<Ctrl>** і, утримуючи її, послідовно виберіть мишею мітку **«Б»** і значок **«Повернуто».** Далі натисніть на панелі інструментів **«Выровнять»** команду – **«Группа»**, яка створює групу для обраних елементів.

Тепер, якщо потягнути мишею за один з елементів групи при переміщенні по кресленню, інші елементи будуть переміщатися як єдиний об'єкт.

13.14 Створення нового позначення

Є інший спосіб створення значка **«Повернуто»**. Цей спосіб полягає в редагуванні файлу, у якому збережені позначення, наявні в SolidWorks. За допомогою програми **«Блокнот»**, що входить у поставку Windows, відкрийте для редагування файл C:\Program Files\SolidWorks Corp\SolidWorks\ lang\ russian\ GTOL.sym.

У файлі знайдіть розділ **«Обозначения для модификации».** Тепер у знайдений розділ впишіть текст, показаний на рис. 13.53. Потім збережіть змінений файл **«GTOL.sym».**

```
*RV,Повернуто
A,CIRCLE .5,.5,.375
A,LINE .125,.5,.3,.7
A,LINE .125,.5,-.04,.7
```

Рисунок 13.53 – Текст для файлу «GTOL.sym»

Далі потрібно перезавантажити SolidWorks. Після нового завантаження програми відкрийте файл креслення «Корпус редуктора.slddrw» і перейдіть до редагування замітки: ім'я мітки допоміжного виду.

Клацніть двічі мишею по мітці виду – букві **«Б»**. У менеджері властивостей відкриється діалогове вікно **«Заметка»**, у якому в розділі **«Формат текста»** натисніть кнопку – **«Добавить обозначение»**. З'явиться діалогове вікно **«Обозначения»** (рис. 13.54), виберіть бібліотеку **«Обозначения**

для модификации» й клацніть мишею по позиції **«Повернуто»**. Ця позиція додасться в бібліотеку тільки після того, як ви додасте текст, показаний на рис. 13.53, у файл **«GTOL.sym»**. У вікні **«Обозначения»** натисніть кнопку **OK** – і в замітці з'явиться текст, показаний на рис. 13.55.

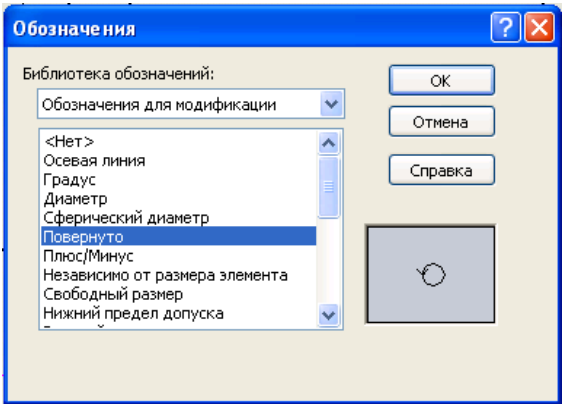


Рисунок 13.54 – Діалогове вікно «Обозначения»

Тепер у менеджері властивостей натисніть кнопку **OK** для завершення редагування замітки, і у вас повинна з'явитися мітка наступного виду (рис. 13.56).

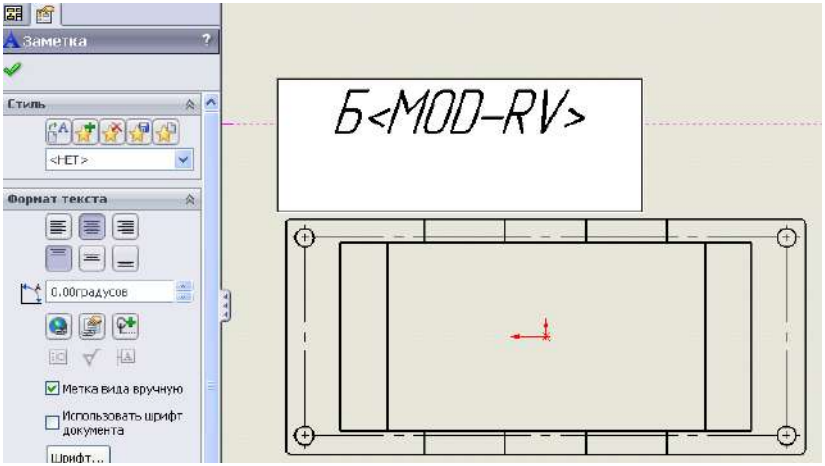


Рисунок 13.55 – Процес додавання тексту на креслення

У такий же спосіб можна додавати й інші відсутні в SolidWorks позначення. Позначення можна додавати не тільки в бібліотеку **«Обозначения для модификации»**, але й в інші бібліотеки, наприклад: Допуск форми й розташування поверхонь, Позначення отвору і т.д.

13.15 Створення місцевого виду

Створимо місцевий вид для більш докладного показу елементів кріпильних отворів. Для цього на панелі інструментів **«Чертеж»** натисніть кнопку – **«Местный вид»**. Ця команда додає місцевий вид для відображення частини виду звичайно в збільшеному масштабі.

Система автоматично перейде в режим редагування ескізу профілю для місцевого виду, а кнопка – **«Окружность»** панелі інструментів **«Эскиз»** перейде в натиснутий стан, тобто активізується інструмент малювання окружності.

У менеджері властивостей відкриється діалогове вікно **«Местный вид»** і з'явиться повідомлення-підказка (жовтого кольору) про ті дії, які необхідно виконати користувачеві для створення місцевого виду. Далі намалюйте на виді **«Снизу»** окружність як на рис. 13.57.

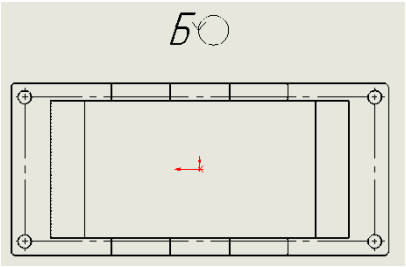


Рисунок 13.56 – Блок зі значком «Повернуто»

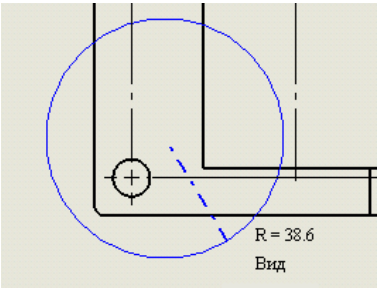


Рисунок 13.57 – Створення окружності

Якщо ви не прагнете використовувати круговий профіль, то намалюйте довільний замкнений профіль, наприклад, за допомогою інструмента **«Сплайн»** панелі інструментів **«Эскиз»** і активізуйте його до вибору операції **«Местный вид»**.

Як тільки ескіз профілю буде створений, у менеджері

властивостей з’явиться діалогове вікно **«Местный вид»**, у якому встановіть на вкладці **«Параметры окружности»** для місцевого виду мітку **В**, а на вкладці **«Масштаб»** задайте необхідний масштаб місцевого виду. Інші параметри залишіть без змін.

Потім перемістіть курсор миші в графічне вікно й клацніть мишею в тому місці, де ви прагнете розташувати місцевий вид. Потім змініть висоту шрифту мітки місцевого виду **В** на 7 мм, і у вас повинно вийти те, що показано на рис. 13.58.

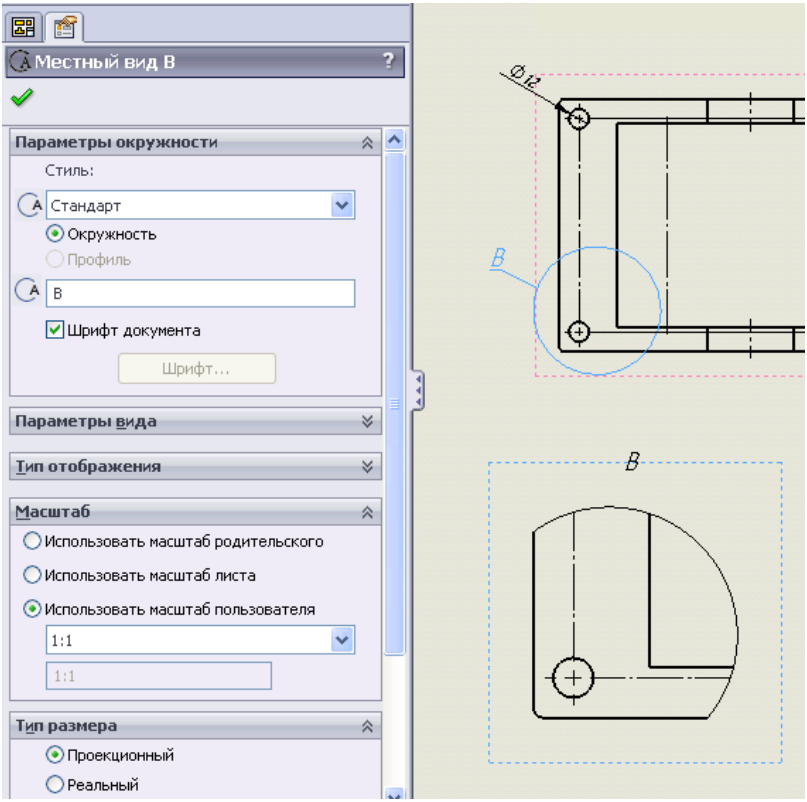


Рисунок 13.58 – Створення місцевого виду

13.16 Створення обрізаного виду

Тому що деталь «Корпус редуктора» симетрична, то на виді **Б** досить показати половину зображення. Тому створимо на виді

Б обрізаний вид. Для цього на панелі інструментів **«Эскиз»** натисніть кнопку – **«Сплайн»** і намалюйте на виді **Б** замкнений сплайн так, як показано на рис. 13.59. Потім на панелі інструментів **«Чертеж»** натисніть кнопку – **«Обрезанный вид».**

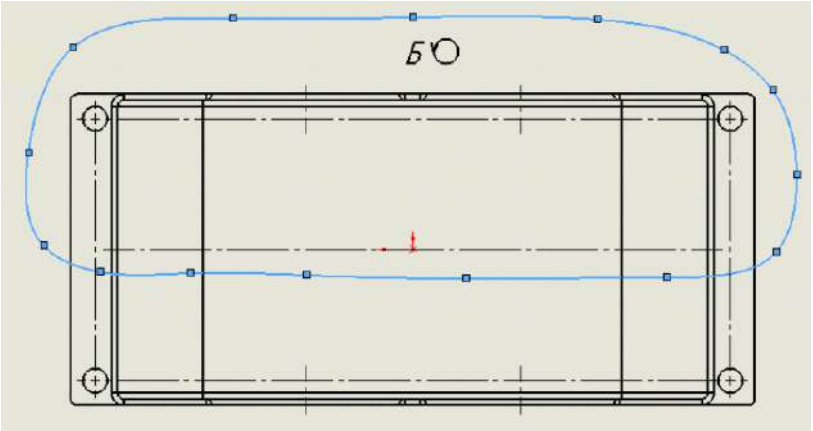


Рисунок 13.59 – Замкнений сплайн

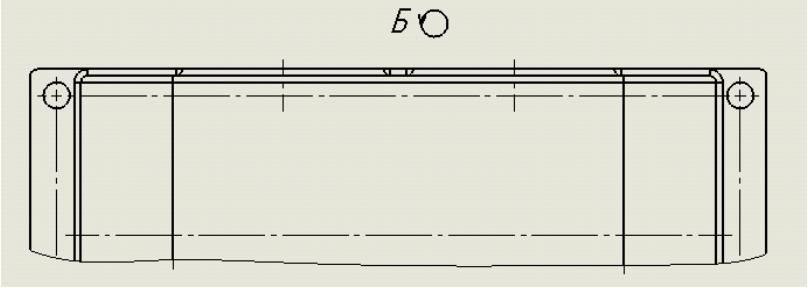


Рисунок 13.60 – Створення обрізаного виду

Ця команда проводить обрізку існуючого виду для відображення тільки частини виду. Після відпрацьовування команди залишиться тільки та частина виду, яка була укладена в сплайн. Видаліть непотрібні розміри, що залишилися.

У результаті у вас повинен вийти вид, показаний на рис. 13.60. Якщо вам буде необхідно відредагувати ескіз лінії обріза, то натисніть правою кнопкою миші на обрізаному виді в

графічній області або на елементі **«Чертежный вид»** у дереві конструювання і в контекстному меню виберіть команду **«Обрезанный вид | Редактировать обрезанный вид»** (рис. 13.61).

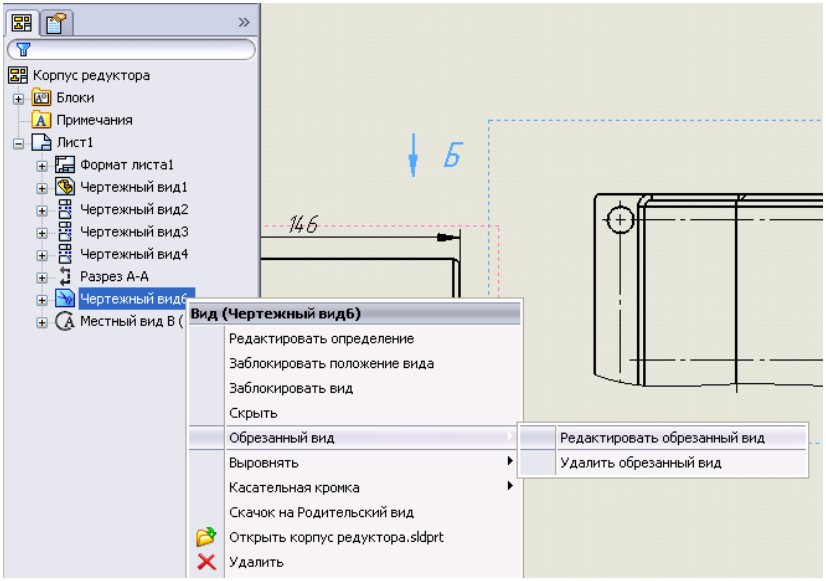


Рисунок 13.61 – Редагування ескізу лінії обріза

Після редагування ескізу для прийняття змін натисніть кнопку – **«Перестроить»** панелі інструментів **«Стандартная»** або **«Выход из эскиза»** у вікні **«Угол для выбора».**

13.17 Створення вириву

Для того щоб показати внутрішню геометрію деталі, у програмі є інструмент для додавання вийнятого розрізу в існуючий вид з відкриттям внутрішньої частини моделі.

Як приклад на креслярському виді **«Снизу»** за допомогою вириву покажемо отвори для кріплення кришок. Натисніть на панелі інструментів **«Чертеж»** кнопку – **«Вырыв детали»**.

Система при цьому автоматично перейде в режим створення ескізу контуру для вириву, а кнопка – **«Сплайн»** панелі інструментів **«Эскиз»** перейде в натиснутий стан, тобто

активізується інструмент малювання сплайна.

Далі на виді **«Снизу»** намалюйте замкнений контур так, як показано на рис. 13.62. Якщо потрібен профіль, відмінний від сплайну, то створіть і виберіть замкнений профіль перш, ніж вибрати інструмент – **«Вырыв детали»**.

Як тільки сплайн буде замкнений, у менеджері властивостей з'явиться діалогове вікно **«Вырыв детали»**. На вкладці **«Глубина»** встановіть прапорець **«Предв. просмотр»**.

У графічній області на виді креслення з'явиться зображення площини вириву у вигляді жовтої лінії. Для того щоб площина вириву пройшла через вісь отвору, на виді **«Спереди»** вкажіть крайку цього отвору (рис. 13.63).

На вкладці **«Глубина»** вікна **«Вырыв детали»** з'явився елемент **Кромка <1>** і відобразилася відстань розташування січної площини, а саме поле **«Расстояние»** стало недоступним. Натисніть кнопку **ОК** і завершіть створення вириву.

У результаті у вас повинен вийти вид, показаний на рис. 13.64. На завершення операції, крайки що обмежують вирив зробимо тонкими лініями. Для цього, нажавши й утримуючи клавішу **<Ctrl>**, виберіть ці крайки й натисніть кнопку – **«Толщина линии»** на панелі інструментів **«Формат линии»**.

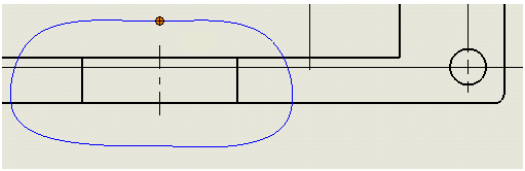


Рисунок 13.62 – Замкнений контур на виді «Снизу»

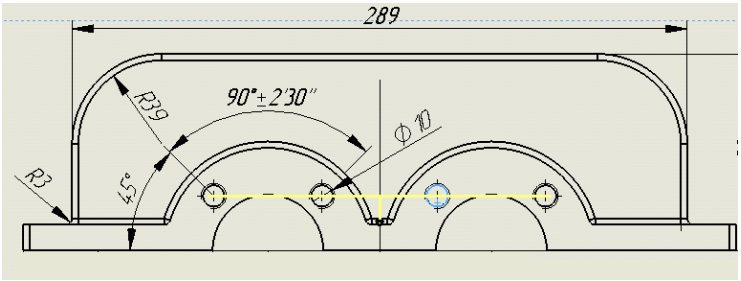


Рисунок 13.63 – Вказування крайки отвору

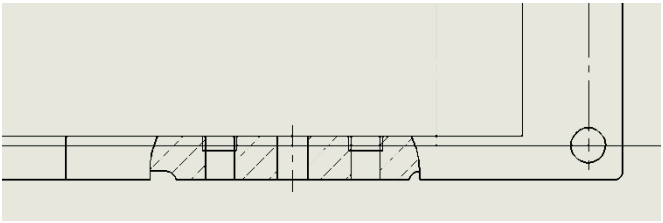


Рисунок 13.64 – Створення вириву

Виберіть тонку лінію й натисніть кнопку **OK** для завдання товщини крайок. Для збереження креслення натисніть кнопку – **«Сохранить».**

13.18 Створення другого аркуша креслення

Якщо всі види креслення не вміщаються на одному аркуші, то є можливість додавати будь-яку кількість додаткових аркушів. Для створення другого аркуша підведіть покажчик до вкладки **«Лист1»** у нижній частині екрана й натисніть праву кнопку миші.

У контекстному меню, що випадає, виберіть пункт **«Добавить лист…»**. З'явиться нова вкладка **«Лист2»**. Щоб змінити атрибути нового аркуша, підведіть покажчик до створеної вкладки й натисніть праву кнопку миші, у контекстному меню виберіть пункт **«Свойства…»** (рис. 13.65).

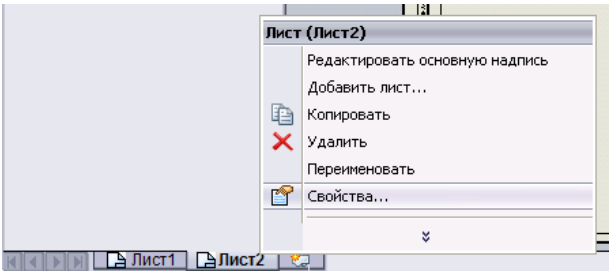


Рисунок 13.65 – Пункт «Свойства…» у контекстному меню

У вікні **«Свойства листа»**, що відкрилося, виберіть формат другого аркуша (наприклад, **ESKD_a2_2**) і натисніть кнопку **OK.** Буде створений і стане активним другий аркуш креслення. Перемикатися між видами креслення, що перебувають на різних

аркушах, можна, вибираючи необхідні вкладки в нижній частини графічного вікна. Знову активізуйте креслярський аркуш **«Лист1»** і створіть у ньому проекційний вид **«Сверху»**, нажавши на панелі інструментів **«Чертеж»** кнопку – **«Проекционный вид»**. У менеджері властивостей відкриється діалогове вікно **«Проекционный вид»**. Клацніть мишею по головному виду **«Спереди»** й перемістіть покажчик миші нагору.

Близько курсору миші з'явиться динамічний образ креслярського виду **«Сверху»**. Натисніть клавішу **<Ctrl>**, щоб розірвати проекційний зв'язок, і розмістіть креслярський вид поза полем креслення (рис. 13.66).

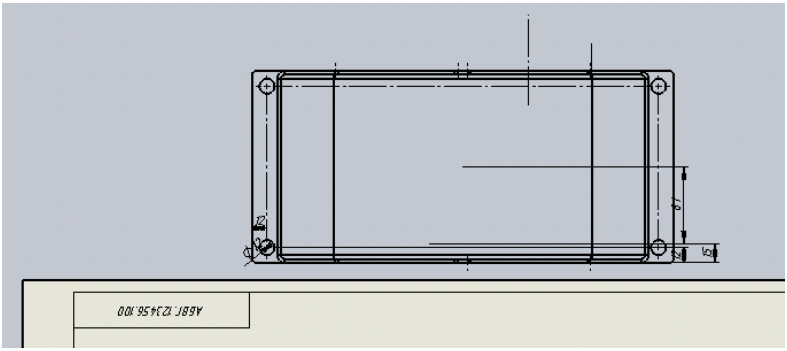


Рисунок 13.66 – Креслярський вид поза полем креслення

При цьому в дереві конструювання виник новий елемент **«Чертежный вид8»**. Тепер давайте перемістимо цей вид на другий аркуш креслення **«Лист2»**. Для цього в дереві конструювання захопіть мишею елемент **«Чертежный вид8»** і починайте перетаскувати в дереві конструювання на елемент **«Лист2»**. Як тільки ви відпустите кнопку миші, елемент **«Чертежный вид8»** зникне з гілки **«Лист1»** і виникне елемент **«Чертежный вид9»** на гілці **«Лист2»** (рис. 13.67).

Перетаскувати види можна тільки з активного аркуша креслення. Щоб активізувати аркуш у дереві конструювання, натисніть кнопкою миші на цьому аркуші й у контекстному меню виберіть команду **«Активизировать лист».**

Тепер активізуйте елемент **«Лист2»** і перемістіть вставлений проекційний вид **«Сверху»** в область креслення.

13.19 Оформлення специфікації

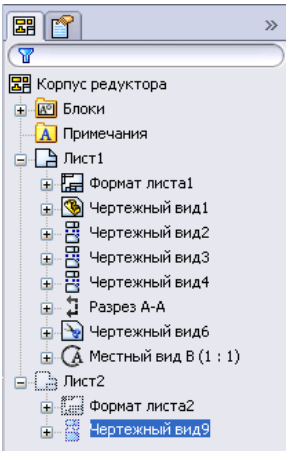


Рисунок 13.68 – Новий елемент «Чертежный вид9»

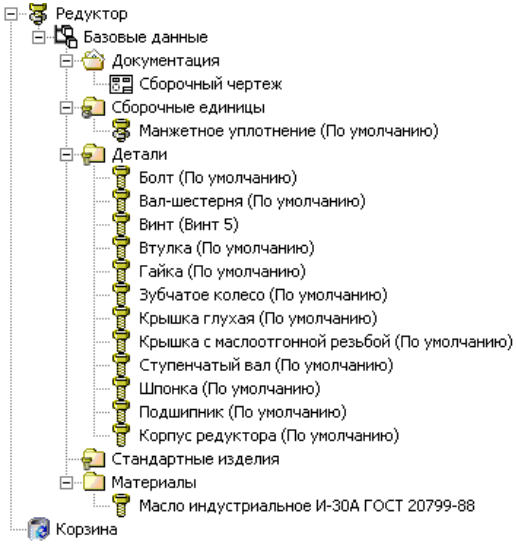


Рисунок 13.67 – Структура специфікації виконаної в «SWR-Спецификация»

Створення специфікації у SolidWorks можливе вручну (за допомогою шаблонових форматів), або за допомогою програми «SWR-Спецификация». Шлях створення специфікації вручну може застосовуватися на перших етапах і для невеликих складань, тому що інформація в специфікації ніяк не пов’язана з інформацією в документі складання.

Другий шлях більш прогресивний, але вимагає наявності пакета SWR-Специфікація. Проте програма «SWR-Спецификация» є комерційним додатком до пакета SolidWorks і купується окремо. Вона призначена для автоматичного заповнення конструкторських специфікацій, створених на основі складань.

Спільна робота з пакетом SolidWorks дозволяє документу «SWR-Спецификация» відслідковувати зміни в документах SolidWorks і змінювати відповідно до цього дані специфікації. Структура специфікації, виконаної в «SWR-Спецификация», повинна виглядати так, як показано на рис. 13.203.

Питання для самоперевірки

1. Назвіть основні етапи створення креслень у SolidWorks.
2. За рахунок чого можна зручно і швидко створювати креслення у SolidWorks?
3. Як налаштувати шрифти та шаблони в SolidWorks?
4. Як створити нове креслення в SolidWorks?
5. Як створити проекційні види в SolidWorks?
6. Як види розмірів є SolidWorks і як вони налаштовуються?
7. Як перемістити вид на кресленні?
8. Як розірвати проекційний взаємозв'язок на кресленні?
9. Як змінити режим відображення деталі на кресленні?
10. Як змінити масштаб виду деталі на кресленні?
11. Які є варіанти зміни масштабу виду?
12. На які види поділяються розміри у SolidWorks?
13. Як перемістити розмір?
14. Як скопіювати розмір?
15. Що відбувається з моделлю деталі при зміні розмірів на кресленні?
16. В чому полягає редагування основного напису на кресленні?
17. Як вивести на друк креслення?
18. Розкажіть загальний алгоритм створення додаткових видів.
19. Як створити східчастий розріз деталі на кресленні?
20. Як створити нове позначення на кресленні?
21. Як створити місцевий вид?
22. Розкажіть загальний алгоритм створення додаткового аркуша креслення в документі.
23. Як оформлюються специфікації у SolidWorks?

14 РОЗРОБКА ЗОВНІШНІХ ФОРМ КУЗОВА АВТОМОБІЛЯ

14.1 Підготовка вихідних матеріалів для майбутньої моделі

Для початку роботи необхідно вибрати ескіз майбутньої моделі автомобіля в 4 видах (попереду, праворуч, зверху, позаду) з гарною чіткістю ліній, тому що це відіб'ється на якості й зручності роботи. Перевірка ескізу на симетричність проводиться шляхом зіставлення контрольних точок проекцій у будь-якому редакторі, наприклад Paint, Photoshop (рис. 14.1).

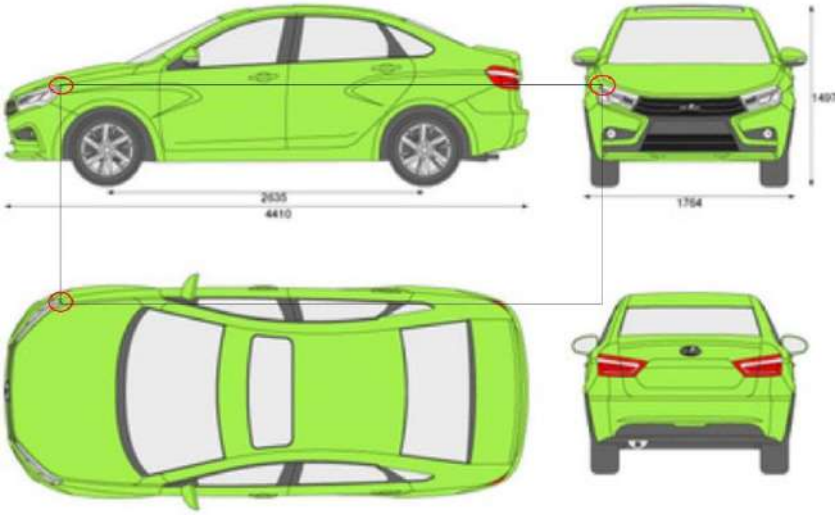


Рисунок 14.1 – Ескіз майбутньої моделі автомобіля в 4 видах

Звичайно види майбутньої моделі розташовуються на одному аркуші, тому їх необхідно розділити. Для кращого компонування види зверху й праворуч обрізаються по задньому й передньому бамперу на одному рівні, а види попереду, праворуч і позаду – трохи нижче рівня коліс.

Також необхідно провести вісь симетрії на видах попереду, позаду й зверху (рис. 14.2).

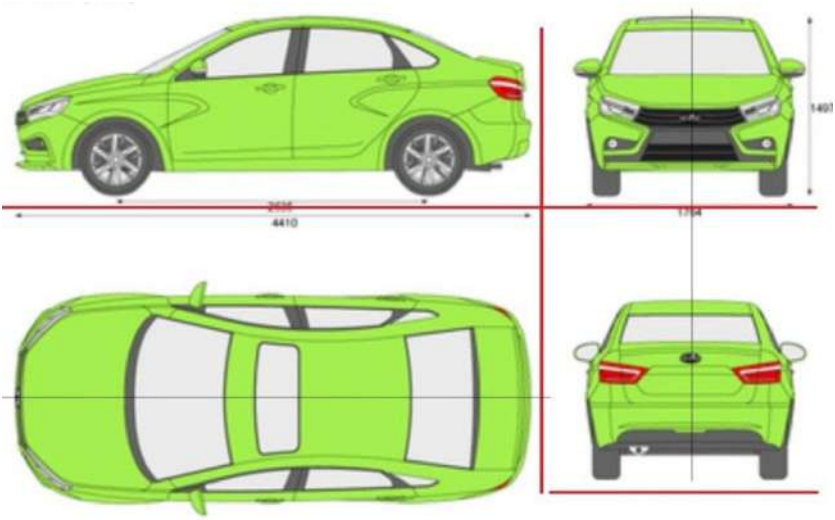


Рисунок 14.2 – Компонування видів

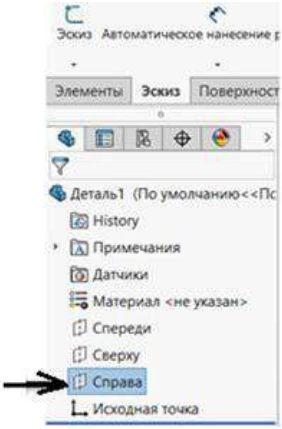


Рисунок 14.3 – Вибір площини «Справа»

Далі розподілимо ескізи майбутньої моделі по площинах SolidWorks. Отже розмістимо креслення ескізу на площину **«Справа»**. Для цього слід виконати наступну послідовність дій. Запустити SolidWorks. Вибрати команду **«Создать документ»**, після чого вибрати **«Создать деталь»**. В **«Дереве построений»** виділити площину **«Справа»**, потім нажати праву кнопку миші й вибрати у меню пункт **«Создать эскиз»** – **«Перпендикулярность»** (рис. 14.3). Далі відкриваємо вкладку **«Инструменты – Инструменты эскиза – Картинка эскиза»**, щоб вставити картинку ескізу на площину **«Справа»** (рис. 14.4).

У вікні, що відкрилося, указуємо папку, у якій перебуває картинка із кресленням виду **«Справа»**. Після цього вибираємо цю картинку й натискаємо кнопку **«Открыть»** (рис. 14.5).



Рисунок 14.4 – Створення ескізу

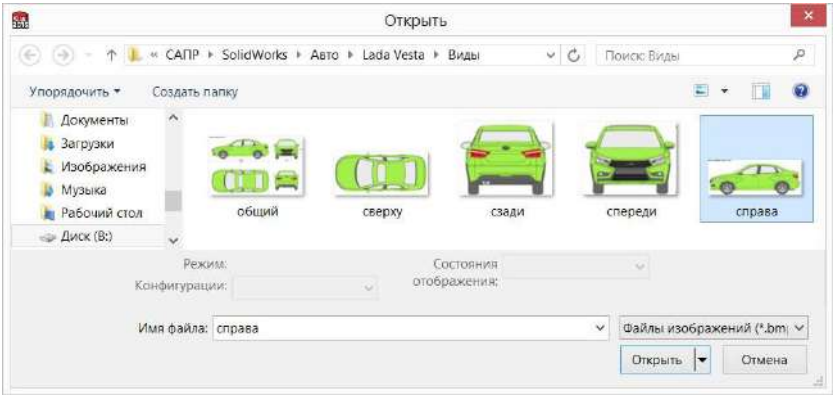


Рисунок 14.5 – Вибір картинки для площини

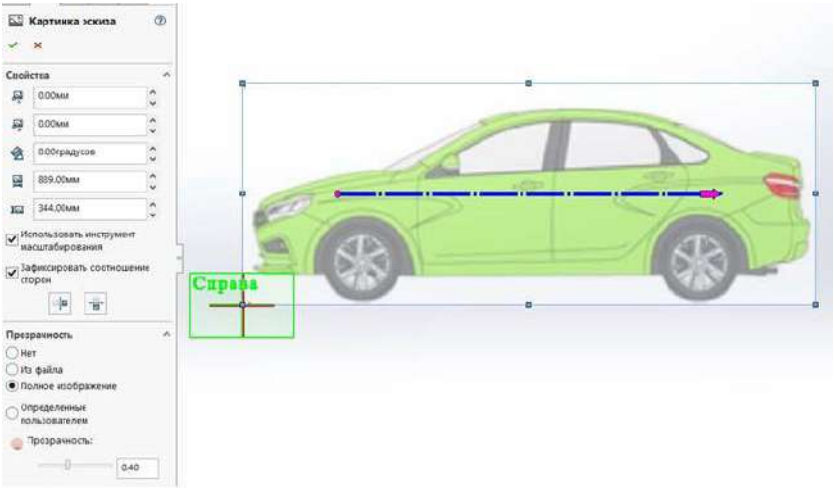


Рисунок 14.6 – Встановлюємо рівень прозорості картинки

Розташовуємо картинку ескізу, як пропонує програма. У вікні настроювань у пункті **«Прозрачность»** вибираємо **«Полное**

изображение» і після цього задаємо прозорість 0.40 (рис. 14.6). Розмір картинки залишаємо за замовчуванням, щоб якість картинки не погіршилася. Натискаємо зверху **«ОК»**. Після цього виходимо з ескізу, для цього зверху праворуч натискаємо синю кнопку (рис. 14.7). У дереві побудов цей ескіз можна буде знайти за назвою **«Эскиз 1»**.

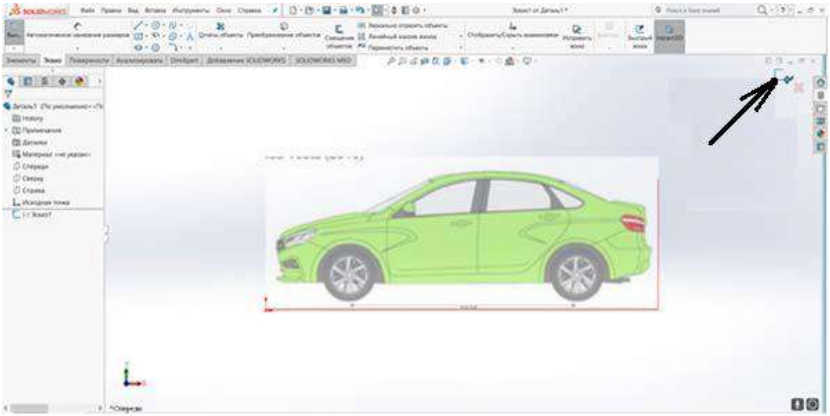


Рисунок 14.7 – Створено «Эскиз 1»

Далі розміщуємо креслення ескізу на площину виду **«Сверху»**. Для цього вибираємо в **«Дереве построений»** вид **«Сверху»**, натискаємо праву кнопку миші, після цього натискаємо **«Перпендикулярно»** і створюємо **«Эскиз»**. Після цього повторюємо дії, описані вище.

Після розміщення картинки виду і установки прозорості, потрібно зображення виду **«Сверху»** розташувати так, щоб вісь симетрії проходила через точку початку координат.

Для цього в тому ж самому вікні виставляємо **«Угол»** 90 градусів і зсув по осі **X** на величину, необхідну для збігу осі симетрії й початку координат, у нашому випадку це величина 210 мм (рис. 14.8).

Далі нам необхідно створити додаткові площини і розмістити на них креслення ескізів видів **«Спереди»** і **«Сзади»**. Отже створюємо допоміжну **«Плоскость 1»**. Для цього відкриваємо вкладку **«Элементы – Справочная геометрия – Плоскость»** (рис. 14.9) і створюємо площину для виду **«Спереди»**, у вікні, що

з’явилося, установлюємо настроювання, так як показано на рис. 14.10. Вибираємо **«Спереди»**, установлюємо розмір **«520»** і натискаємо **«ОК»**.

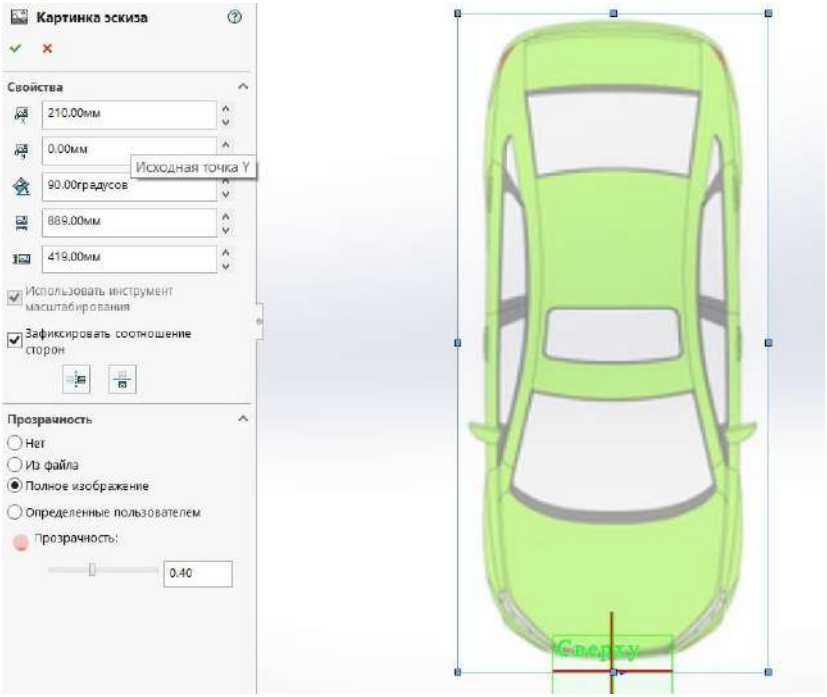


Рисунок 14.8 – Вирівнювання зображення

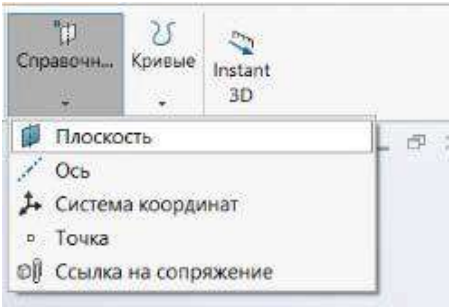


Рисунок 14.9 – Створюємо площину для виду «Спереди»

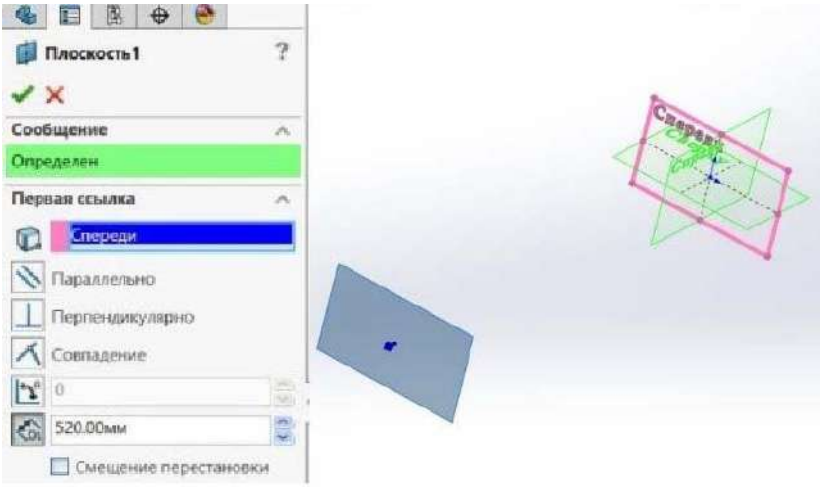


Рисунок 14.10 – Задаємо відстань для площини

Після цього встановлюємо на створену площину креслення ескізу виду **«Спереди»**. Для цього вибираємо в **«Дереве построений»** створену площину й на ній створюємо ескіз.

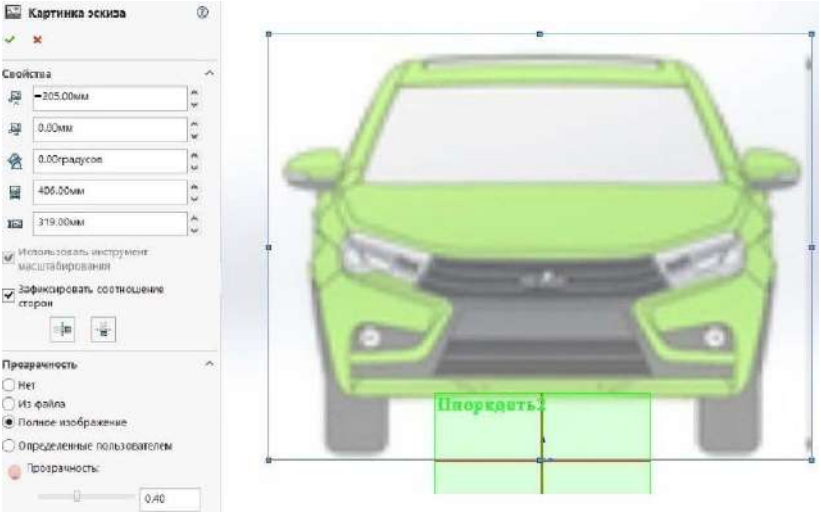


Рисунок 14.11 – Створюємо ескіз на площині і розміщуємо картинку

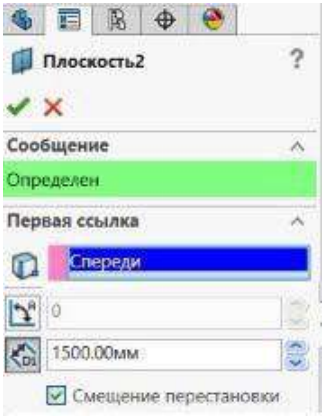


Рисунок 14.12 – Настройка площини

Після створення ескізу, для того щоб розташувати на цій площині креслення, повторюємо всі аналогічні дії, вже описані вище.

Настроювання для вставки креслення виду **«Спереди»** представлені на рис. 14.11.

Далі необхідно сполучити вісь симетрії з початком координат, як показано на рис. 14.8.

Якщо необхідно, коректуємо положення картинок ескізів по осі **У**, щоб збіглися кінцеві точки, наприклад, якщо ви неточно обрізали види.

Потім створюємо площину для виду **«Сзади»**. Для цього відкриваємо вкладку **«Элементы – Справочная геометрия – Плоскость»** (рис. 14.9) і створюємо площину для виду **«Сзади»**, у вікні, що з'явилося, установлюємо представлені на рис. 14.10 у настроювання.

Обов'язково вибираємо **«Смещение перестановки»** і розмір **«1500 мм»**. Після цього встановлюємо на створену площину креслення ескізу виду **«Сзади»**. Для цього вибираємо в **«Дереве построений»** створену площину, на ній створюємо ескіз.

Після створення ескізу, для того щоб розташувати на цій площині креслення, повторюємо всі дії, описані вище. Настроювання для вставки креслення виду **«Сзади»** представлені на рис. 14.13. Далі необхідно сполучити вісь симетрії з початком координат, як показано на рис. 14.8. Якщо необхідно, коректуємо положення картинок ескізів по осі **У**, щоб збіглися кінцеві точки, наприклад, якщо ви неточно обрізали види.

На рис. 14.14 показане розташування видових ескізів. Відстань між передньою частиною моделі й площиною виду **«Спереди»** дозволяє переглядати створені елементи більш зручно, ніж якщо площина буде перебувати безпосередньо на моделі. Аналогічно виконуємо всі настроювання для площини ескізу **«Сзади».**

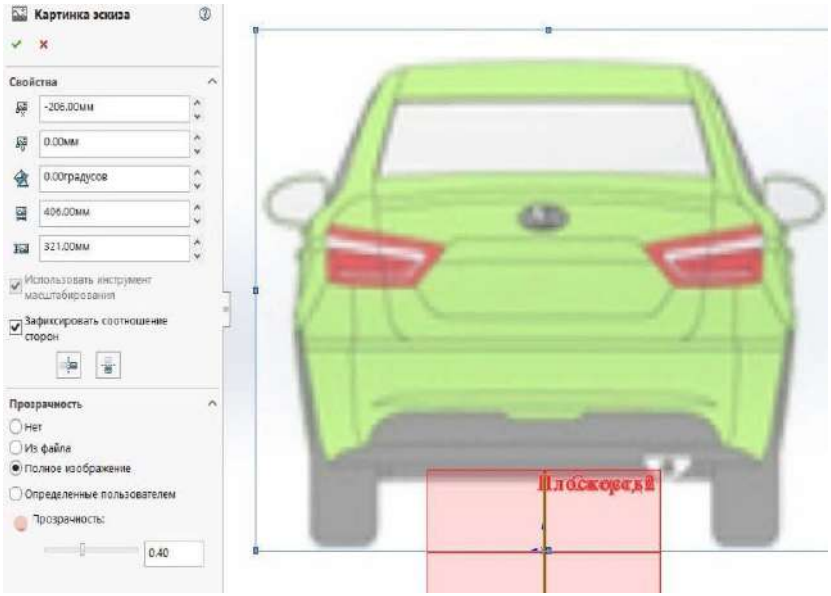


Рисунок 14.13 – Вставка зображення для виду «Сзади»

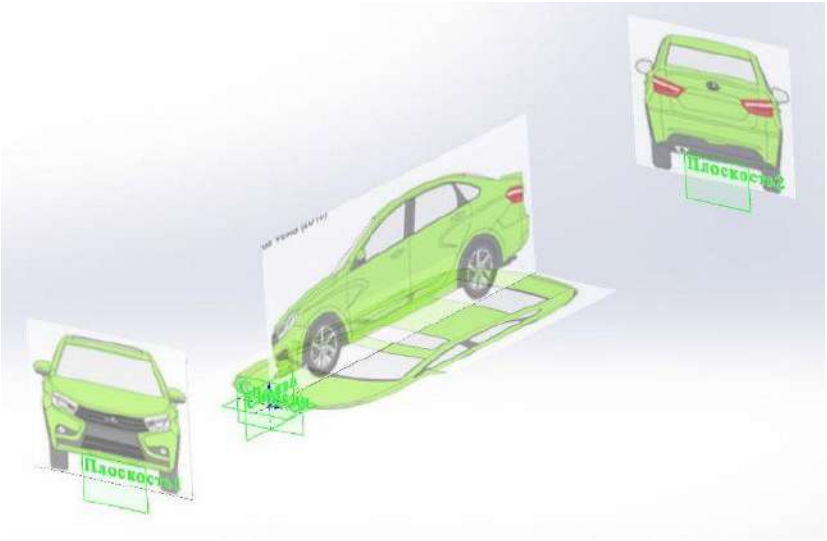


Рисунок 14.14 – Розташування видових ескізів

14.2 Проектування елементів моделі кузова автомобіля методом поверхневого моделювання

Поверхня – це сукупність усіх послідовних положень деякого ескізу, що переміщається в просторі за певним законом. Він називається утворюючим, а лінія, уздовж якої він переміщається, – напрямною. Такий спосіб утвору поверхні називається поверхневим моделюванням. Поверхня в SolidWorks являє собою оболонку з нульовою товщиною. Основною перевагою поверхневого моделювання є його сумісність із елементами, отриманими методами твердотільного моделювання.

На початковому етапі, дії щодо моделювання будуть описуватися повністю, а надалі – скорочено. Після створення видового компонування необхідно визначити, з якої частини почати створення першої поверхні.

Звичайно це деталі, що мають більшу поверхню або прості за формою, такі як боковина або капот автомобіля. Моделювання ми почнемо з боковини. Основними інструментами моделювання в цьому процесі є 3D-ескіз і 3D-сплайн, отриманий у просторі тривимірного ескізу (рис. 14.15).

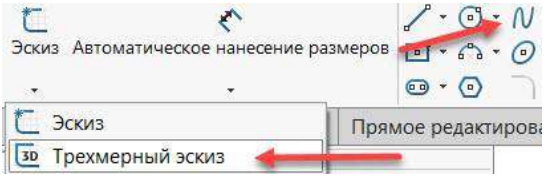


Рисунок 14.15 – Інструменти моделювання

Створюємо 3D-ескіз за допомогою команди сплайн. У кожної точки сплайна є керуючі вектори, за допомогою яких задається необхідна кривизна (рис. 14.16). На виді **«Справа»** обводимо сплайном верхній контур боковини (рис. 14.17).

На виді **«Сверху»** натисканням правою кнопкою миші вибираємо **«Перпендикулярно»**, наш сплайн відображається як пряма лінія, розташована по осьовій лінії автомобіля. Для того щоб змінити її розташування в просторі, вибираємо створений сплайн і на вкладці **«Эскиз»** команду **«Переместить объекты».**

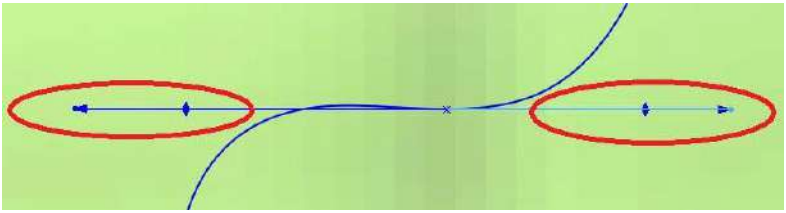


Рисунок 14.16 – Елементи сплайну

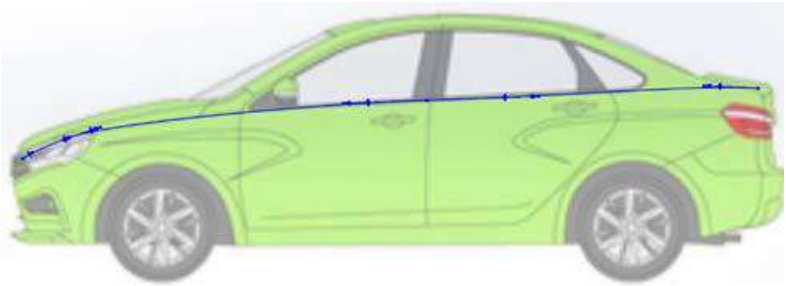


Рисунок 14.17 – Обводимо сплайном
верхній контур боковини

За допомогою керуючих стрілок пересуваємо по осі **X** відносно до верхньої боковини, як показано на рис. 14.18. Цією же командою переміщаємо точки сплайна (рис. 14.19). Задаємо необхідну кривизну сплайна по контуру кузова автомобіля (рис. 14.20) і розвертаємо рис. 14.20 до одержання виду **«Спереди».**

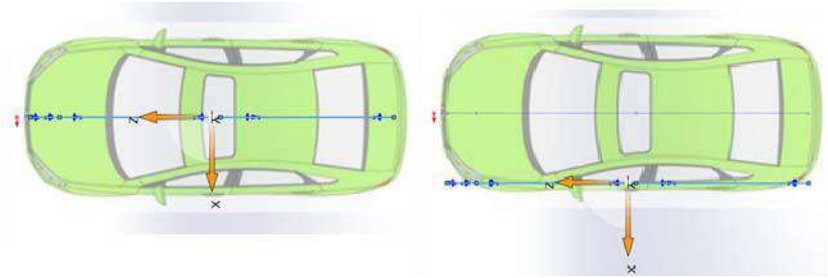


Рисунок 14.18 – Зміна положення сплайну

На виді **«Спереди»** одержуємо готову форму сплайна, тому що для його створення досить двох проекцій. Готову форму сплайна необхідно вивести з **«Эскиза»** у верхній частині екрана

синьою кнопкою. Коректуємо кривизну до необхідної форми (рис. 14.21).

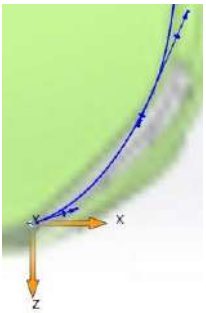


Рисунок 14.19 – Переміщуємо точки сплайна

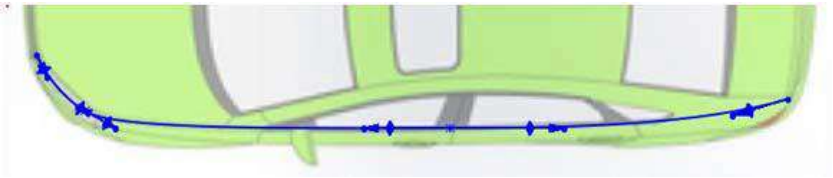


Рисунок 14.20 – Задаємо необхідну кривизну сплайна по контуру кузова

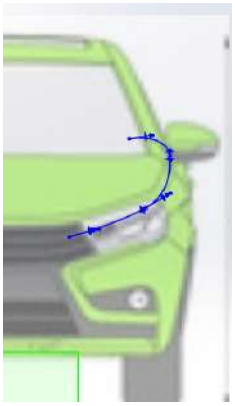


Рисунок 14.21 – Коректуємо кривизну

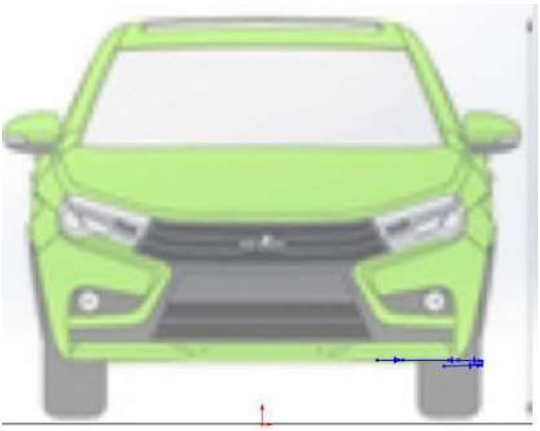


Рисунок 14.22 – Розташування нижнього сплайну

Далі повторюючи вказані операції, створюємо ще два сплайни (рис. 14.23), по яких надалі ми будемо будувати поверхні. Звертаємо особливу увагу на те, що нижній сплайн потрібно розташувати, як показано на рис. 14.22.

Після побудови необхідних сплайнів можна розпочати створення поверхонь. Створення першої поверхні починається з виклику вкладки **«Поверхности»**, у якій є усі інструменти для роботи з поверхнями, правою кнопкою миші натискаємо на вкладку **«Эскиз»** і ставимо відмітку напроти **«Поверхности»** (рис. 14.24).

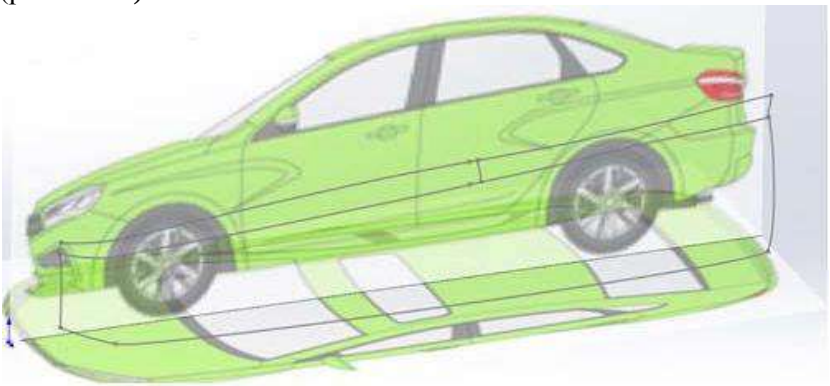


Рисунок 14.23 – Створення сплайнів для поверхонь

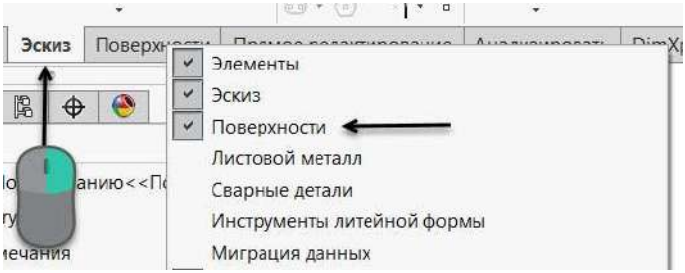


Рисунок 14.24 – Інструменти для роботи з поверхнями

За допомогою команди **«Поверхность границы»** у напрямку 1 вибираємо ескізи в поздовжньому напрямку (уздовж кузова), а в напрямку 2 – у поперечному (вертикально кузову). Перевіряємо параметри й погоджуємося з настроюваннями (рис. 14.25). Після

цього буде створена поверхня (рис. 14.26).

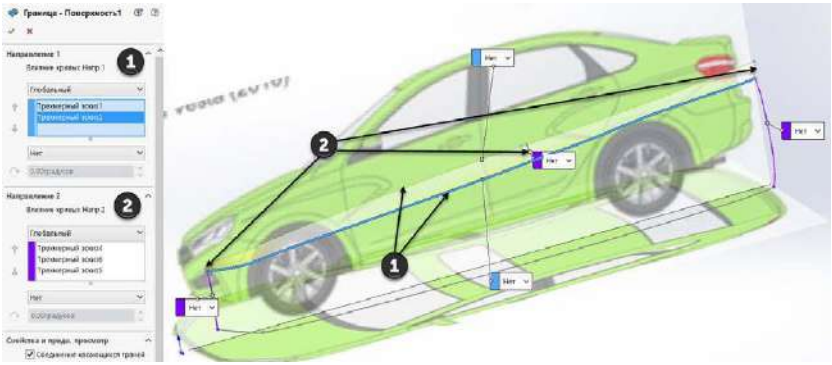


Рисунок 14.25 – Вибираємо ескізи
в поздовжньому напрямку

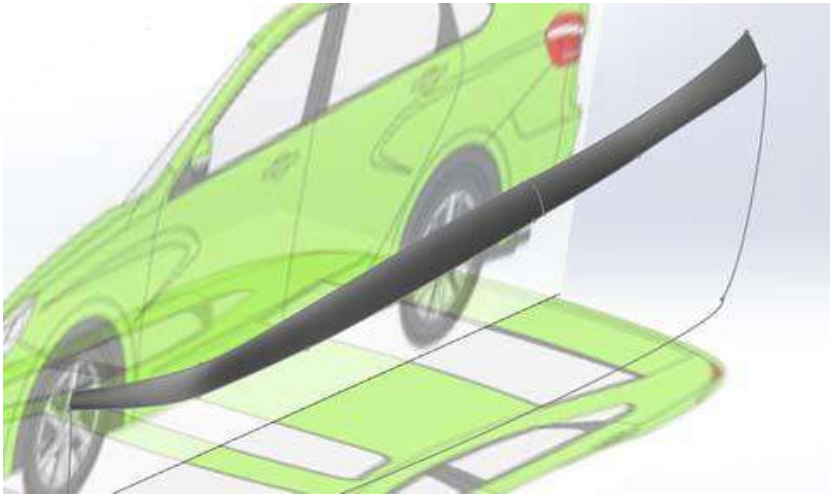


Рисунок 14.26 – Створена поверхня

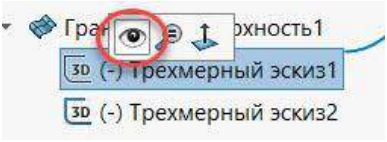


Рисунок 14.27 – Управління ескізами

Якщо зникли ескізи, які використовувалися для створення поверхні, то їх можна відобразити за допомогою команди **«Отобразить/Скрыть»** у дереві побудов (рис. 14.27).

Далі створюємо допоміжні площини для ескізів, щоб зробити більш точну геометрію (рис. 14.28). На виді **«Справа»** будуємо плоскі ескізи на створених площинах, що повторюють форму профілю боковини.

У місцях з'єднання плоского ескізу на площині з 3D-ескізом необхідно задати сполучення **«Точка пронзания»**. Для цього, утримуючи кнопку **«Ctrl»**, вибираємо точку сплайна й необхідний ескіз. Потім у вікні настроювань, що відкрилося, вибираємо параметр **«Точка пронзания»** (рис. 14.29).

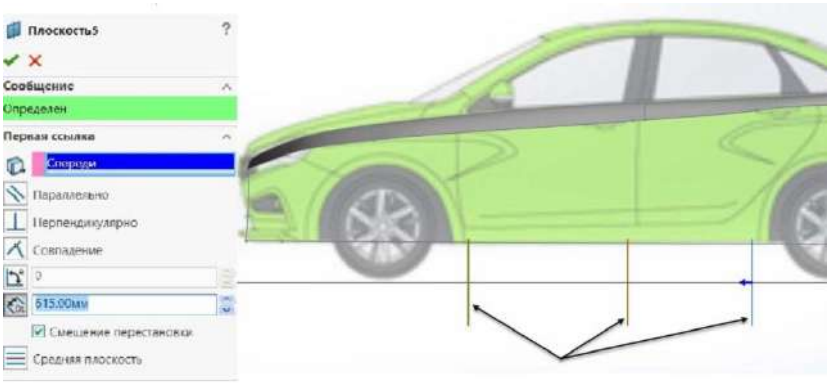


Рисунок 14.28 – Створюємо допоміжні площини для ескізів

Для зручності роботи кожний створений ескіз можна «приховувати», а після створення останнього ескізу знову зробити їх видимими. Далі будуємо другу поверхню (рис. 14.30).

Далі необхідно зшити створені поверхні за допомогою команди **«Поверхность сшить»**, що перебуває у вкладці **«Поверхности»**. Для цього вибираємо поверхні й погоджуємося з настроюваннями (рис. 14.31).

Після того як зшиті поверхні, необхідно візуально перевірити наявність щілин і перетинань, тому що головним критерієм створення твердого тіла за допомогою поверхонь є їхня відсутність. Якщо вони виявлені, то треба виправити ескізи, за допомогою яких створювалися поверхні. Також, якщо вам не

подобається форма створених поверхонь, необхідно її коректувати, наприклад, шляхом створення додаткових ескізів або іншого підходу.

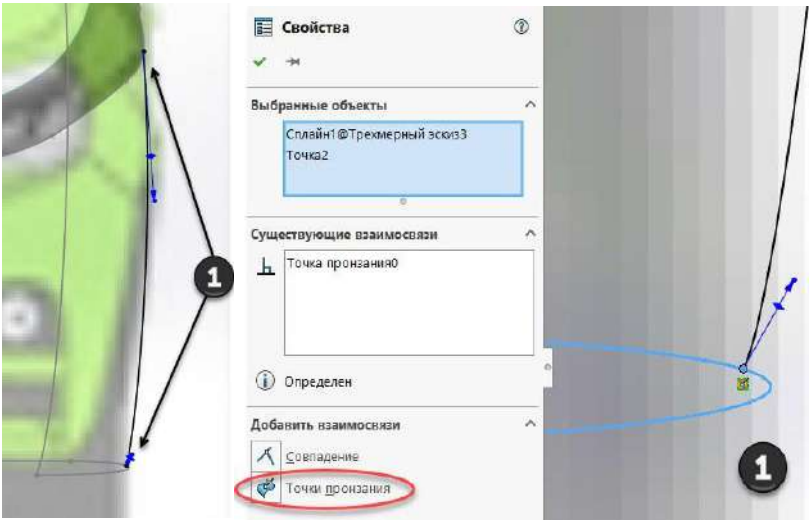


Рисунок 14.29 – Вибираємо параметр «Точка пронзания»

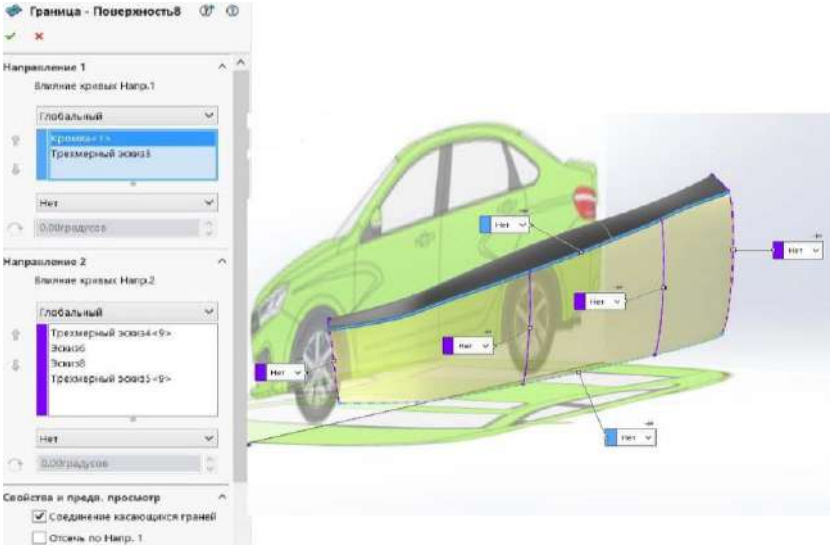


Рисунок 14.30 – Будуємо другу поверхню

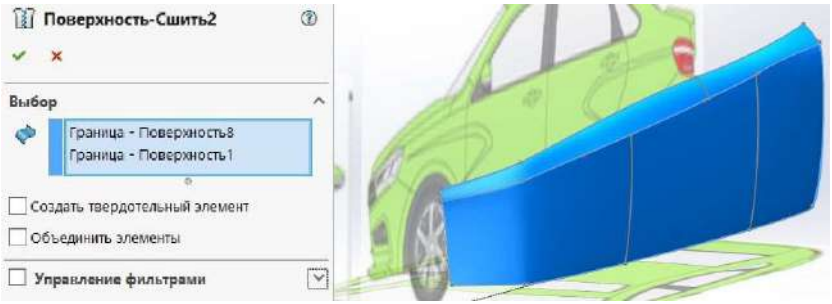


Рисунок 14.31 – Вибираємо поверхні й
погоджуємося з настроюваннями

Рекомендується це робити до того, як поверхні будуть зшиті. Інакше надалі це буде зробити складно або взагалі неможливо через можливості програми. Поверхні зшиваються за умови їх редагування, більші – відразу, а трохи менші – після створення необхідних поверхонь для утворення одного об'єкта. Отже далі ми обрізаємо поверхню: створюємо ескіз на площині **«Справа»** (рис. 14.32).

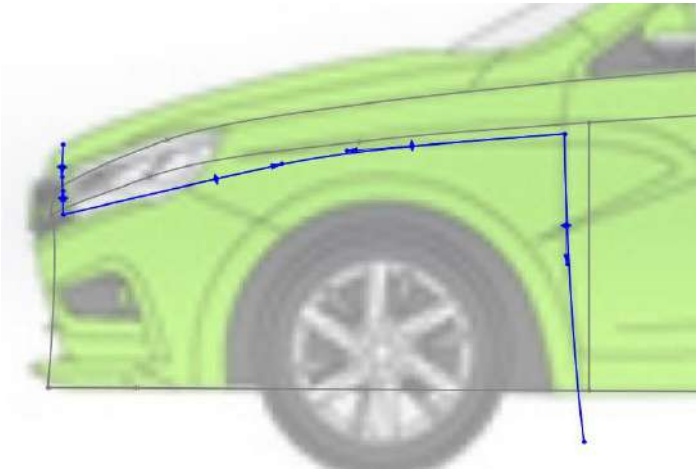


Рисунок 14.32 – Створюємо ескіз на площині «Справа»

Для цього застосуємо команду **«Отсечь поверхность»**. У настроюваннях вибираємо тип відсікання **«Стандарт»**,

інструмент відсікання – раніше створений ескіз. Вибираємо частину поверхні, яку треба вилучити, і погоджуємося з настроюваннями (рис. 14.33).

Створюємо округлення для подальшої зручності проектування командою **«Скругление»** (рис. 14.34). Округлення можна створити тільки на зшитих поверхнях. Аналогічно відтинаємо поверхню задньої частини боковини (рис. 14.35).

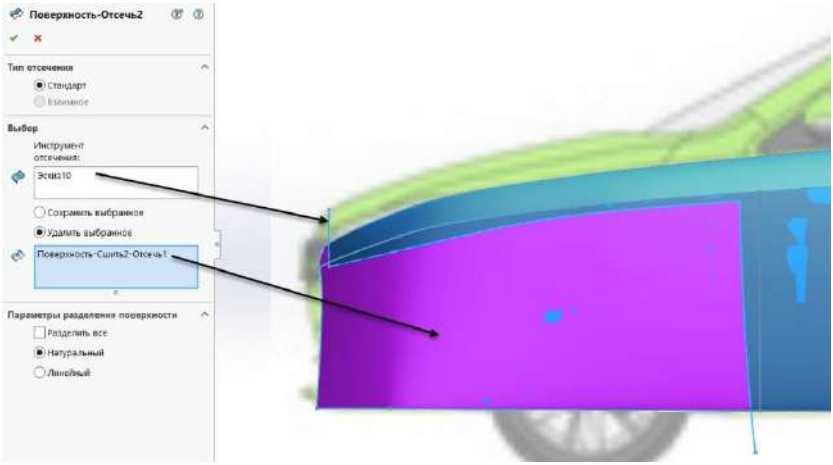


Рисунок 14.33 – Процес відсікання поверхні

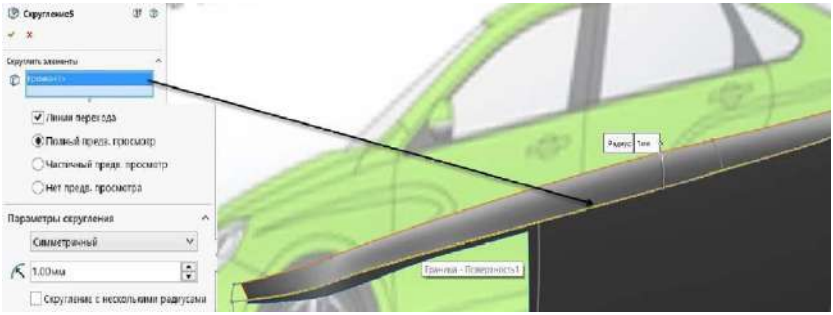


Рисунок 14.34 – Створюємо округлення

Приступаємо до створення капота. Для цього робимо плоский ескіз на площині **«Справа»** (рис. 14.36). Звертаємо вашу увагу на те, що ескіз повинен бути не «тривимірний», а

звичайний і лежати в площині **«Справа»**. Далі створюємо 3D-ескіз (саме «тривимірний ескіз»), один кінець якого збігається з кінцем раніше створеного ескізу.

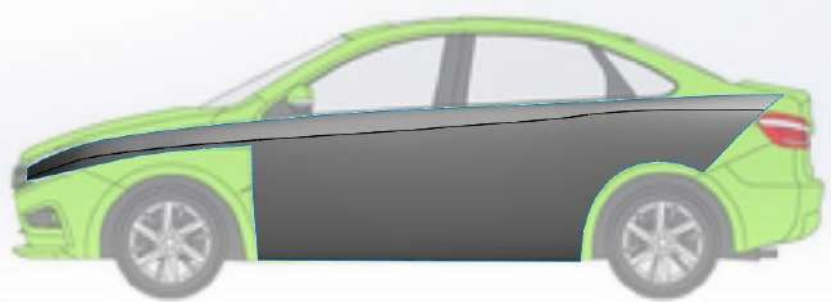


Рисунок 14.35 – Відтинаємо поверхню
задньої частини боковини

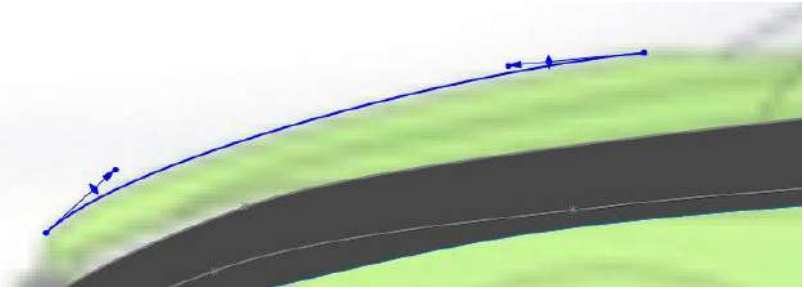


Рисунок 14.36 – Створення капота

Також необхідно задати напрямок вектора із цієї точки по осі **X**, тому що в противному випадку при сполученні двох половин моделі можемо одержати ребро в площині, перпендикулярній осі автомобіля (рис. 14.37). Надалі робимо те саме з усіма ескізами, які сполучаються з ескізами на площині **«Справа»**.

Звертаємо вашу увагу на те, що необхідно перевіряти кожний ескіз після створення одного сплайна, оскільки 2 сплайни в одному ескізі робити неприпустимо. Після цього, за допомогою команди **«Трехмерный эскиз»**, створюємо сплайн, що позначає контур капота (рис. 14.38). Наступним кроком буде створення поздовжніх ребер, вони необхідні для створення правильної форми капота.

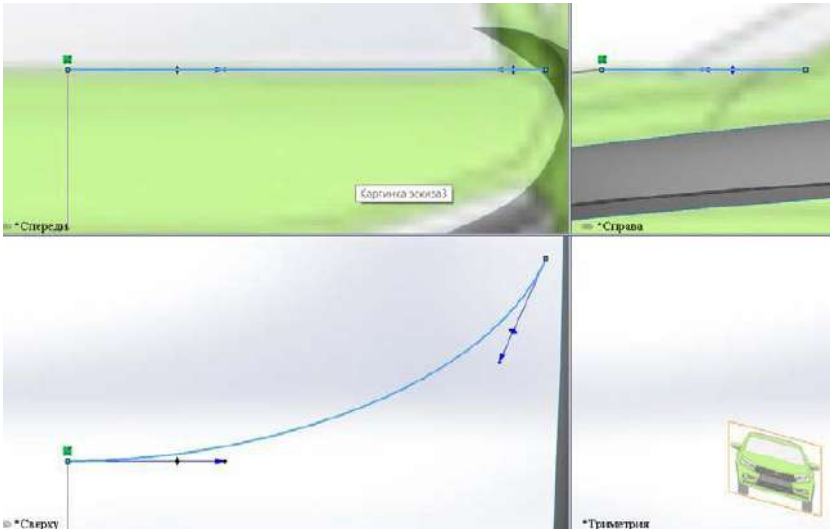


Рисунок 14.37 – Ребро в площині перпендикулярній осі автомобіля

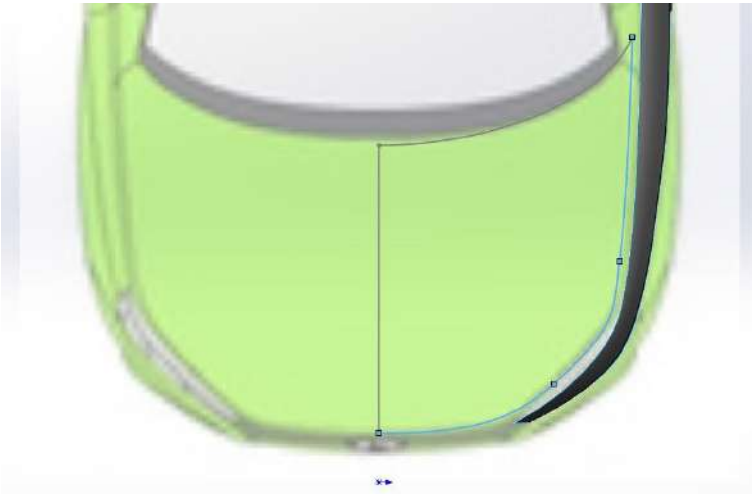


Рисунок 14.38 – Створюємо сплайн що позначає контур капота

Для цього вибираємо команду **«Трехмерный эскиз»** і проводимо два сплайни (рис. 14.39). На виді **«Справа»** задаємо їм необхідну висоту (рис. 14.40) за допомогою команди **«Переместить объекты».**

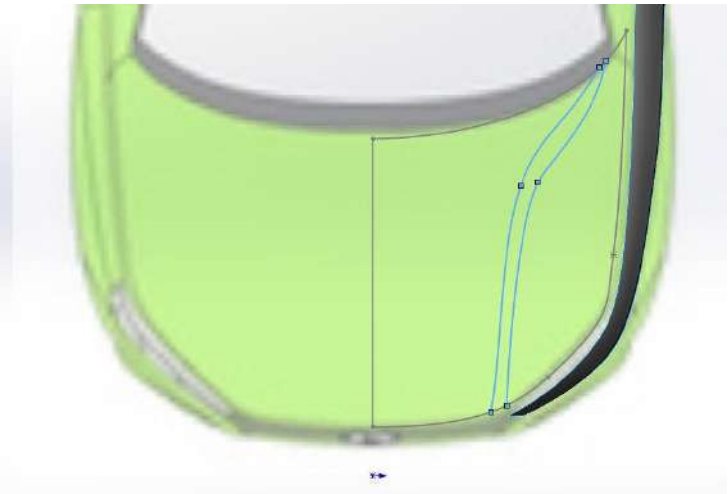


Рисунок 14.39 – Створення поздовжніх ребер

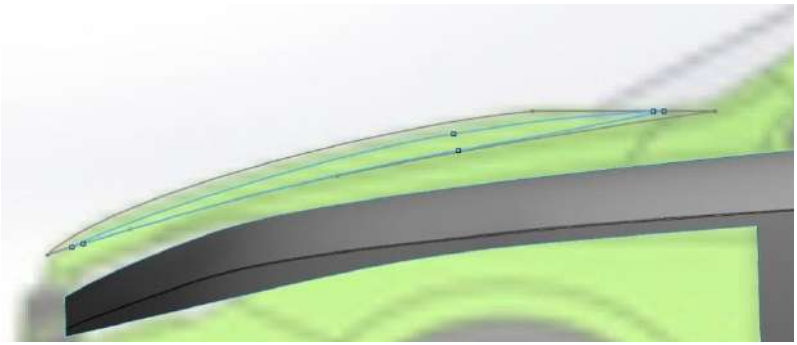


Рисунок 14.40 – Задаємо необхідну висоту сплайнів

При створенні наступного ескізу застосуємо команду **«Трехмерный эскиз» – «Преобразование объекта»**. Для цього виділяємо потрібний 3D-ескіз і погоджуємося з перетворенням (рис. 14.41). Далі створюємо відрізок із точки, як показано на рис. 14.42. Відтинаємо непотрібну частину й допоміжний відрізок і одержуємо потрібний нам ескіз (рис. 14.43).

Аналогічно робимо з іншою частиною ескізу (рис. 14.44). Після цього створюємо 2 поперечні сплайни за допомогою команди **«Трехмерный эскиз»** (рис. 14.45).

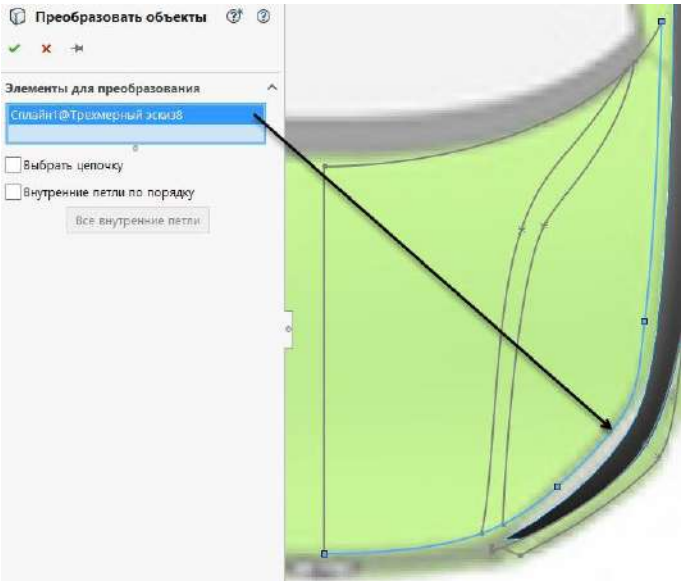


Рисунок 14.41 – Застосуємо команду «Тривимірний ескіз»

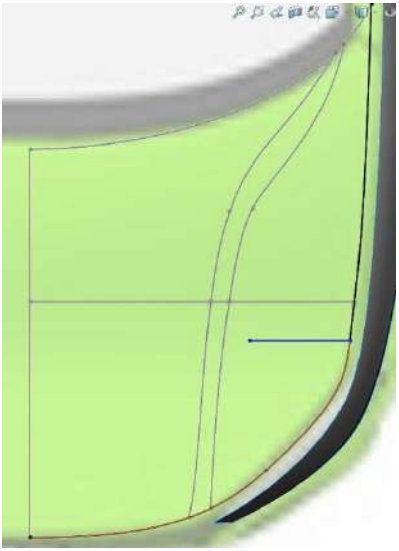


Рисунок 14.42 – Створюємо відрізок із точки



Рисунок 14.43 – Відтинаємо непотрібну частину

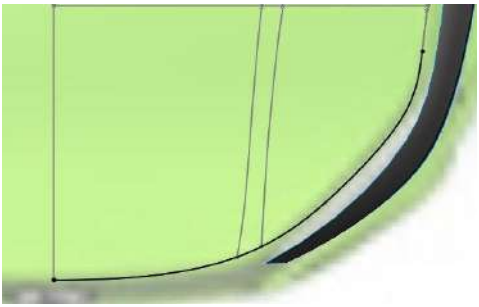


Рисунок 14.44 – Операції з другою частиною ескізу

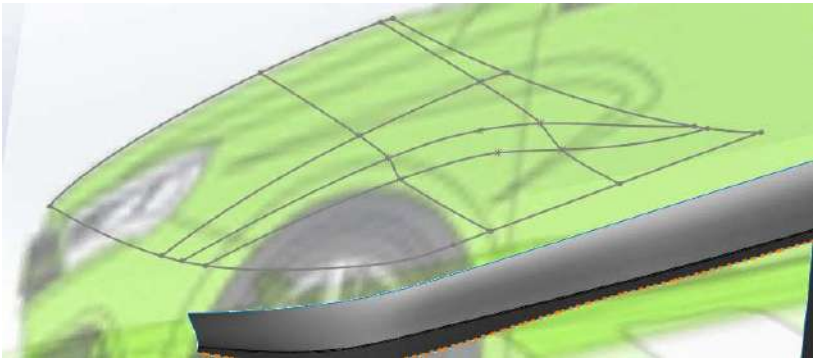


Рисунок 14.45 – Створюємо 2 поперечні сплайни

При створенні поверхні необхідно вибрати ескіз, що розміщений на площині **«Справа»**, і задати команду **«Направление вектора».** У властивостях, що відкрилися, вибираємо площину **«Справа»** і пересуваємо курсор на значення, що дозволяє виключити крайку в середній частині капота (рис. 14.46). Це необхідно для рівного стику при відбитті готової частини кузова. Якщо вам не подобається, як сполучаються половини, то змініть значення впливу торкання. За допомогою інструмента **«Отсечь поверхность»**, відтинаємо поверхні, як показано на рис. 14.47, 14.48.

У наступному ескізі побудуємо сплайн: застосуємо команду **«Одинаковая кривизна»**, виділивши за допомогою кнопки **«Ctrl»** два сплайна, щоб створюваний сплайн був продовженням сплайна 1 (рис. 14.50, 14.51).

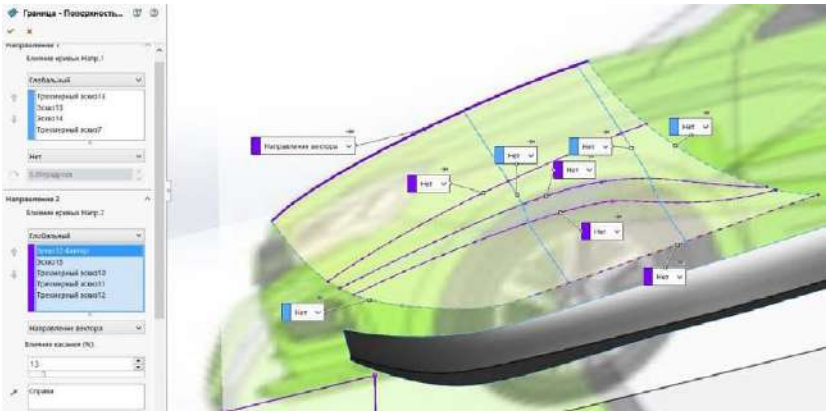


Рисунок 14.46 – Виключаємо крайку в середній частині капота

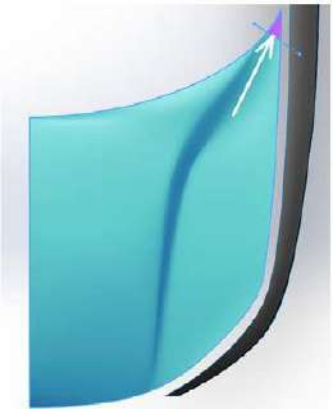


Рисунок 14.47 – Відтинаємо поверхні

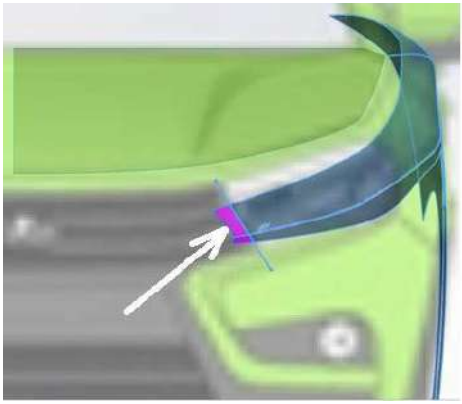


Рисунок 14.48 – Відтинаємо поверхні

При створенні поверхні (команда **«Поверхность границы»**) між боковиною і капотом нам знадобиться **«Selection Manager»**. Для його виклику натискаємо правою кнопкою миші на область **«Направление 2»** (рис. 14.52). У вікні, що з'явилося, натискаємо **«Поэлементный выбор»** (рис. 14.53). Далі вибираємо зазначені ескізи й натискаємо **Ок** (рис. 14.54).

Аналогічно створюємо напрямні частини капота за допомогою інструмента **«Поверхность границы»** і

погоджуємося з настроюваннями (рис. 14.55).

При цьому в налаштуваннях меню слід вибрати пункт **«Отсечь по Напр.1»**. Після застосування настроювань повинна вийти відповідна поверхня капота (рис. 14.56).

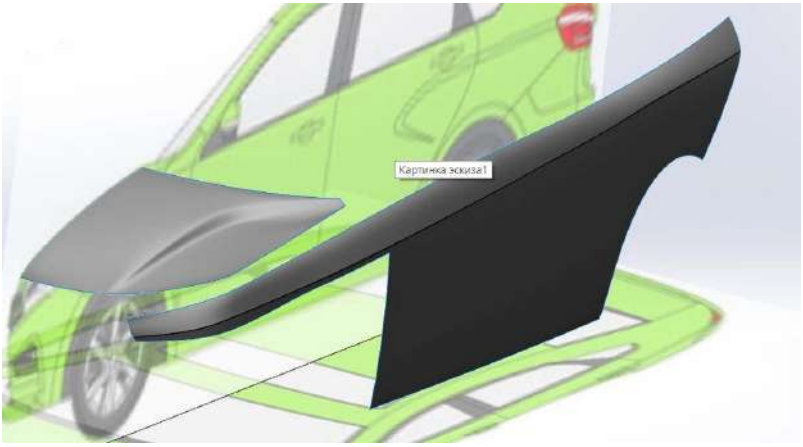


Рисунок 14.49 – Створення поверхні

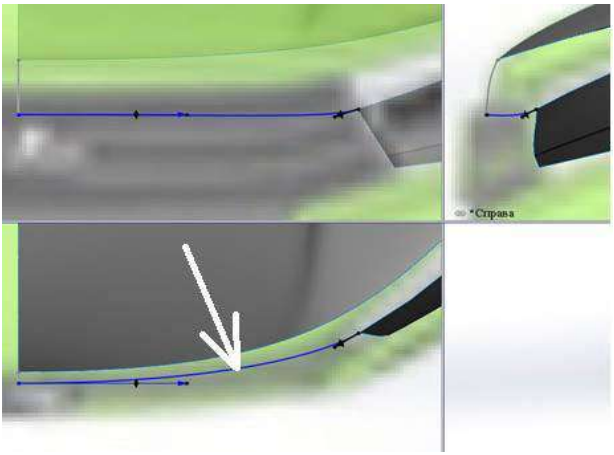


Рисунок 14.50 – Створення сплайну

Отже далі за допомогою розглянутих інструментів і методик побудов, створюємо поверхні, представлені рисунках 14.57-14.60.

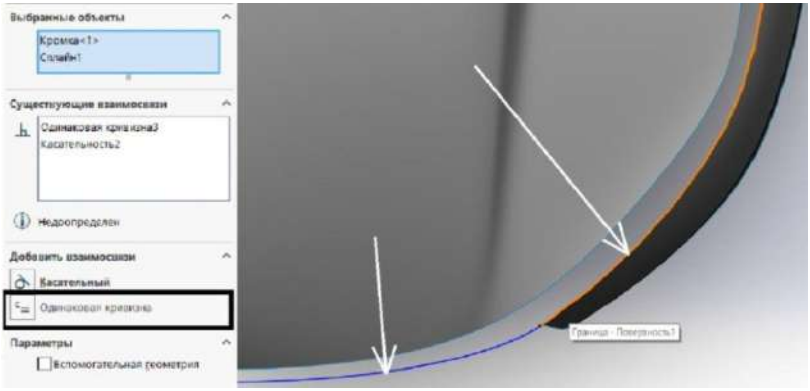


Рисунок 14.51 – Створення сплайну

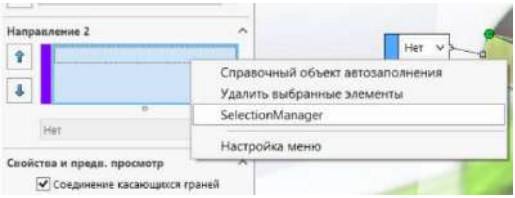


Рисунок 14.52 – Виклик «Selection Manager»



Рисунок 14.53 – Пункт «Поэлементный выбор»

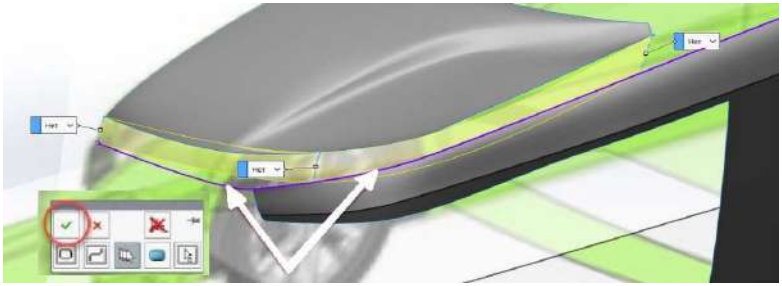


Рисунок 14.54 – Вибираємо зазначені ескізи

За допомогою інструмента **«Отсечь поверхность»** відтинаємо поверхню, показану на рис. 14.61. Далі створюємо наступні поверхні, як показано на рисунках за допомогою інструментів, описаних раніше:

- рис. 14.62 – «Поверхность границы»;

- рис. 14.63 – «Отсечь поверхность»;
- рис. 14.64 – «Поверхность границы» і «Сшить»;
- рис. 14.65 – «Отсечь поверхность».

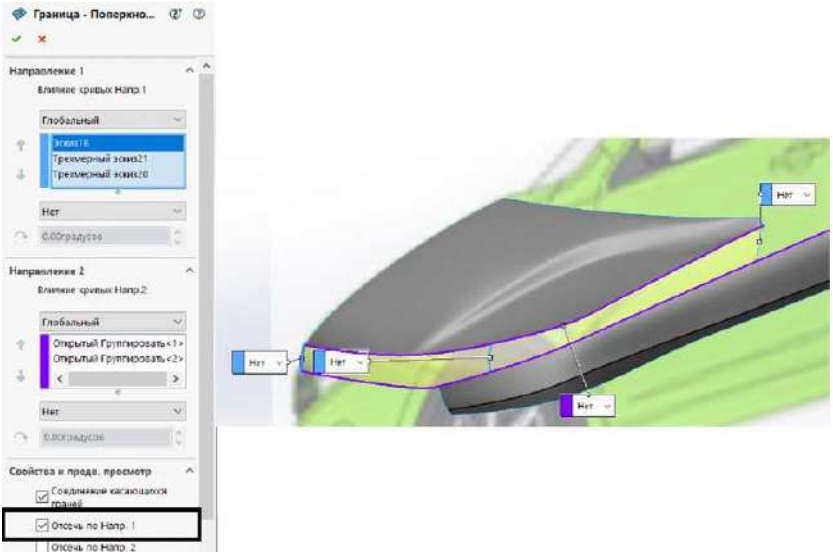


Рисунок 14.55 – Створюємо напрямні частини капота

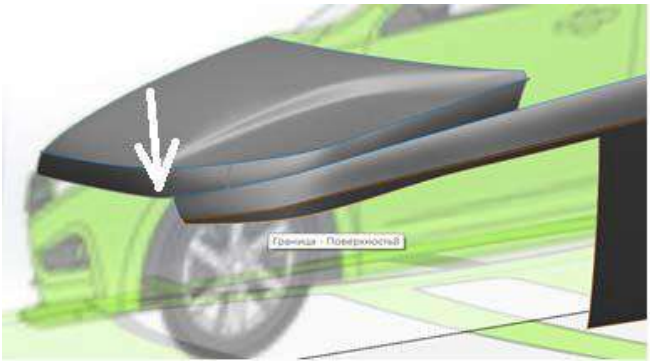


Рисунок 14.56 – Створена поверхня капота

Для створення поверхні, яку утворює фара, застосуємо інструмент **«Поверхность по сечениям»**. Воно полягає у виборі профілів і напрямних, по яких профілі будуть з’єднуватися (рис. 14.66).



Рисунок 14.57 – Будуємо арку

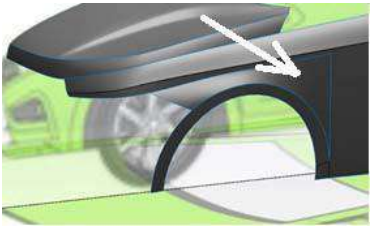


Рисунок 14.58 – Зшиваємо поверхні

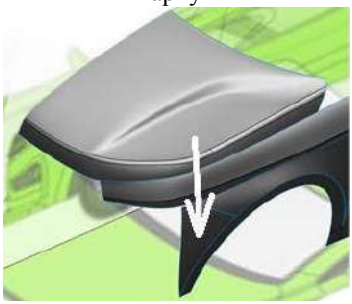


Рисунок 14.59 – Використовуємо інструмент «Скруглить»

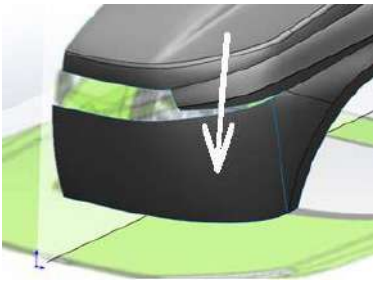


Рисунок 14.60 – Використовуємо інструменти «Поверхность границы» і «Сшить»



Рисунок 14.61 – Відтинаємо поверхню інструментом «Отсечь поверхность»

Для створення витягнутих поверхонь використовуються безперервні ескізи, тобто ескіз, що складається з окремих частин, об'єднаних в одне ціле. Для цього застосуємо команду **«Преобразовать объекты»**. Вибираємо потрібні ескізи (рис. 14.67).

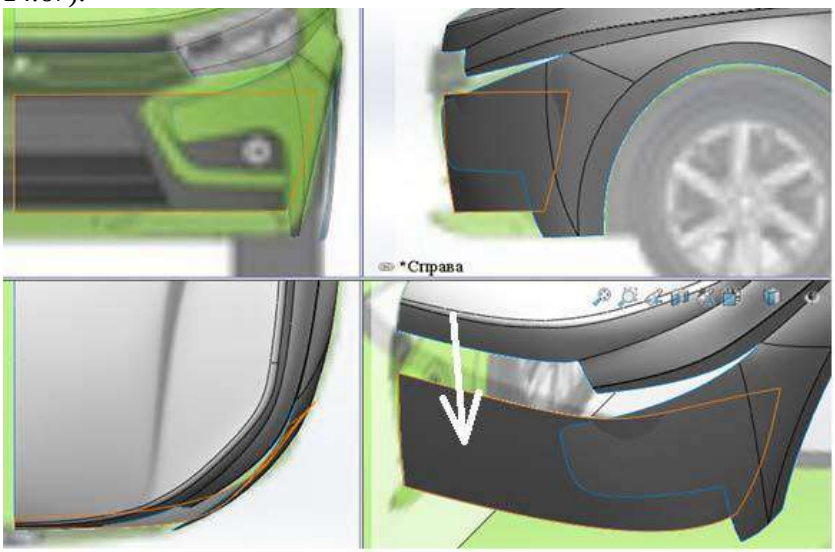


Рисунок 14.62 – Використання
інструменту «Поверхность границы»

Потім за допомогою команди **«Разместить сплайн»**, що перебуває в параметрах сплайна, поєднуємо раніше перетворені ескізи в одне ціле. У вікні **«Параметры»** вибираємо **«Ограниченный»**, у полі **«Допуск»** – значення порядку тисячних (рис. 14.68). Вибираємо ескіз і вказуємо площину, щодо якої треба витягнути поверхню, і задаємо відстань витягування.

У цьому випадку – це площина **«Спереди»** (рис. 14.69). Використовуємо даний ескіз для створення поверхні й застосуємо інструмент **«Вытянуть поверхность».**

Далі створюємо **«Эскиз»** на площині **«Сверху»** (рис. 14.70) і за допомогою інструмента **«Вытянутая поверхность»** створюємо поверхню (рис. 14.71). Видаляємо непотрібні частини шляхом взаємного відсікання поверхонь.

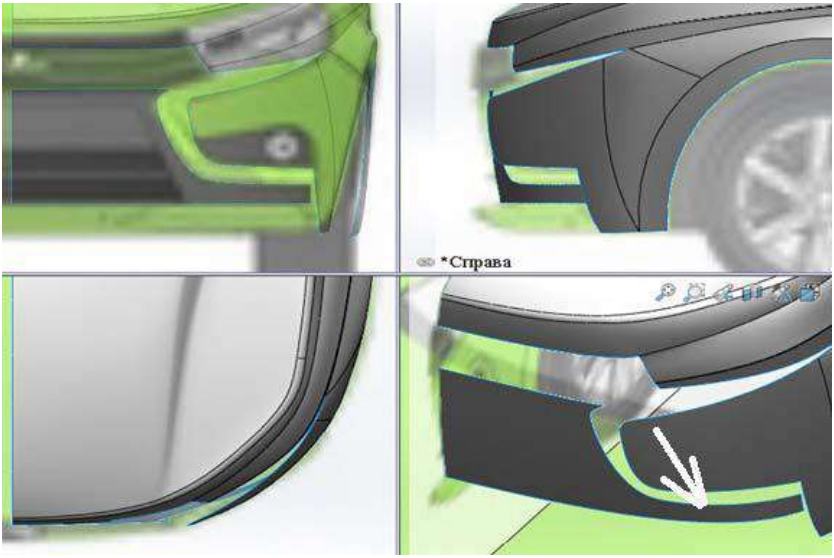


Рисунок 14.63 – Використання
інструменту «Отсечь поверхность»

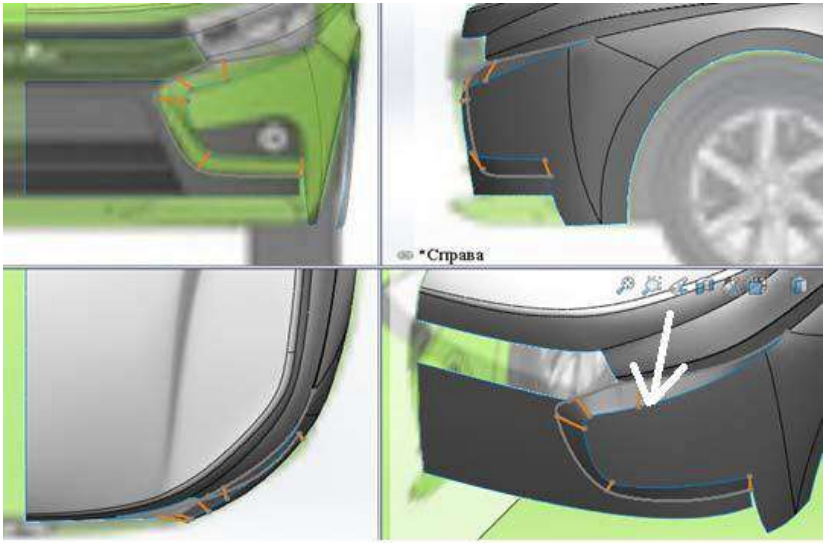


Рисунок 14.64 – Використання
інструменту «Поверхность границы»

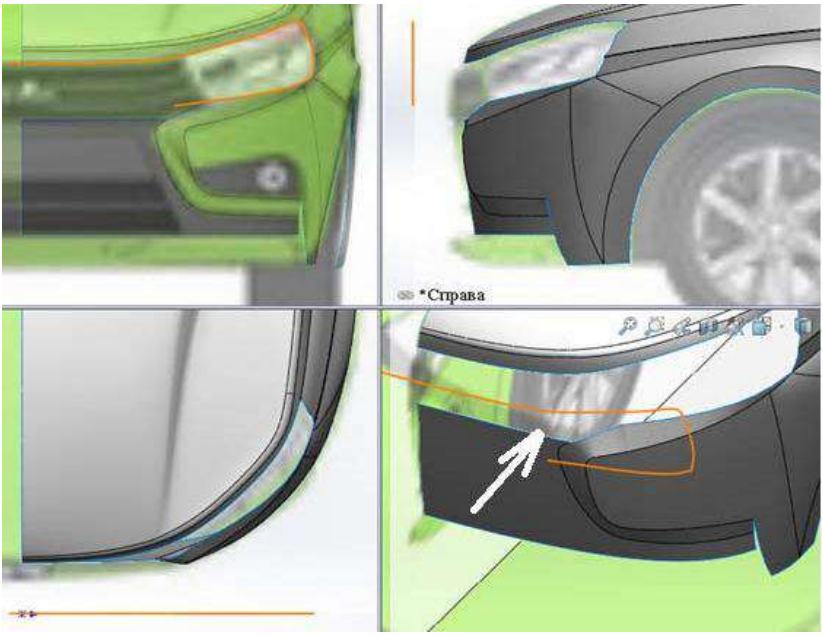


Рисунок 14.65 – Використання інструменту «Отсечь поверхность»

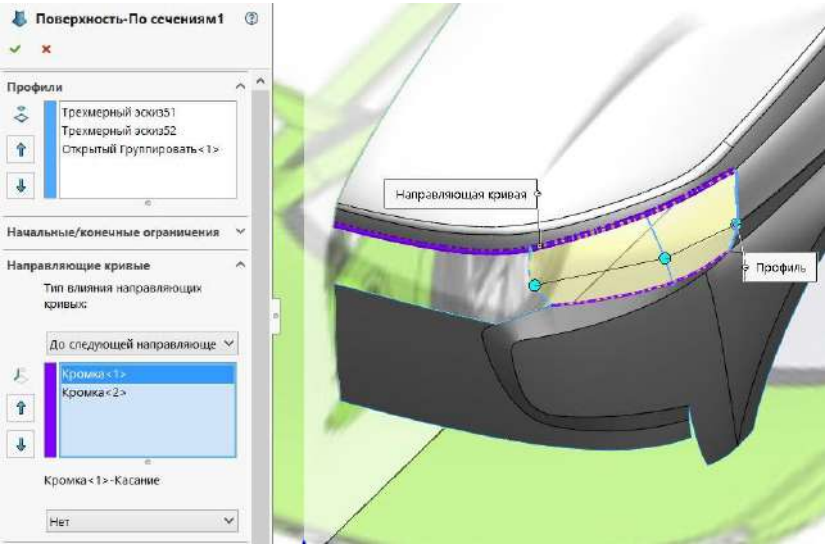


Рисунок 14.66 – Створення поверхні, яку утворює фара

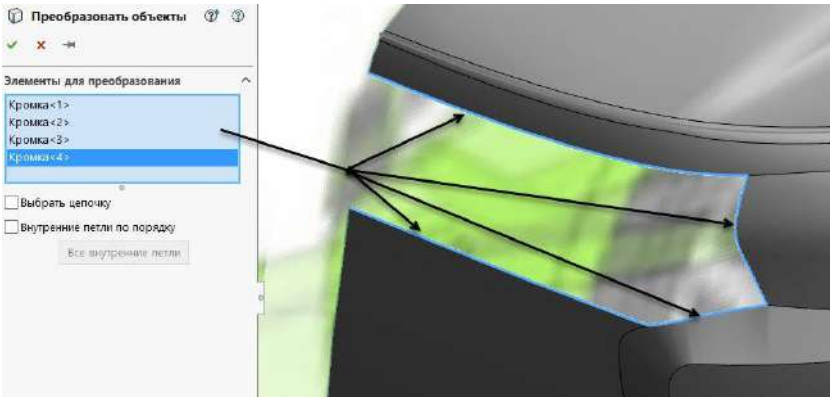


Рисунок 14.67 – Вибираємо потрібні ескізи

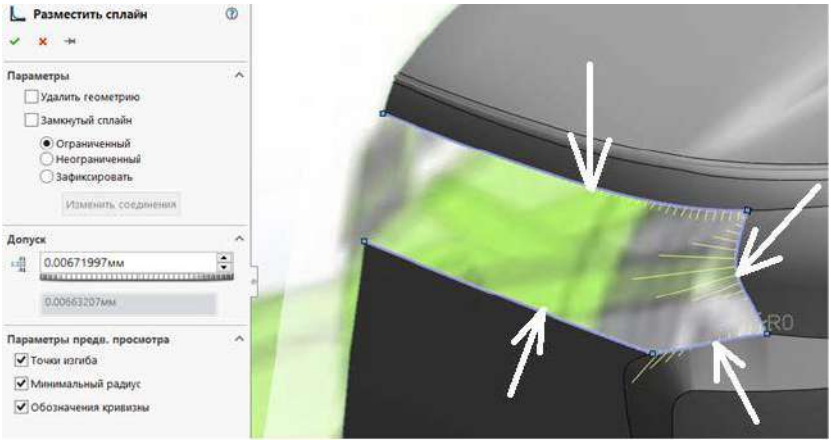


Рисунок 14.68 – Поєднуємо раніше перетворені ескізи в одне ціле

У настроюваннях вибираємо **«Тип отсечения»** – **«Взаимное»**, у графі **«Поверхности»** вибираємо обидві поверхні (рис. 14.72). Залишені частини відтинаємо ескізом, створеним на площині **«Спереди»** із центром координат уздовж осі **Y** (рис. 14.73).

Поверхні лобового й заднього стекол, даху й багажника створюються за допомогою декількох утворюючих ескізів на додаткових площинах для досягнення більш високої точності поверхонь (рис. 14.74).

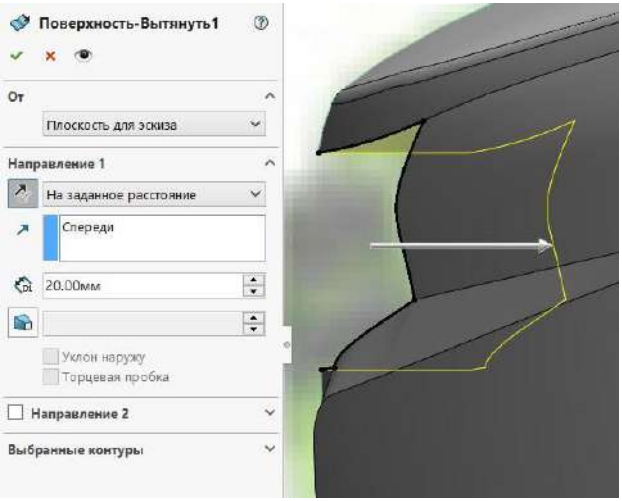


Рисунок 14.69 – Вказуємо площину і задаємо відстань витягування

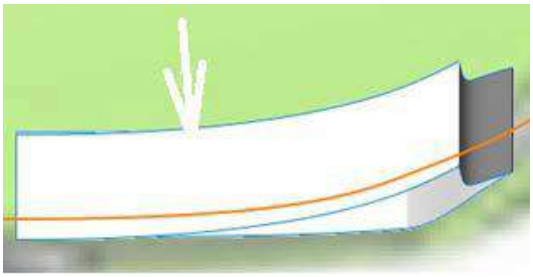


Рисунок 14.70 – Створюємо «Эскиз»
на площині «Сверху»

Для побудови поверхонь бічних стекол скористаємося раніше створеними ескізами (інструмент **«Поверхность границы»**) (рис. 14.75). Місце переходу капота в стійку є проблемним, тому його бажано створювати окремо (рис. 14.76). Далі заповнюємо простір між капотом і лобовим склом за допомогою інструмента **«Заполнить поверхность»** (рис. 14.77).

Далі за допомогою розглянутих команд створюємо поверхні, наведені на наступних рисунках, використовуючи вказані інструменти:

- рис. 14.78 – «Поверхность границы» і «Сшить»;

- рис. 14.79 – «Отсечь поверхность»;
- рис. 14.80 – «Поверхность границы» і «Сшить» для того, щоб з'єднати всі створені елементи;
- рис. 14.81 – «Поверхность границы»;
- рис. 14.82, 14.83 – «Поверхность границы» і «Сшить»;
- рис. 14.84 – «Отсечь поверхность»;
- рис. 14.85 – «Поверхность границы»;
- рис. 14.86, 14.87 – один і той самий елемент, «Поверхность границы»;
- рис. 14.88 – «Вытянуть поверхность»;
- рис. 14.89 – «Поверхность границы»;
- рис. 14.90 – «Поверхность границы».

Для того щоб створити поверхню між декількома поверхнями, скористаємося інструментом **«Заполнить поверхность»**. Ця команда дозволяє створити поверхню в замкненому контурі. Для цього вибираємо грані та ескіз на площині праворуч, які будуть границею для майбутньої поверхні, і ставимо позначки біля потрібних параметрів (рис. 14.91).

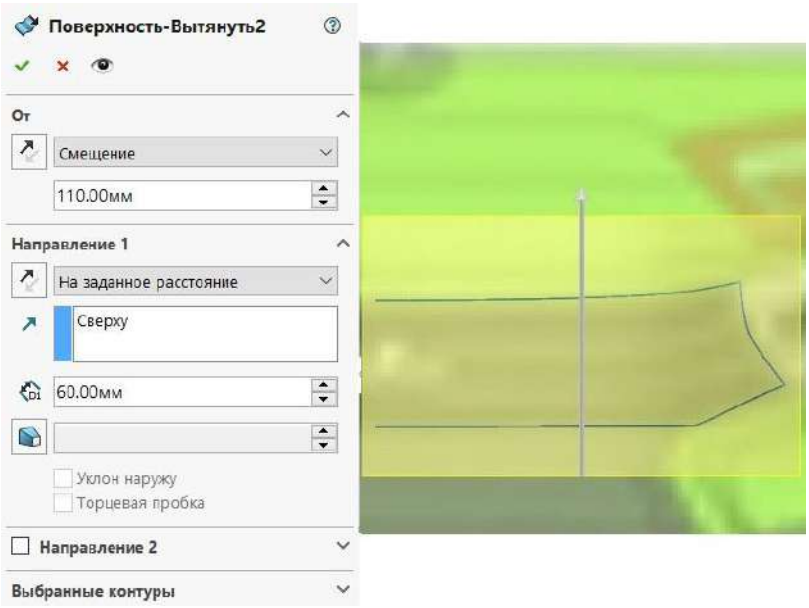


Рисунок 14.71 – Створюємо поверхню за допомогою інструмента «Вытянутая поверхность»

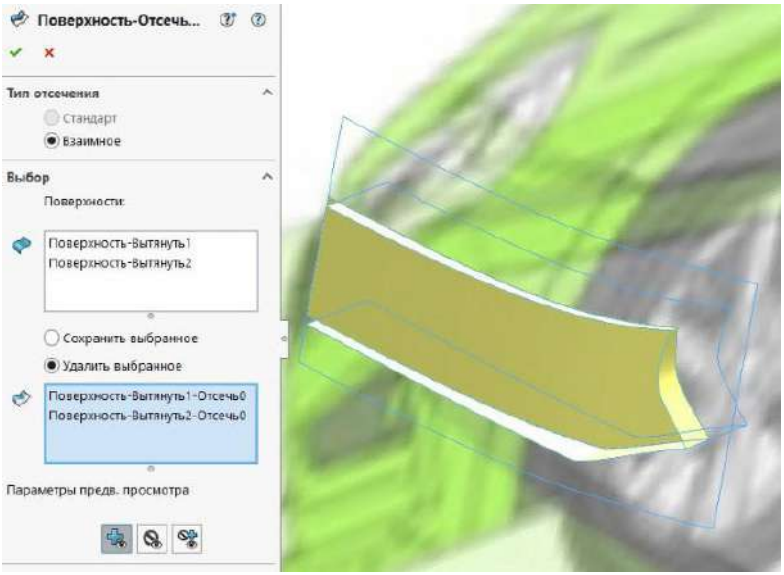


Рисунок 14.72 – Видаляємо непотрібні частини

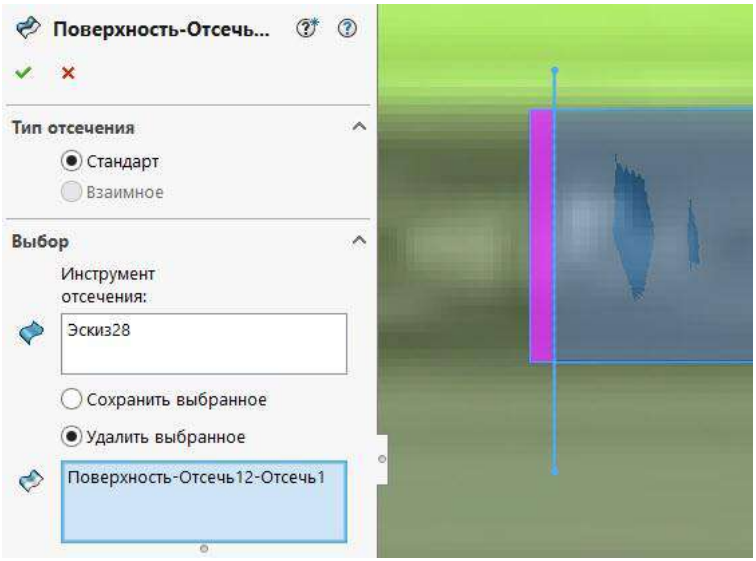


Рисунок 14.73 – Залишені частини відтинаємо ескізом

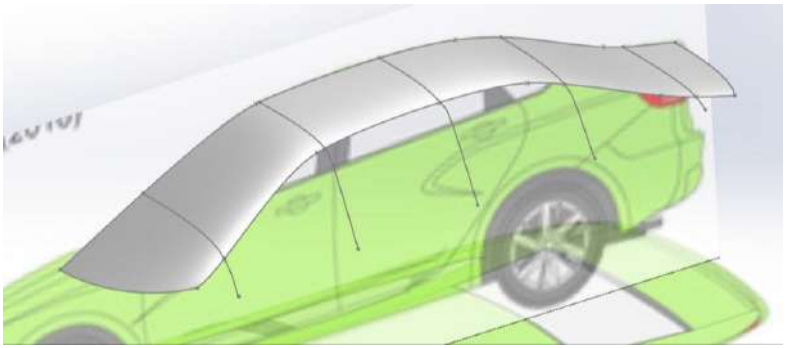


Рисунок 14.74 – Поверхні лобового й заднього
стекол, даху й багажника

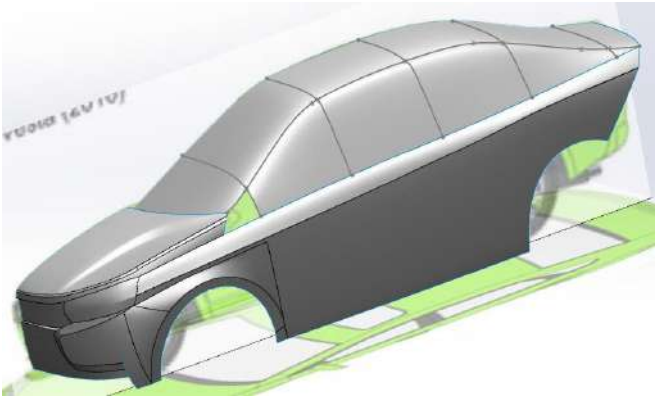


Рисунок 14.75 – Побудова поверхонь бічних стекол

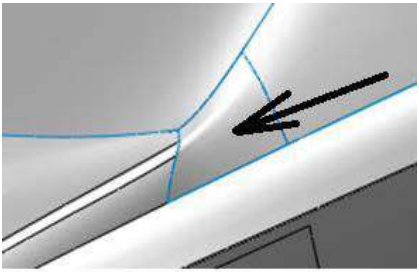


Рисунок 14.76 – Місце
переходу капота в стійку

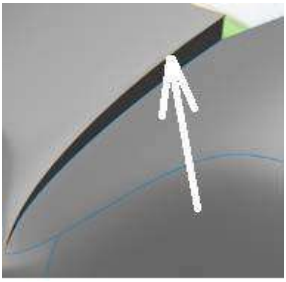


Рисунок 14.77 – Простір
між капотом
і лобовим склом



Рисунок 14.78 – Використання інструменту «Поверхность границы»

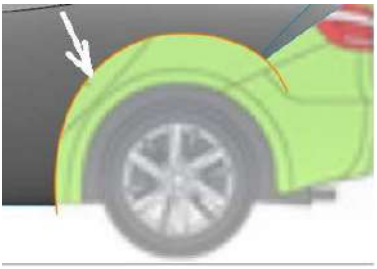


Рисунок 14.79 – Використання інструменту «Отсечь поверхность»

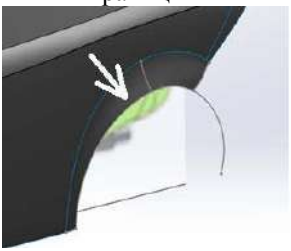


Рисунок 14.80 – Використання інструменту «Сшить»

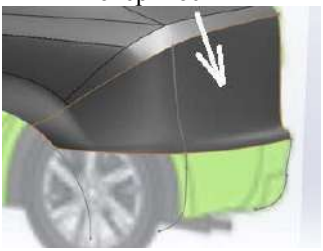


Рисунок 14.81 – Використання інструменту «Поверхность границы»

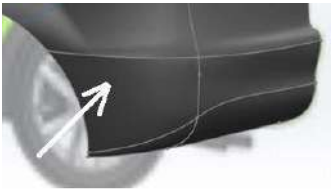


Рисунок 14.82 – Використання інструменту «Поверхность границы»

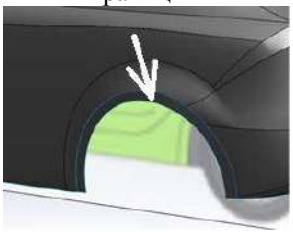


Рисунок 14.83 – Використання інструменту «Сшить»



Рисунок 14.84 – Використання інструменту «Отсечь поверхность»



Рисунок 14.85 – Використання інструменту «Поверхность границы»



Рисунок 14.86 – Використання інструменту «Поверхность границы»

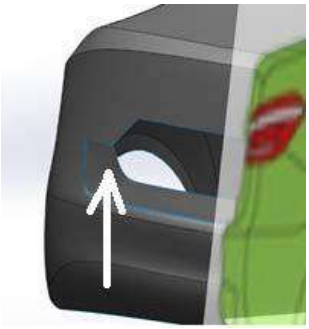


Рисунок 14.87 – Використання інструменту «Поверхность границы»



Рисунок 14.88 – Інструмент «Вытянуть поверхность»



Рисунок 14.89 – Використання інструменту «Поверхность границы»

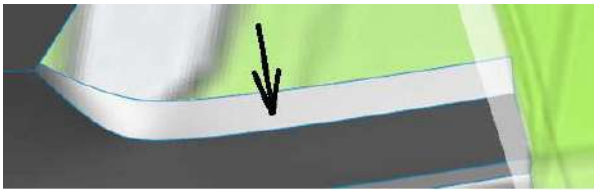


Рисунок 14.90 – Використання інструменту «Поверхность границы»

Далі створюємо поверхні для утворення переднього бампера, застосовуючи розглянуті раніше інструменти, як показано на наступних рисунках:

- рис. 14.92 – «Поверхность по сечениям» і «Сшить»;
- рис. 14.93 – «Отсечь поверхность»;

- рис. 14.94 – «Вытянуть поверхность»;
- рис. 14.95 – «Отсечь поверхность»;
- рис. 14.96 – «Заполнить поверхность».

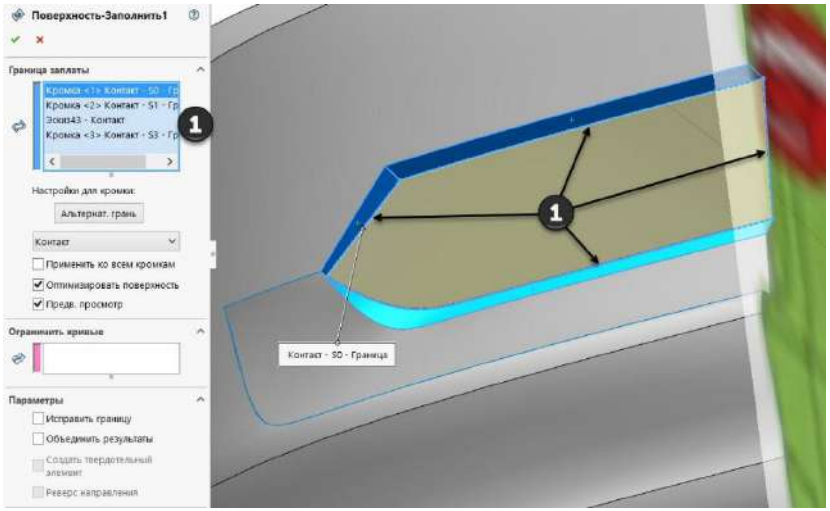


Рисунок 14.91 – Вибираємо грані
та ескіз на площині праворуч



Рисунок 14.92 – Використання
інструменту «Сшить»

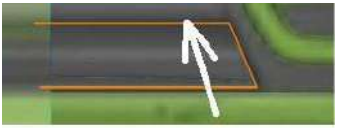


Рисунок 14.93 – Використання
інструменту «Отсечь
поверхность»



Рисунок 14.94 – Використання
інструменту «Вытянуть
поверхность»



Рисунок 14.95 – Використання
інструменту «Отсечь
поверхность»



Рисунок 14.96 – Використання
інструменту «Заполнить поверхность»

Для створення поверхні кришки багажника нам необхідно вилучити частину поверхні. Скористаємося командою **«Разделяющая линия»**. За її допомогою спроектуємо ескіз, створений на площині **«Спереди»**, на поверхню кришки багажника. Для цього вибираємо ескіз і потрібну поверхню (рис. 14.97).

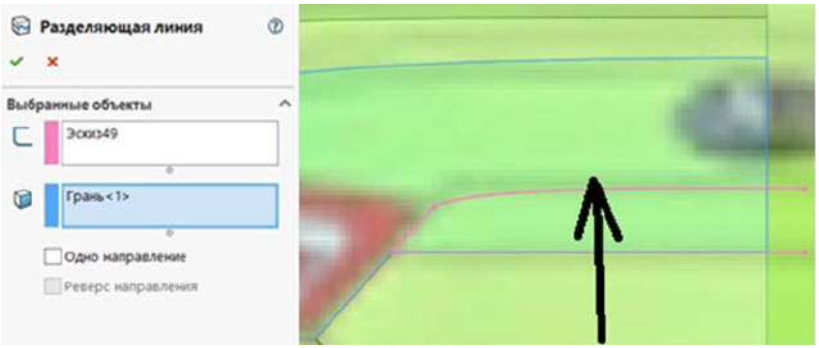


Рисунок 14.97 – Створення поверхні кришки багажника

Потім видаляємо поверхню що утворилася, за допомогою команди **«Удалить грань»** (вкладка **«Поверхности»**), яка дозволяє вилучити не всю поверхню, а тільки потрібну нам грань (рис. 14.98). На рис. 14.99 показано те, що повинно вийти в результаті видалення.

Потім за допомогою інструментів **«Эскиз»** і **«Поверхность границы»** надаємо потрібну форму наступним поверхням, як показано на рис. 14.100 – 14.102. Після цього, використовуючи інструмент **«Сшить»**, зшиваємо всі створені поверхні.

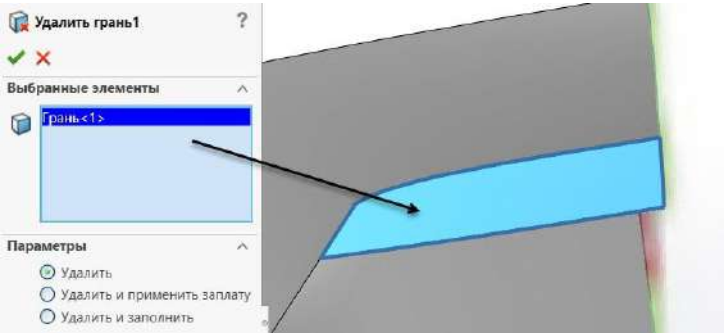


Рисунок 14.98 – Видаляємо утворену поверхню

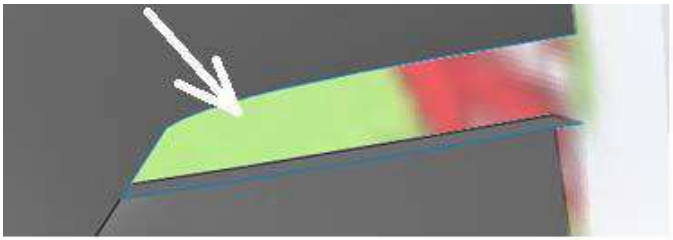


Рисунок 14.99 – Результат видалення поверхні

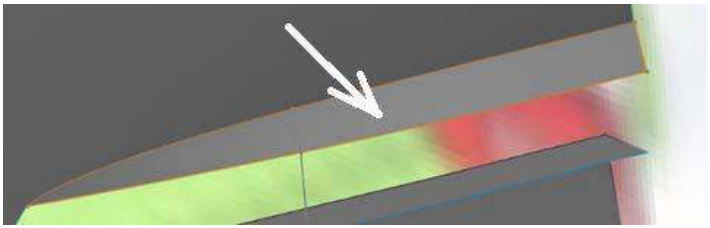


Рисунок 14.100 – Надаємо потрібну форму поверхням

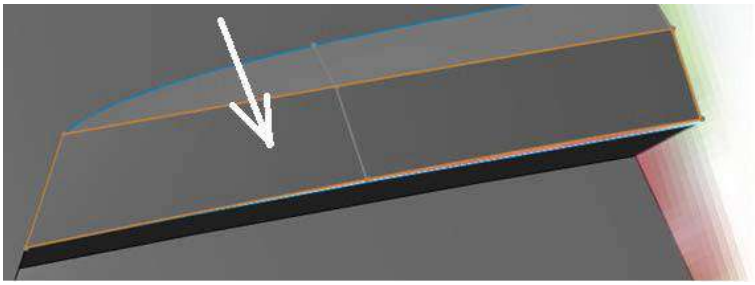


Рисунок 14.101 – Використання інструменту «Поверхность границы»



Рисунок 14.102 – Використання інструменту «Сшить»

Для створення заднього скла відтинаємо частину поверхні й створюємо потрібну нам форму, як показано на наступних рисунках:

- рис. 14.103, і 14.104 – за допомогою інструмента **«Отсечь поверхность»** відтинаємо зону заднього скла;
- рис. 14.105 – використовуємо інструмент **«Поверхность границы»;**
- рис. 14.106 – використовуємо інструменти **«Поверхность границы»** і **«Сшить».**

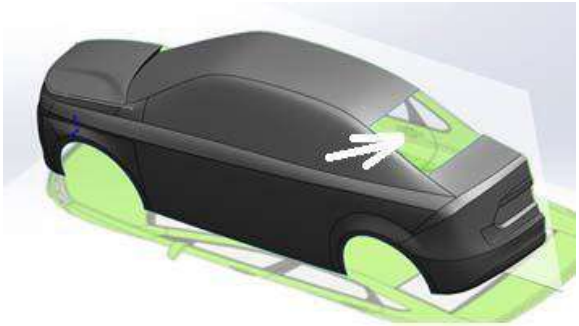


Рисунок 14.103 – Процес створення заднього скла

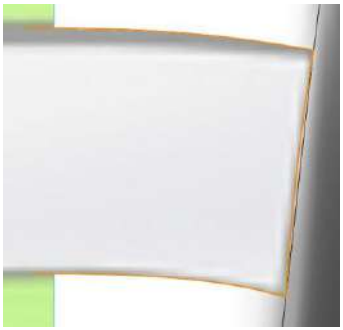


Рисунок 14.104 – Відтинаємо частину поверхні



Рисунок 14.105 – Використовуємо інструмент «Поверхность границы»

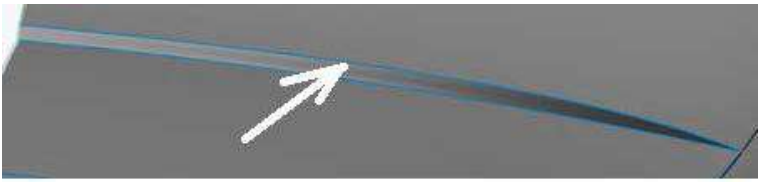


Рисунок 14.106 – Застосовуємо інструменти
«Поверхня границі» і «Сшить»

Для того щоб зробити скло й накладки, користуємося командою **«Разделяющая линия»**. Для зручності приховуємо все, що створили до цього. Створюємо **«Эскиз»** (рис.14.107), після чого відображаємо раніше сховану частину і вибираємо поверхню зони вікон. Аналогічно робимо з накладками (рис. 14.108). Після цього порівнюємо свій результат з тим, що повинно вийти в результаті, на рис. 14.109.



Рисунок 14.107 – Створюємо «Эскиз»
і вибираємо поверхню зони вікон

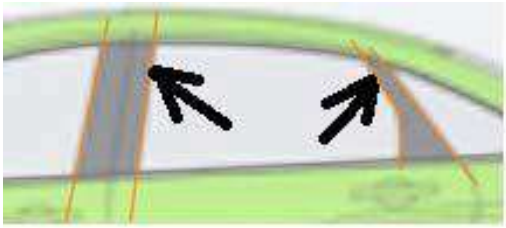


Рисунок 14.108 – Створюємо накладки вікон

Щоб змістити скло й накладки усередину автомобіля, скористаємося командою **«Сместить поверхность»**. Вона дозволяє скопіювати поверхню й перемістити на потрібну відстань по нормалі до кожної точки поверхні. Для цього вибираємо потрібні грані й указуємо відстань зсуву 0,3 мм для

накладок і 0,5 мм для скла. Після зсуву видаляємо первинні поверхні (рис. 14.110, рис. 14.111).

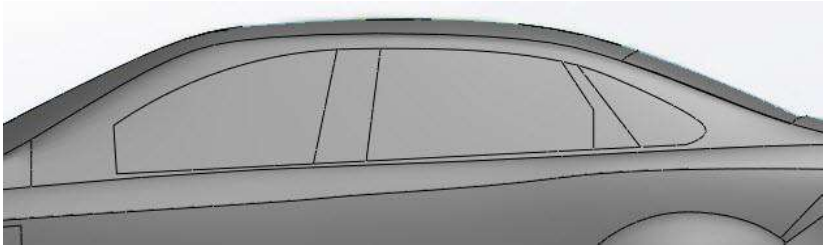


Рисунок 14.109 – Результат створення скла і накладок

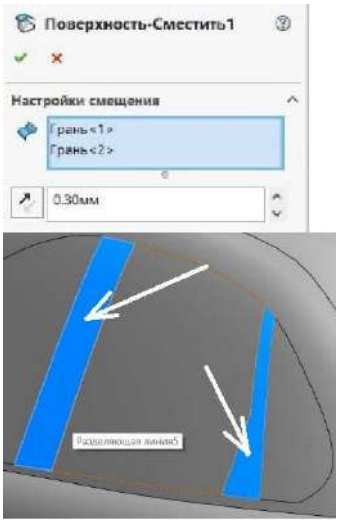


Рисунок 14.110 – Вибираємо потрібні грані для зсуву

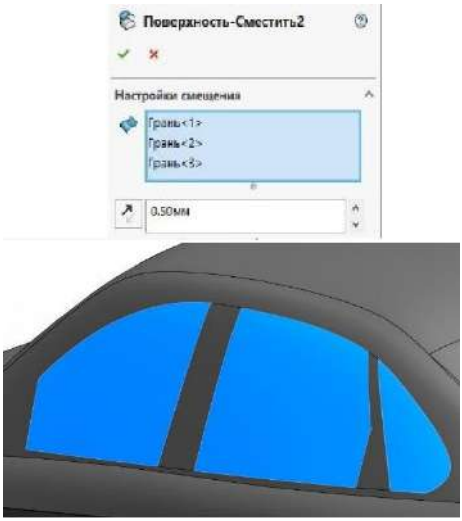


Рисунок 14.111 – Видаляємо первинні поверхні

Після зсуву скла і накладок необхідно заповнити порожнечі інструментом **«Поверхность по сечениям»**. Уважно вибирайте грані, тому що їх багато. Тому керуємося правилом «одна грань – одна поверхня» (рис. 14.112). Не вибирайте відразу всі грані. Перед тем як зшивати створені поверхні, переконайтеся, що всі порожнечі заповнені. Створюємо поверхню, що збігається із площиною **«Справа»**, як показано на рис. 14.113. Далі створюємо

ескіз, і за його допомогою витягуємо поверхню днища до площини **«Справа»** (рис. 14.114).

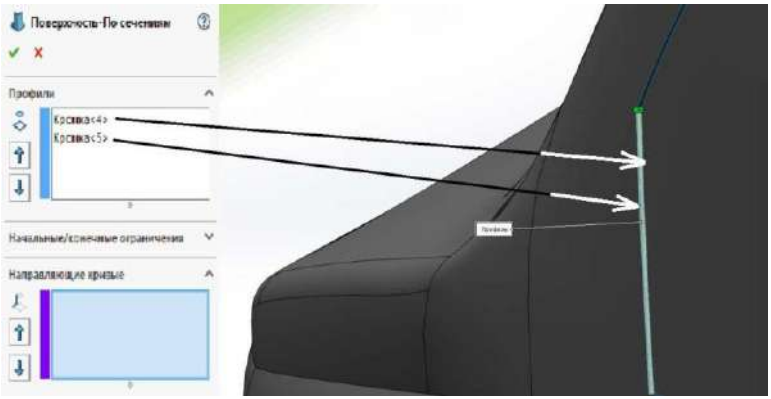


Рисунок 14.112 – Заповнення порожнечі
після зсуву скла і накладок



Рисунок 14.113 – Створюємо поверхню

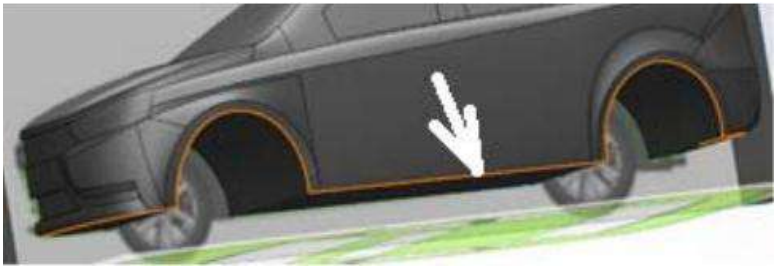


Рисунок 14.114 – Витягуємо поверхню днища

Потім відтинаємо зовнішню частину поверхні, яка лежить у площині **«Справа»**. Повинно вийти замкнене тіло (рис. 14.115).

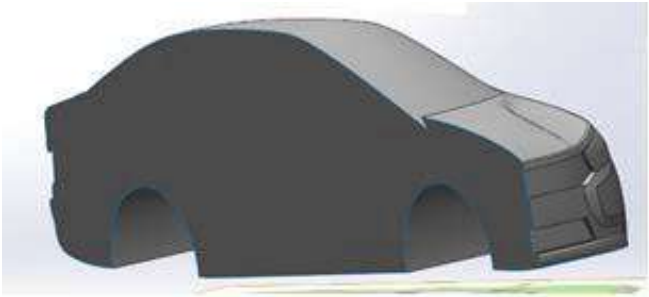


Рисунок 14.115 – Замкнене тіло

Для створення бічних дзеркал створимо ескізи на площині **«Сверху»** і **«Спереди»** (рис. 14.116, 14.117). Скористаємося командою **«Кривые» – «Спроецировать кривую»**. Виберемо два **«Эскиза»**, створених раніше, і одержимо потрібну нам геометрію в просторі (рис. 14.118). На рис. 14.119 представлені **«Эскизы»** для створення бічного дзеркала заднього виду. Поділяючою лінією вилучимо частину поверхні з кузова й дзеркала (рис. 14.120, 14.121).

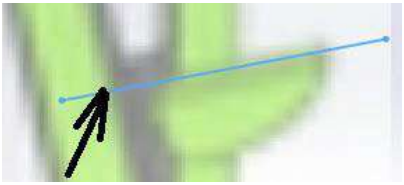


Рисунок 14.116 – Створення ескізу на площині «Сверху»

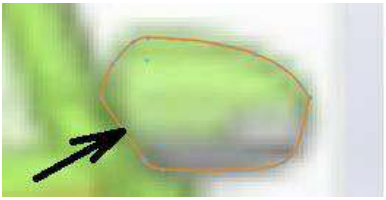


Рисунок 14.117 – Створення ескізу на площині «Спереди»



Рисунок 14.118 – Створення геометрії в просторі

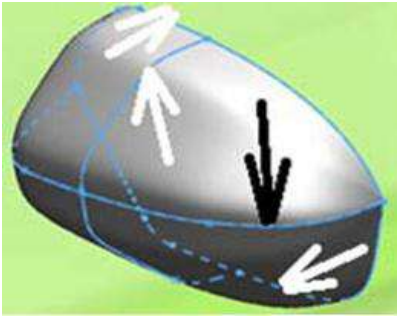


Рисунок 14.119 – Створення поділяючої лінії

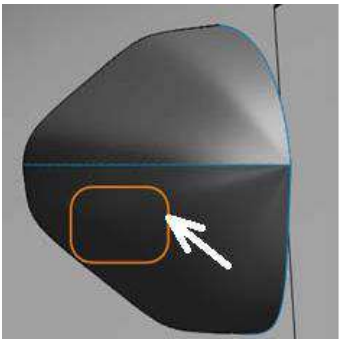


Рисунок 14.120 – Вилучення частини поверхні

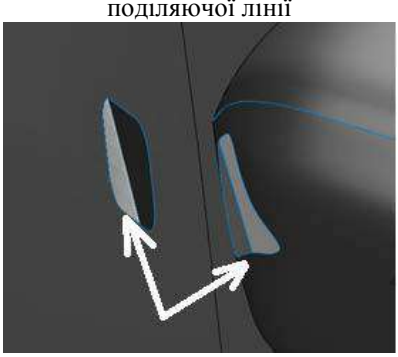


Рисунок 14.121 – Вилучення частини поверхні

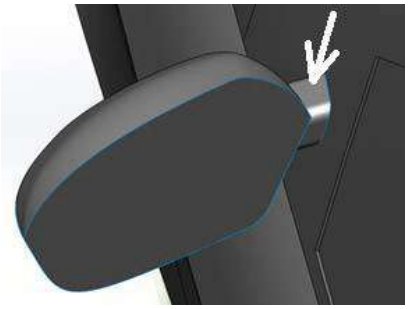


Рисунок 14.122 – Створення кріплення дзеркала

Створимо кріплення дзеркала за допомогою команди **«Поверхность по сечениям»** (рис. 14.122). Далі зробимо дверні ручки за допомогою команд і методів, розглянутих раніше, як показано на наступних рисунках:

- рис. 14.123 – «Разделяющая линия» і «Удалить грань»;
- рис. 14.124 – «Поверхность заполнить»;
- рис. 14.125 – «Поверхность границы» і «Сшить».



Рисунок 14.123 – Використовуємо інструменти «Разделяющая линия» і «Удалить грань»



Рисунок 14.124 – Використовуємо інструмент «Поверхность заполнить»



Рисунок 14.125 – Використовуємо інструмент «Поверхность границы»

Тепер є потрібна поверхнева геометрія для створення твердого тіла. Беремо інструмент **«Сшить поверхность»**, відзначаємо в меню панелі пункт **«Створити твердотельный елемент»** (рис. 14.110).

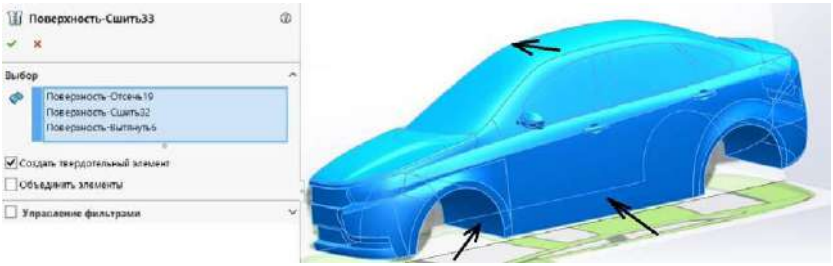


Рисунок 14.126 – Процес створення твердотільного елемента

Далі робимо округлення на гострих гранях для додання потрібної форми кузову. Для створення перегородок ґрат облицювання радіатора, зробимо дві витягнуті поверхні (рис.14.127). Потім відсічемо непотрібну частину геометрії (рис. 14.128).

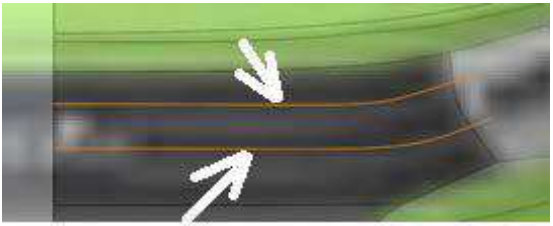


Рисунок 14.127 – Створення перегородок ґрат облицювання радіатора



Рисунок 14.128 – Відсікання непотрібної геометрії

Тепер скористаємося командою **«Придать толщину»**, яка утворює твердотільний елемент із поверхні. Для цього виберемо раніше створені поверхні (рис. 14.129).

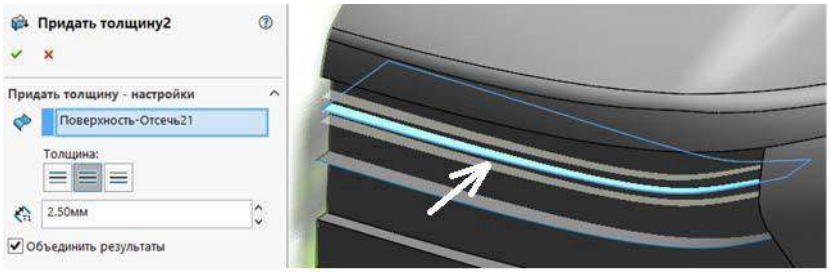


Рисунок 14.129 – Процес утворення
твердотільного елемента з поверхні

Після цього приступаємо до роботи з інструментами твердотільного моделювання. Комбінація поверхневого моделювання із твердотільним дозволяє вважати розглянутий процес гібридним моделюванням. Отже далі ми заповнюємо простір днища за допомогою інструмента **«Вытянутая бобышка»**, як показано на рис. 14.130. Половина автомобіля готова. А оскільки змодельована половина симетрична, то другу половину можна створити командою **«Отразить зеркально».** Для цього обираємо площину, щодо якої будемо віддзеркалювати саме тіло, і відзначаючи в параметрах **«Объединить твердые тела»**, створюємо другу половину автомобіля (рис. 14.131).

Далі створюємо підсилювальні елементи, як показано на рис. 14.132, за допомогою команди **«Вытянутый вырез».** Створюємо допоміжну площину, як показано на рис. 14.133, і на ній робимо **«Эскиз».**

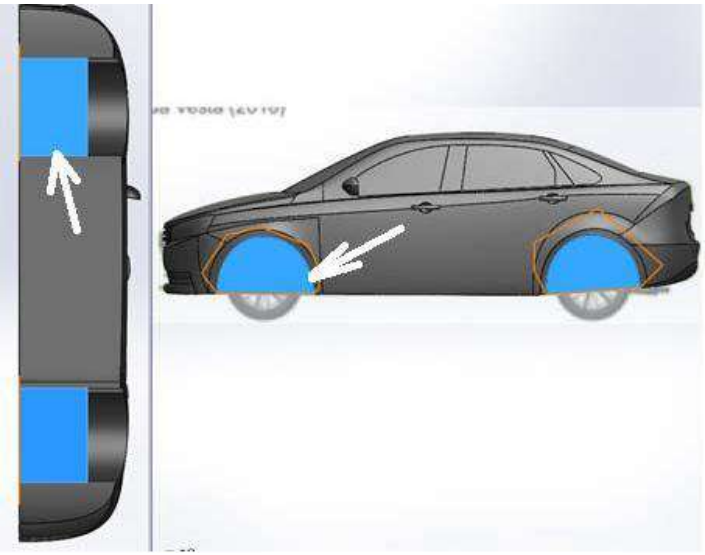


Рисунок 14.130 – Заповнюємо простір днища

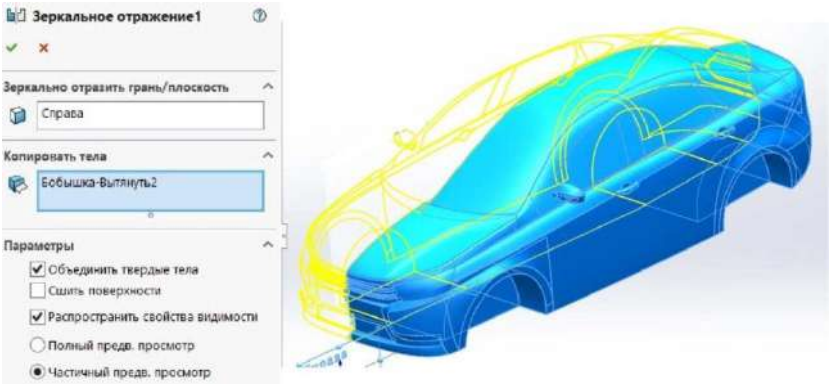


Рисунок 14.131 – Створюємо другу половину автомобіля

Потім на площині зверху створюємо ще один **«Эскиз»** (рис. 14.134). За допомогою команди **«Вырез по траектории»** робимо тунель для системи випуску. Вибираємо ескізи, створені раніше, і погоджуємося з настроюваннями (рис. 14.135).

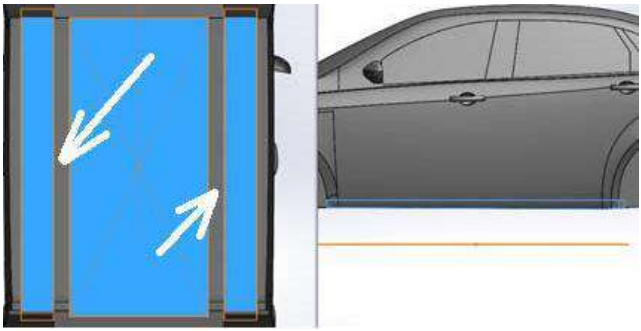


Рисунок 14.132 – Створюємо підсилювальні елементи

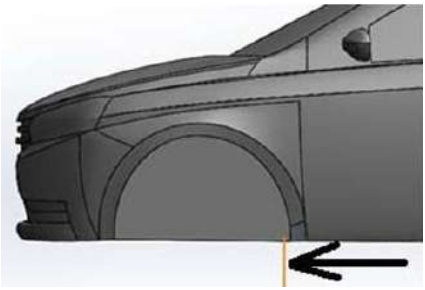


Рисунок 14.133 – Створюємо допоміжну площину

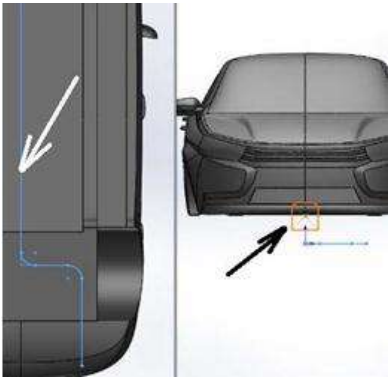


Рисунок 14.134 – Створюємо ескіз тунелю випуску

Аналогічно створюємо інші частини системи випуску відпрацьованих газів, як показано на наступних рисунках:

- рис. 14.136 – створюємо **«Эскиз»** глушника;
- рис. 14.137 – інструмент **«Бобышка по траектории»;**
- рис. 14.138 – створюємо допоміжну площину;
- рис. 14.139 – створюємо **«Эскиз»** зовнішньої форми каталізатора;
- рис. 14.140 – інструмент **«Вытянутая бобышка»;**
- рис. 14.141 – створюємо другий елемент глушника.

Округлюємо гострі грані частин днища для підвищення аеродинамічних властивостей (рис. 14.142).

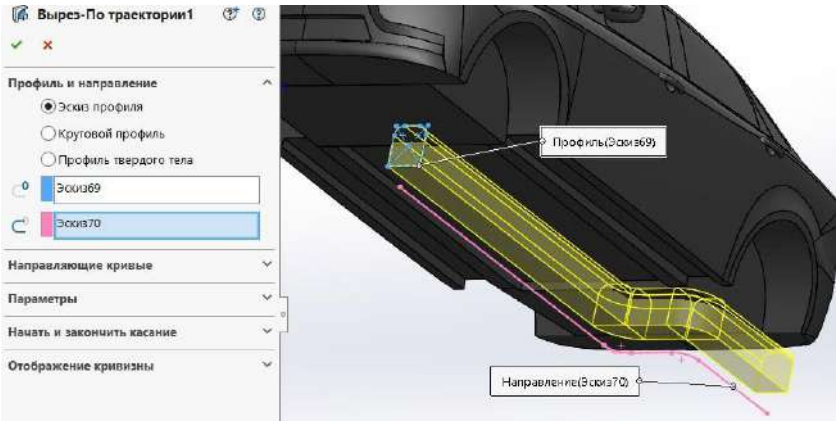


Рисунок 14.135 – Процес створення тунелю випуску

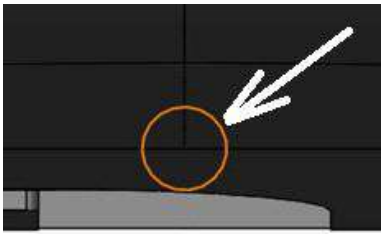


Рисунок 14.136 – Створюємо «Эскиз» глушника

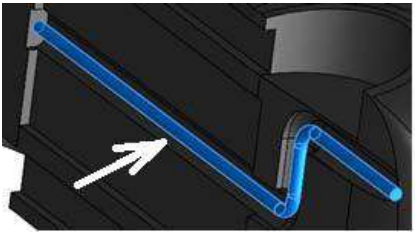


Рисунок 14.137 – Інструмент «Бобышка по траектории»



Рисунок 14.138 – Створюємо допоміжну площину

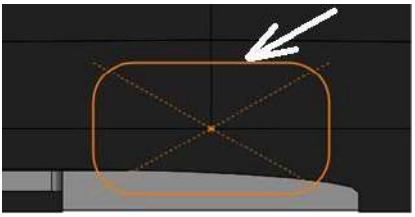


Рисунок 14.139 – Створюємо «Эскиз» зовнішньої форми каталізатора



Рисунок 14.140 – Інструмент «Вытянутая бобышка»

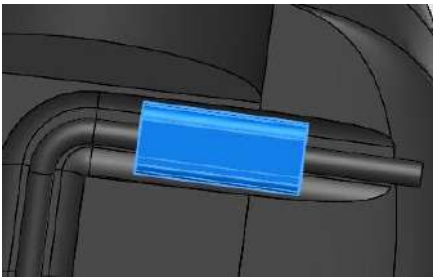


Рисунок 14.141 – Створюємо другий елемент глушника

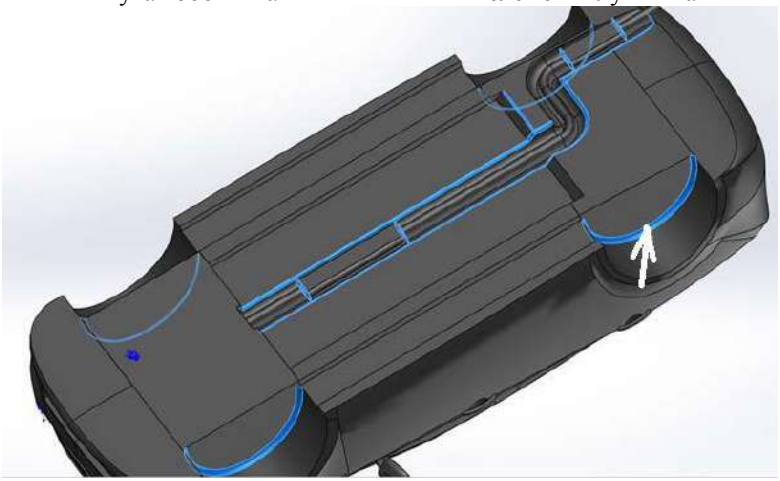


Рисунок 14.142 – Округлюємо гострі грані частин днища

Для проведення аеродинамічного аналізу потрібне дорожнє полотно. Його можна імітувати шляхом створення прямокутної бобишки. Частина полотна позаду автомобіля повинна бути значно довшою (рис. 14.143, 14.144) полотна попереду. Готовий кузов представлений на рис. 14.144.



Рисунок 14.143 – Додано дорожнє полотно

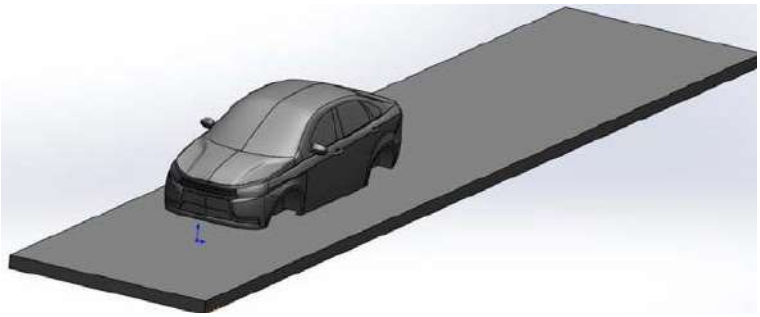


Рисунок 14.144 – Готовий кузов автомобіля

14.3 Проектування коліс автомобіля

Для створення 3D-моделі диска методами твердотільного моделювання можна використовувати різні першоджерела: креслення, ескізи або картинки (фото). Далі ми розглянемо методи створення литого диска по фото (рис. 14.145 – 14.148). Фото обраного диску, можна розташувати в ескізі для зручності й дотримання пропорцій під час самого моделювання.



Рисунок 14.145 – Фото диска автомобіля

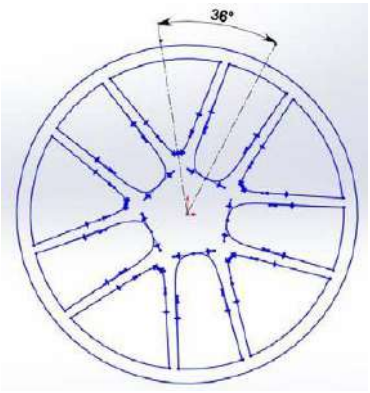


Рисунок 14.146 – Ескіз диска

При моделюванні автомобільного диска нами використовуються всі ті самі методи, які вже були розглянуті й застосовувані раніше. Тому для економії часу ми не будемо ще раз зупинятися й детально пояснювати суть кожної виконуваної

операції, а лише назвемо основні етапи моделювання, та представимо кінцеві результати які повинні вийти в результаті роботи.

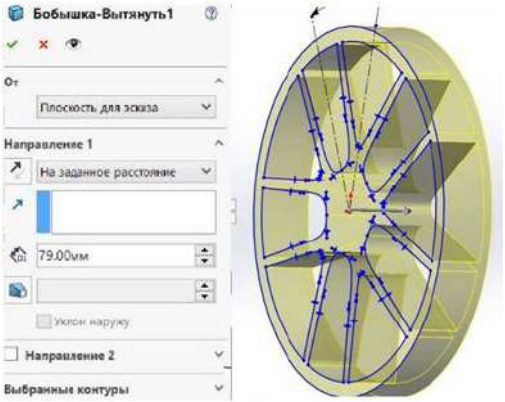


Рисунок 14.147 – Процес створення твердотільної моделі диска

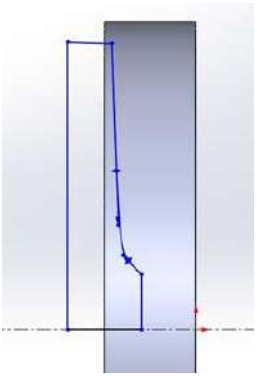


Рисунок 14.148 – Формування спиці диска

Отже створюємо ескіз майбутнього диску на площині **«Спереди»**. Оскільки розроблювальний диск має 5 спиць, то нам необхідно зробити сектор з осьових ліній з кутом в 36 градусів (рис. 14.146). Частини ескізу, які взаємодіють із осьовими лініями, відбиваємо дзеркально. Далі за допомогою кругового масиву робимо інші спиці (рис. 14.146). Підготовлений ескіз, витягаємо інструментом **«Вытянутая бобышка»** (рис. 14.147).

Для додання потрібної форми спицям диску, створюємо **«Эскиз»** на площині **«Справа»** (рис. 14.148). Далі вибираємо створений ескіз і за допомогою команди **«Повернутый вырез»** видаляємо внутрішню частину диска (рис. 14.149).

Для створення іншої частини спиць робимо аналогічні операції з ескізом (рис. 14.150). При витягуванні знімаємо відмітку в настроюваннях **«Объединить результаты»** (рис. 14.151). Це необхідно для того, щоб при використанні команди **«Повернутый вырез»** дія проводилася над потрібним об’єктом (рис. 14.152).

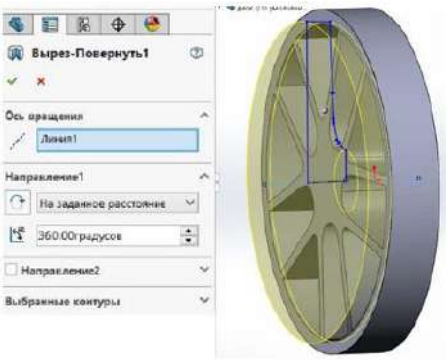


Рисунок 14.149 – Видаляємо внутрішню частину диска

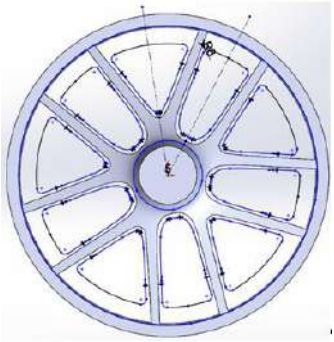


Рисунок 14.150 – Створення іншої частини спиць

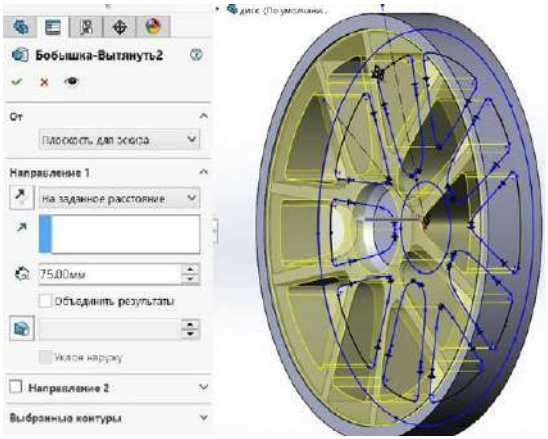


Рисунок 14.151 – Настроювання витягування

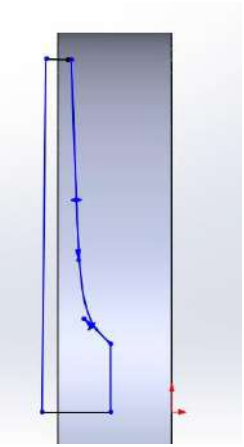
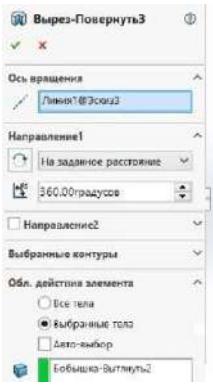


Рисунок 14.152 – Створення вирізу

У настроюваннях вибираємо в області дії елемента тіло, яке треба сконструювати, і застосовуємо команду **«Повернутый вырез»** (рис. 14.153).

Створюємо наступний ескіз (рис. 14.154). Командою **«Вырез-вытянуть»** видаляємо непотрібну частину (рис. 14.155). Тепер нам треба з’єднати два тіла в одне за допомогою команди **«Соединить»** (рис. 14.156).



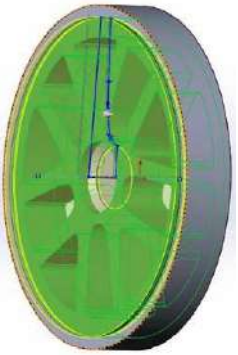


Рисунок 14.153 – Застосовуємо команду «Повернутый вырез»



Рисунок 14.154 – Ескіз

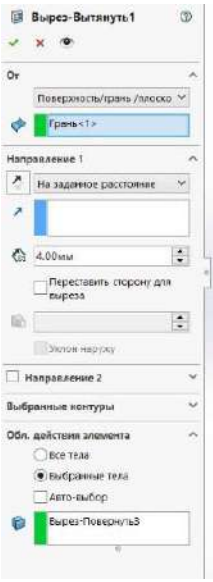




Рисунок 14.155 – Видаляємо непотрібну частину

Створюємо наступні частини диска за аналогією з попередніми етапами, як показано на наступних рисунках:

- рис. 14.157 – створюємо **«Эскиз»**;
- рис. 14.158 – інструмент **«Вытянутая бобышка»**;
- рис. 14.159 – створюємо **«Эскиз»**;

- рис. 14.160 – інструмент **«Повернутый вырез»**;
- рис. 14.161 – інструмент **«Вытянутая бобышка».**

Декоративні елементи також створюються за допомогою бобишек і вирізів (рис. 14.159 – 14.161). Далі робимо округлення в центрі диска (рис. 14.162). Створюємо болти й отвори під них (рис. 14.163, 14.64). Округлюємо гострі крайки елементів диска (рис. 14.165).

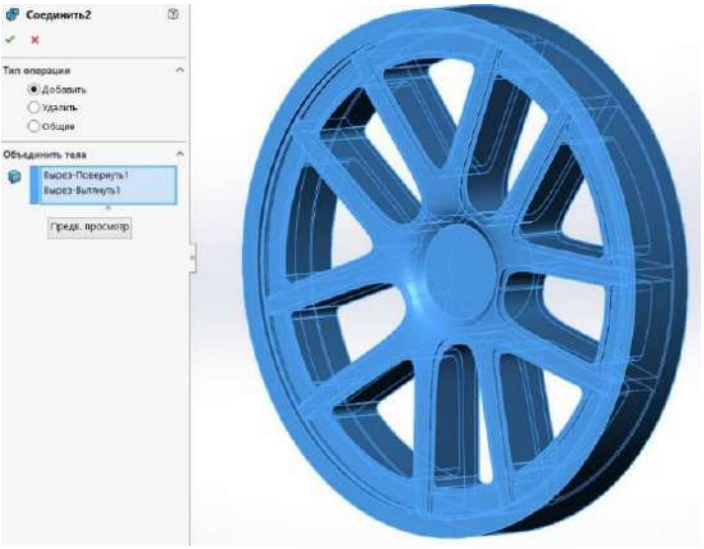


Рисунок 14.156 – Поєднання двох тіл в одне

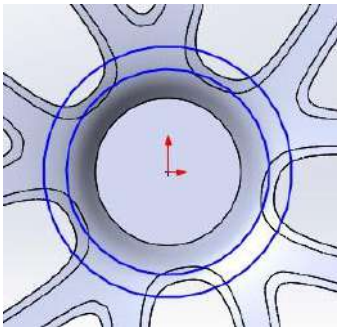


Рисунок 14.157 – Створюємо ескіз

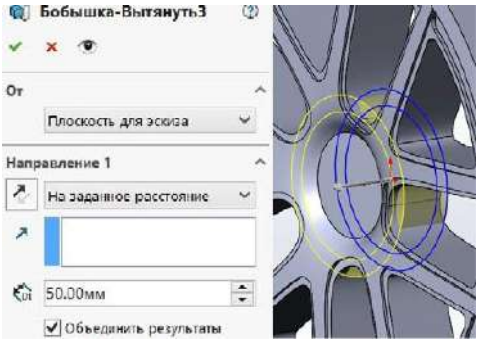


Рисунок 14.158 – Використання інструменту «Витягнута бобышка»

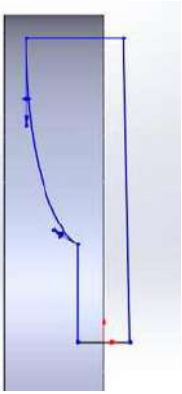


Рисунок 14.159 – Створюємо «Эскиз»



Рисунок 14.160 – Створено вирізи

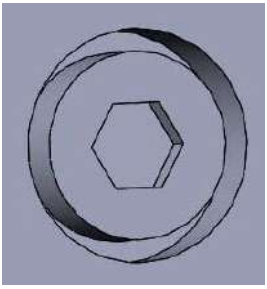


Рисунок 14.161 – Використання інструменту «Витягнута бобышка»



Рисунок 14.162 – Округлення в центрі диска



Рисунок 14.163 – Отвори під болти

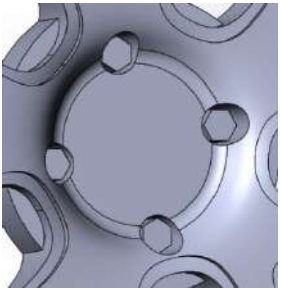


Рисунок 14.164 – Створені болти й отвори під них



Рисунок 14.165 – Округлюємо гострі крайки

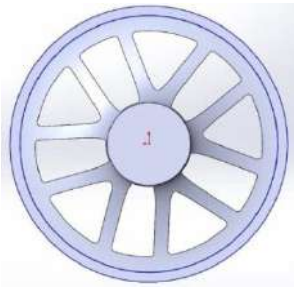


Рисунок 14.166 – Створення обода

Для створення обода скористаємося ескізом і витягуванням бобишки (рис. 14.166, 14.167).



Рисунок 14.167 – Створено обід



Рисунок 14.168 – Округляємо грані

Округляємо грані, що утворилися (рис. 14.168). Для створення покришки робимо ескіз на площині **«Справа»** за допомогою двох сплайнів і надаємо об'єм поверненою бобишкою (рис. 14.169, 14.170). Створюємо піввісь інструментом **«Вытянутая бобышка»** (рис. 14.171) і одержуємо готове колесо з піввіссю.

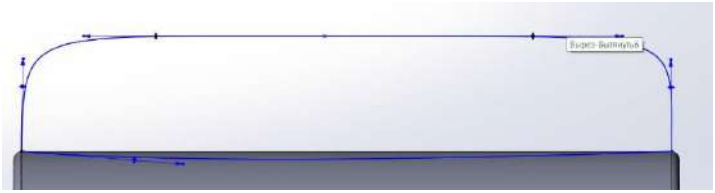


Рисунок 14.169 – Створення ескізу покришки на площині «Справа»



Рисунок 14.170 – Створення покришки

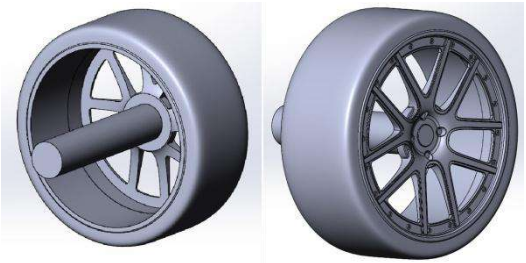


Рисунок 14.171 – Готове колесо з піввіссю

14.4 Складання моделі «кузов–колеса–дорога»

Для створення складання у вікні **«Новый документ»** необхідно вибрати **«Сборка»** і нажати кнопку **«Ок»** (рис. 14.172).

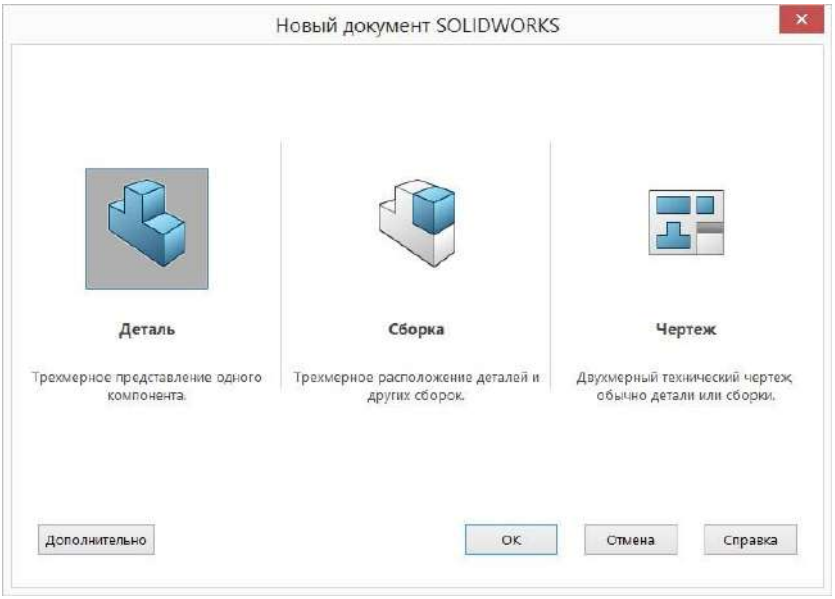


Рисунок 14.172 – Створення нового документу типу складання

Для того щоб завантажити необхідні елементи в складання, натискаємо **«Вставить компоненты»** (рис. 14.173).

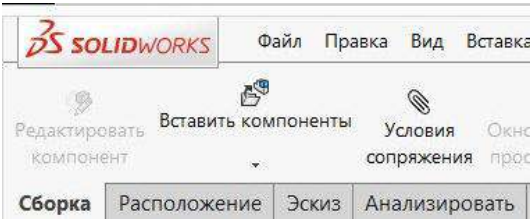


Рисунок 14.173 – Завантаження необхідних елементів в складання

У вікні, що з'явилося, натискаємо **«Обзор»** і вибираємо раніше створений кузов автомобіля і колеса з осями (рис. 14.174).

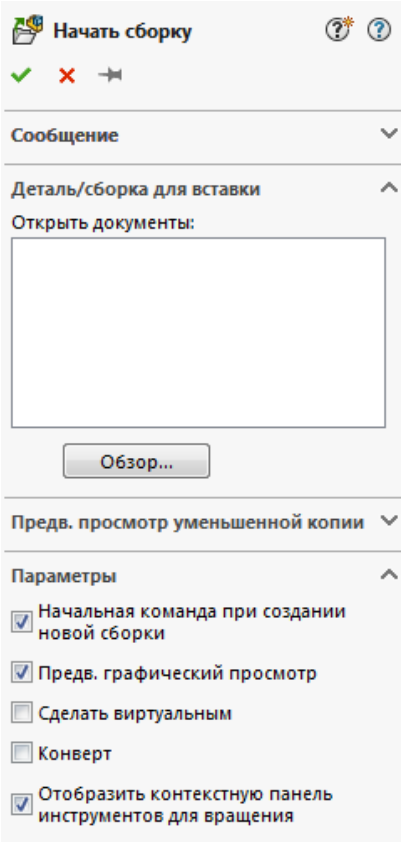


Рисунок 14.174 – Додавання компонентів у складання

Після того як усі компоненти складання завантажені, необхідно їх позиціонувати за допомогою сполучень. Для цього створюємо сполучення для задніх і передніх коліс.

Натискаємо **«Концентричность»**, вибираємо грані півосей і натискаємо **«Ок»** (рис. 14.175). Далі виставляємо колеса по висоті й ширині, як показано на рис. 14.176. Кінцеве складання представлено на рис. 14.177.

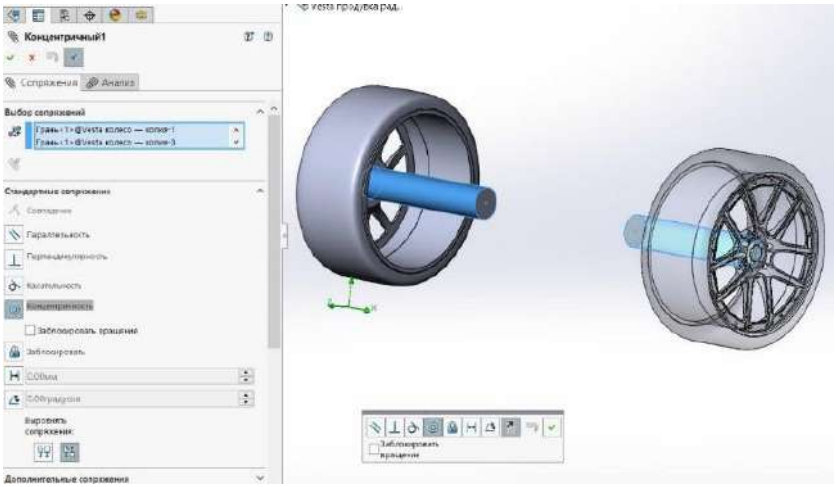


Рисунок 14.175 – Створюємо сполучення
для задніх і передніх коліс

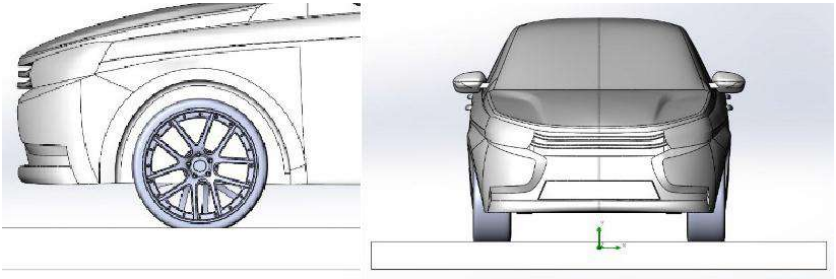


Рисунок 14.176 – Виставляємо колеса по висоті й ширині

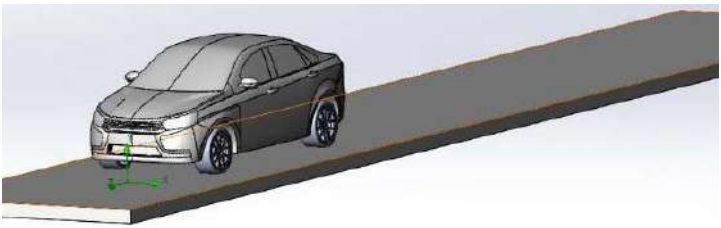


Рисунок 14.177 – Складання моделі «кузов–колеса–дорога»

Питання для самоперевірки

1. В чому суть підготовки вихідних матеріалів для майбутньої моделі автомобіля?
2. Які вимоги висуваються до ескізів майбутньої моделі автомобіля?
3. У чому суть гібридного моделювання?
4. Які переваги поверхневого моделювання?
5. Назвіть основні інструменти для поверхневого моделювання в SolidWorks.
6. Як можна створити витягнуті поверхні?
7. Який рівень прозорості рекомендується ставити для картинки ескізу?
8. Яке призначення додаткових площин при моделюванні?
9. Як сполучити вісь симетрії з початком координат?
10. Як вирівняти положення картинок ескізів?
11. Для чого площини з ескізами слід розміщувати на певній відстані?
12. Що таке поверхня?
13. З якої частини можна починати створення першої поверхні?
14. Що таке сплайн?
15. Як можна задати або змінити кривизну сплайну?
16. Яка команда меню потрібна для створення поверхонь?
17. Як приховати та знову зробити видимим ескіз?
18. Що є головним критерієм створення твердого тіла за допомогою поверхонь?
19. Чи можна редагувати зшиті поверхні?
20. В чому особливість тривимірного ескізу?
21. Розкажіть загальний алгоритм створення поверхні по перетинах.

15 АЕРОДИНАМІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛІ КУЗОВА АВТОМОБІЛЯ

15.1 Введення вихідних даних, настроювання розрахункових програм і послідовність аеродинамічних розрахунків

SolidWorks Flow Simulation є вбудованим модулем у програму SolidWorks, який дозволяє розраховувати методом кінцевих елементів фізичні характеристики різних потоків (від потоків рідин і газів до теплових і радіаційних) і вплив цих потоків на тверді тіла. Розглянемо первісне настроювання програми SolidWorks Flow Simulation.

Для завантаження доповнення Flow Simulation необхідно на верхній панелі вибрати вкладку **«Добавления SolidWorks»** і в панелі, що розкрилася, зверху вибрати «SolidWorks Flow Simulation» (рис. 15.1).

Після завантаження даного додатку на верхній панелі з'являється вкладка «Flow Simulation». Перейшовши на цю вкладку, необхідно створити новий проект, нажавши на кнопку **«Мастер проекта»** (рис. 15.2).

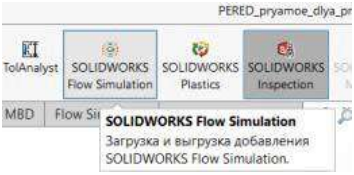


Рисунок 15.1 – Вкладка «SolidWorks Flow Simulation»

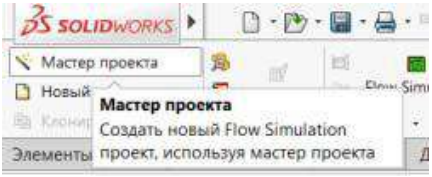


Рисунок 15.2 – Виклик «Мастер проекта»

Відкривається діалогове вікно «Мастер проекта» (рис. 15.3) У даному вікні можна задати ім'я проекту, а також використовувати конфігурацію, якщо вже є готова.

Після натискання кнопки **«Далее»** з'являється вікно **«Система единиц измерения»**, з можливістю створити нову систему і кількість значущих цифр після коми (рис. 15.4).

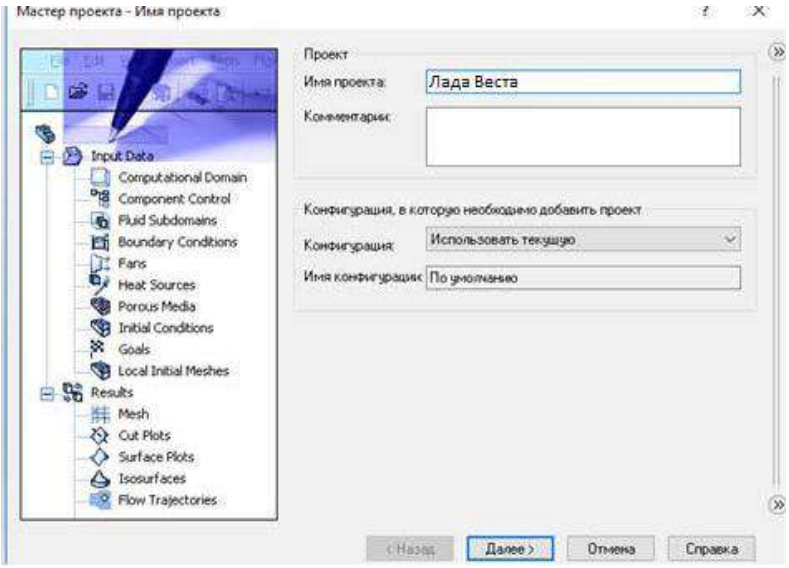


Рисунок 15.3 – Діалогове вікно «Мастер проекта»

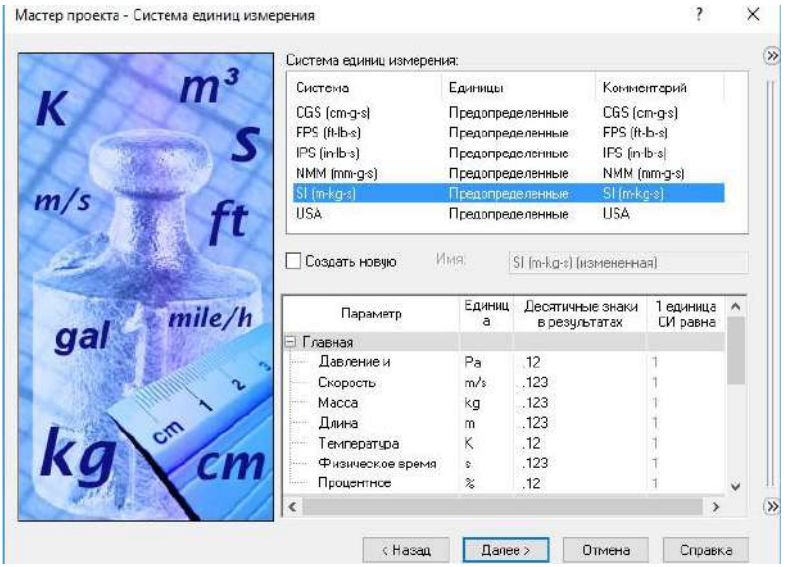


Рисунок 15.4 – Діалогове вікно
«Система единиц измерения»

Вибираємо систему SI. Натискаємо кнопку **«Далее»**, з'являється вікно **«Тип задачи»** (рис. 15.5): **«Внутренняя»** – для розрахунків замкнених просторів і **«Внешняя»** – для розрахунків відкритих просторів. У нашому випадку – тип задачі **«Внешняя»**. Також виключаємо внутрішній простір і порожнини, де плин потоку не передбачений.

Вибираємо фізичну модель завдання. У випадку симуляції продувок в аеродинамічній трубі – це тип **«Нестационарность»**. У списку **«Нестационарность»**, що розкрився, вибирається загальний час задачі. У цім же вікні вибирається базова вісь – та вісь, уздовж якої буде здійснюватися плин потоку. У нашому випадку – це вісь **Z.**

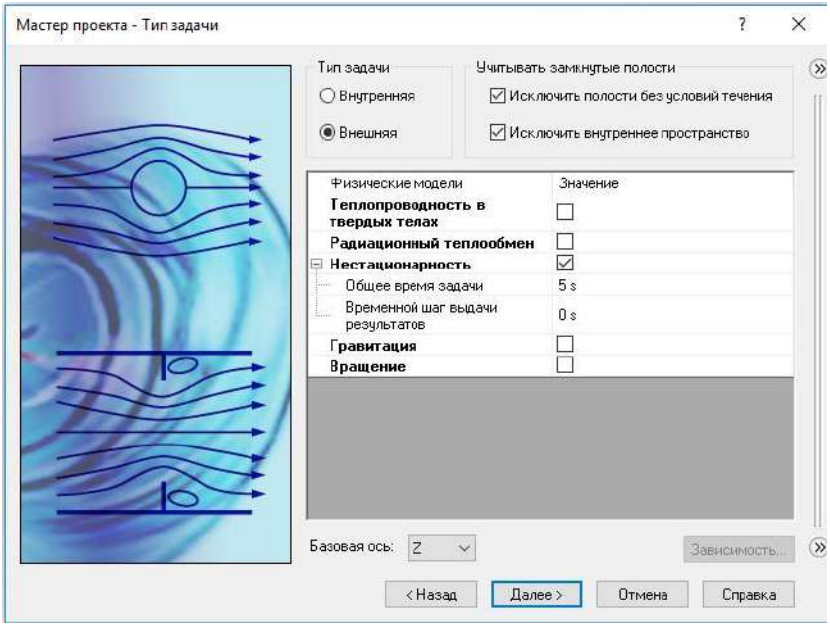


Рисунок 15.5 – Діалогове вікно «Тип задачи»

Після натискання кнопки **«Далее»** з'являється вікно **«Текучая среда»** (рис. 15.6). Тут представлена велика кількість газів, рідин і т.д. У списку **«Газы»** вибираємо **«Air»** (повітря). Також тут можна задати характеристику плину потоку.

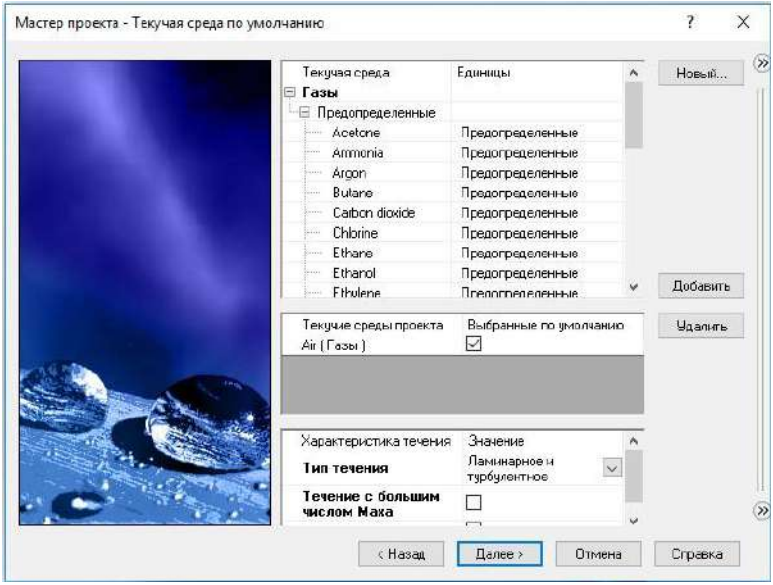


Рисунок 15.6 – Діалогове вікно «Текучая среда»

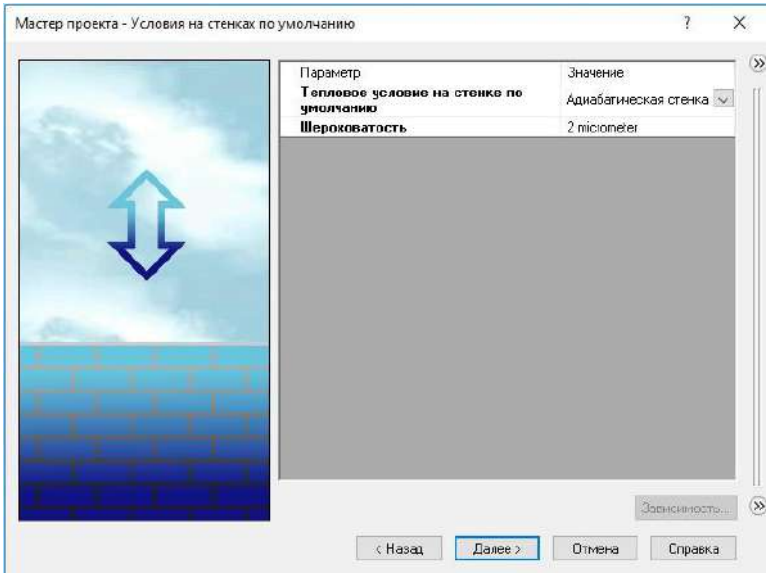


Рисунок 15.7 – Діалогове вікно «Условия на стенках»

Задаємо – **«Ламинарное и турбулентное»**. Натискаємо кнопку **«Далее»**. З'являється вікно **«Условия на стенках»** (рис. 15.7). Тут можна вибрати теплову умова на стінці й шорсткість поверхні. При натисканні кнопки **«Далее»** з'являється останнє діалогове вікно майстра проекту – **«Начальные условия»** (рис. 15.8). Тут задаються параметри середовища – тиск, температура й, найважливіше для нас, швидкість потоку.

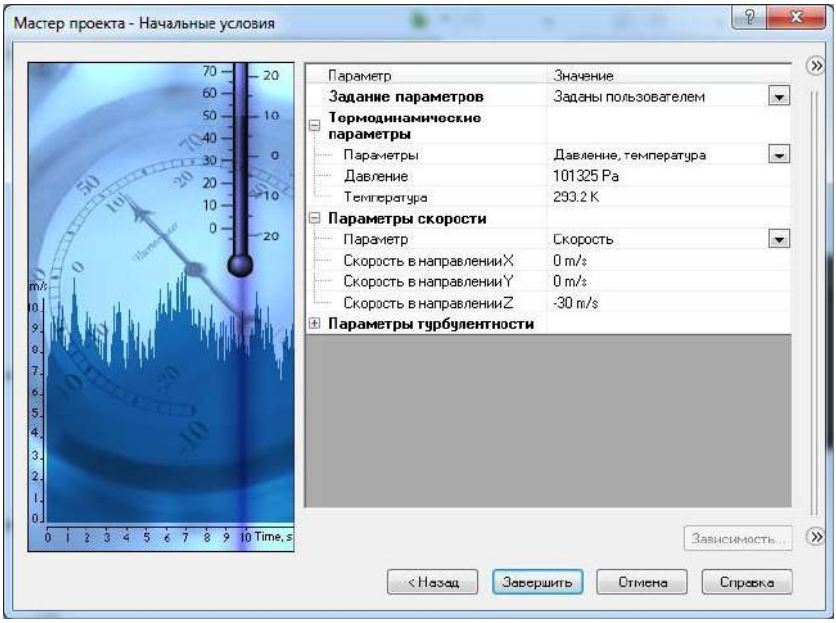


Рисунок 15.8 – Діалогове вікно «Начальные условия»

Після натискання кнопки **«Завершить»** з'являється тривимірна модель із розрахунковою областю (рис. 15.9). Для прискорення аеродинамічних розрахунків, розрахункову область можна зменшити, присунувши її ближче до моделі за відповідні стрілки (червоного та синього кольору).

Далі необхідно задати цілі проекту, які нас цікавлять. Натискаємо правою кнопкою миші **«Цели» -> «Добавить глобальные цели»**. У списку, що відкрився (рис. 15.10 – 15.11) вибираємо **«Сила давления (Y)»** і **«Сила давления (Z)»**. У

нашому випадку це будуть притискна сила й сила лобового опору відповідно. Натискаємо кнопку **«ОК»**. Після вибору глобальних цілей необхідно змінити розмір сітки.

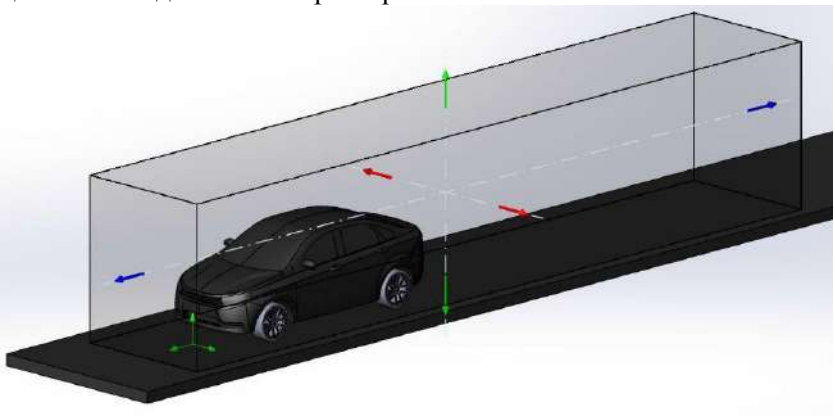


Рисунок 15.9 – Тривимірна модель
із розрахунковою областю

Для цього вибираємо **«Сетка» -> «Глобальная сетка» -> «Изменить базовую сетку»**. У списку, що відкрився, вибираємо розмір сітки **«4»** (рис. 15.12).

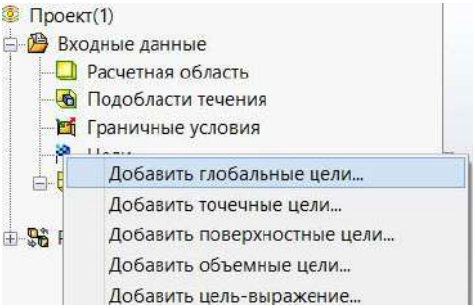


Рисунок 15.10 – Вибір пункту
меню «Добавить глобальные цели»

Рівень розміру сітки впливає як на точність результатів, так і на швидкість самого процесу розрахунку. Після всіх перерахованих вище операцій проект готовий до запуску й розрахунку.

Для запуску розрахунків натискаємо кнопку **«Запустить»** (рис. 15.14). Далі з'являється вікно настроювань запуску розрахунків. У графі **«Использовать»** необхідно виставити максимальну кількість ядер процесора вашого комп'ютера для мінімізації часу розрахунків і нажати **«Запустить»** (рис. 15.15).

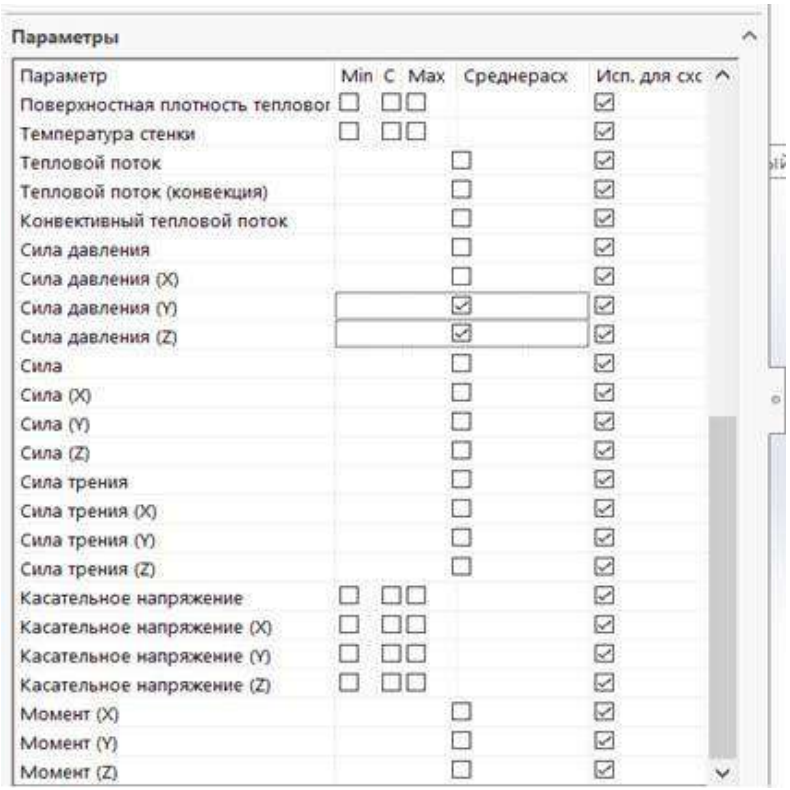


Рисунок 15.11 – Діалогове вікно параметрів розрахунків

Потім з'являється вікно з поточним станом розрахунків, у якому можна бачити кількість ітерацій та інші дані (рис. 15.16).

При натисканні на кнопку **«Цели»** з'являються поточні результати поставлених цілей розрахунків на поточній ітерації (рис. 15.17). Для виводу графіків цілей натискаємо на кнопку **«Добавить»** (рис. 15.18).

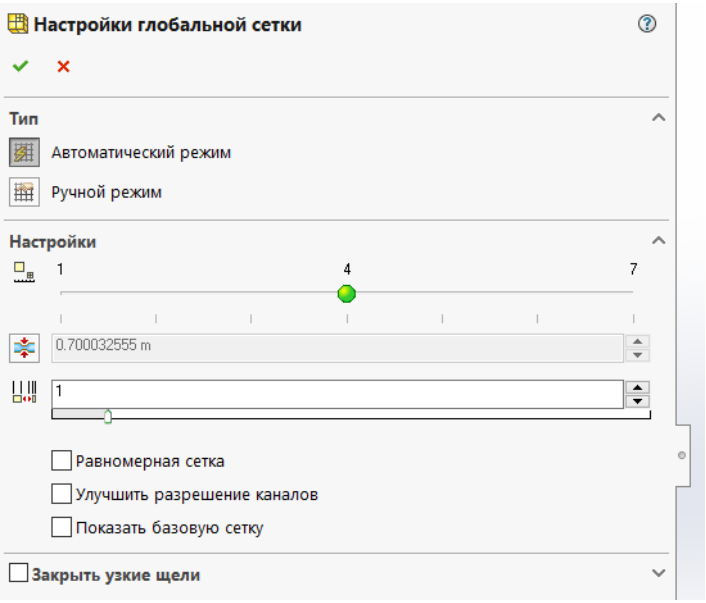


Рисунок 15.12 – Вибираємо розмір сітки «4»

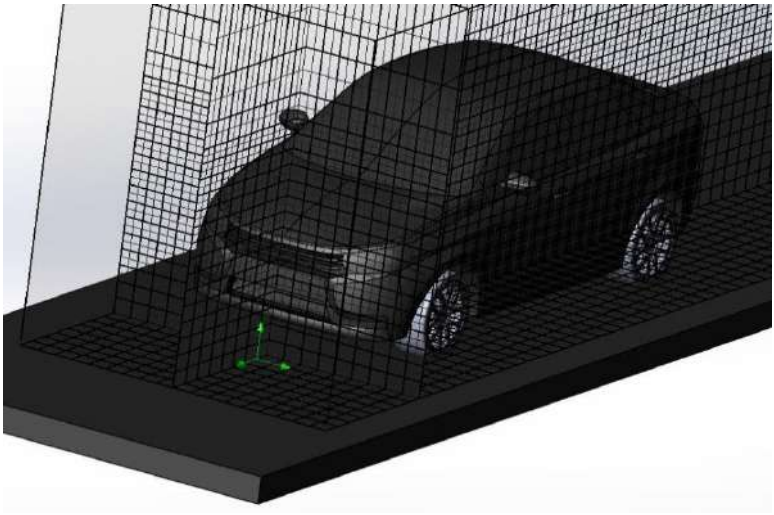


Рисунок 15.13 – Загальний вигляд розрахункової сітки

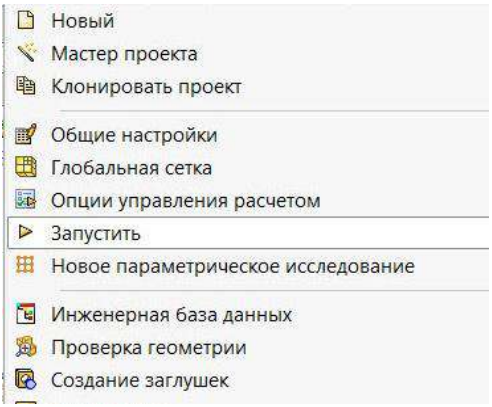


Рисунок 15.14 – Запуск розрахунків

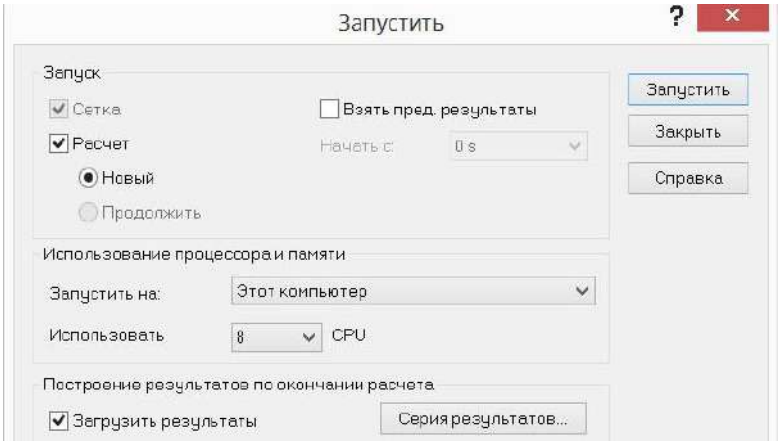


Рисунок 15.15 – Вікно настроювань запуску розрахунків

У вікні, що з’явилося, вибираємо всі цілі й натискаємо кнопку **«Ок»** (рис. 15.19). Для перевірки правильного напрямку повітряного потоку треба зайти в **«Предварительный просмотр»**.

У настроюваннях попереднього перегляду необхідно вибрати площину **«Справа»** (уздовж якої рухається потік) і нажати **«Ок»** (рис. 15.20). На зображенні, що з’явилося, бачимо напрямок потоку повітря, що набігає, який позначений стрілками (рис. 15.21).

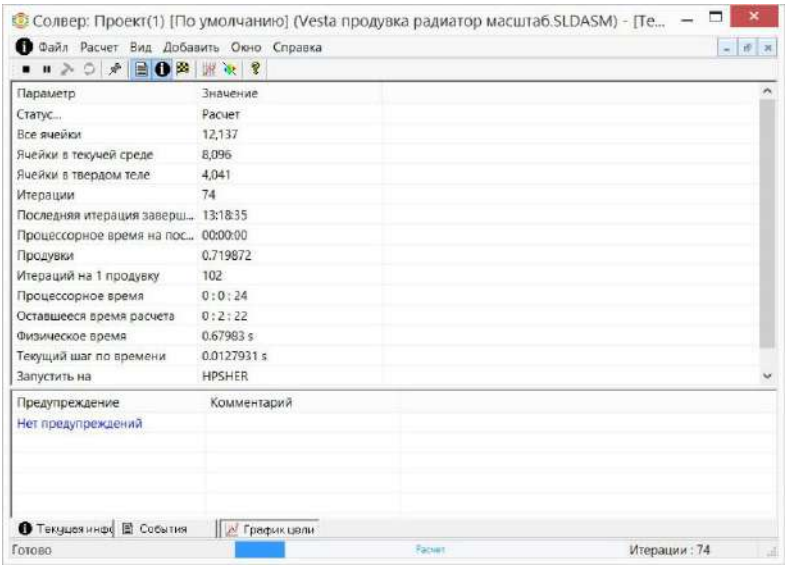


Рисунок 15.16 – Вікно з поточним станом розрахунків

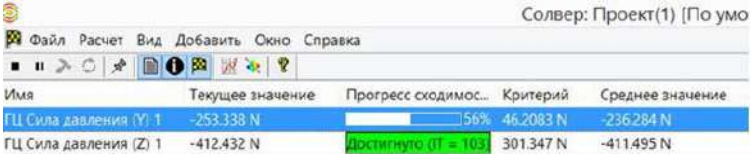


Рисунок 15.17 – Поточні результати
поставлених цілей розрахунків

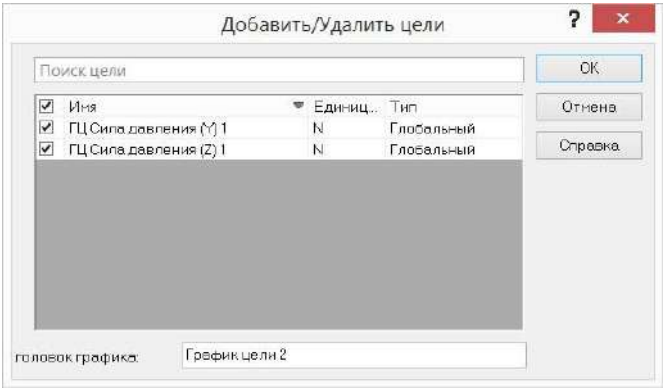


Рисунок 15.18 – Вікно виводу графіків цілей

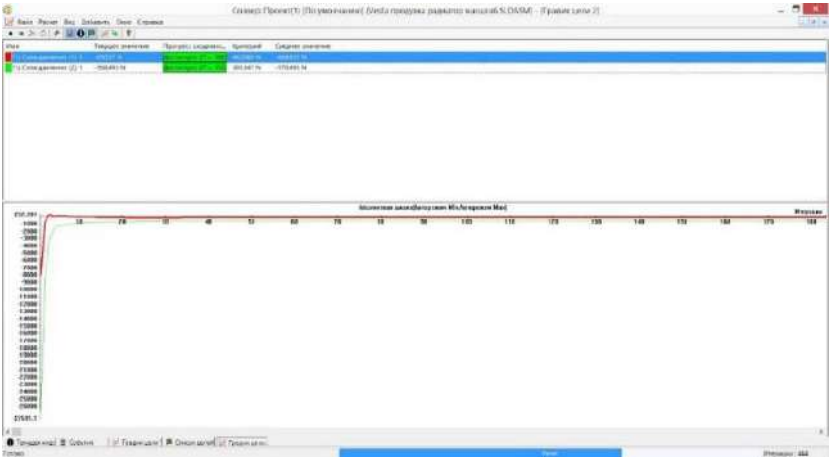


Рисунок 15.19 – Графіки цілей

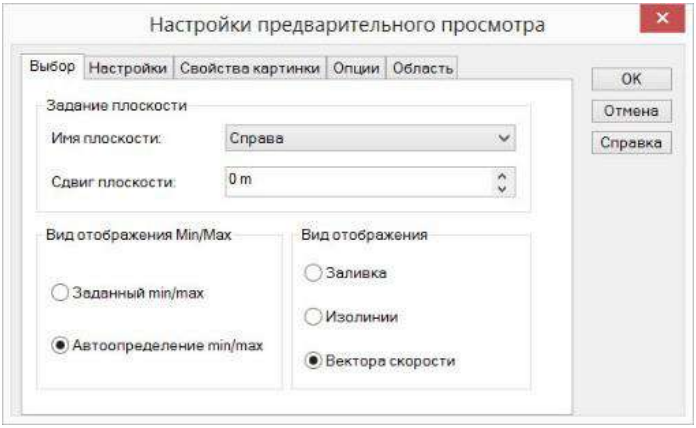


Рисунок 15.20 – Настроювання
попереднього перегляду

По закінченню розрахунків у рядку **«Статус»** буде написано **«Расчет завершен»**. А у вікні **«События»** можна побачити інформацію про події розрахунків із вказівкою часу, коли вони відбувалися. Це вікно потрібно закрити (рис. 15.22).

Після цього вертаємося у вікно програми SolidWorks, у якому з'явилися результати розрахунків (рис. 15.23). Якщо Вам

потрібно вивести результати розрахунків в окремий файл, то натисніть на кнопку **«Цели»**. У вікні, що з'явилося, вибираємо **«Все цели»** і натискаємо на кнопку **«Показать»** (рис. 15.24).

З'являється зведена таблиця, яка показує виведені в Excel дані, що містять результати розрахунків (рис. 15.25).

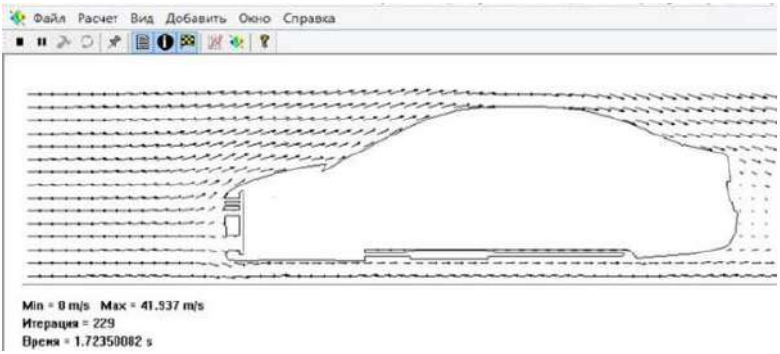


Рисунок 15.21 – Напрямок потоку повітря

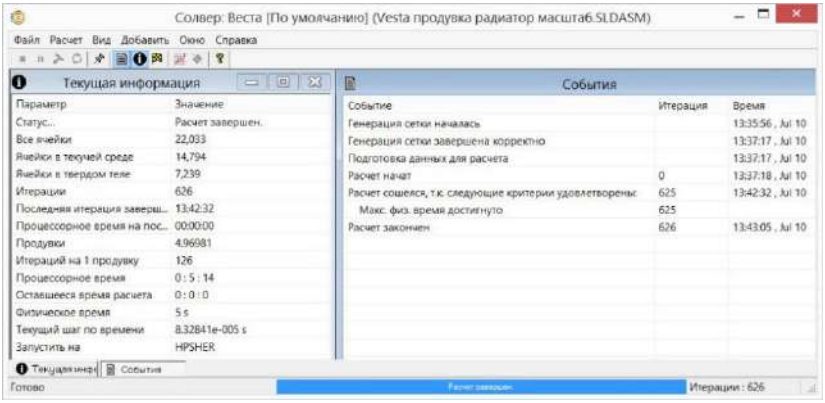


Рисунок 15.22 – Дані розрахунків

15.2 Аналіз графічних результатів дослідження 3D-моделі

Для виведення графічного представлення картини тисків на поверхні автомобіля, натискаємо **«Картины на поверхности»** (рис. 15.23). У вікні, що з'явилося, відзначаємо **«Использовать все поверхности»**.

У розділі **«Показать»** вибираємо **«Заливка»**. У параметрах заливання вибираємо **«Давление»** і кількість рівнів виставляємо на значення 150. Редагуємо область відображення таким чином, щоб у неї входив тільки автомобіль. Натискаємо кнопку **«Ок»** (рис. 15.26).

На поверхні автомобіля кольором показані відповідні значення тисків. Для більшої наочності потрібно відредагувати шкалу значень.

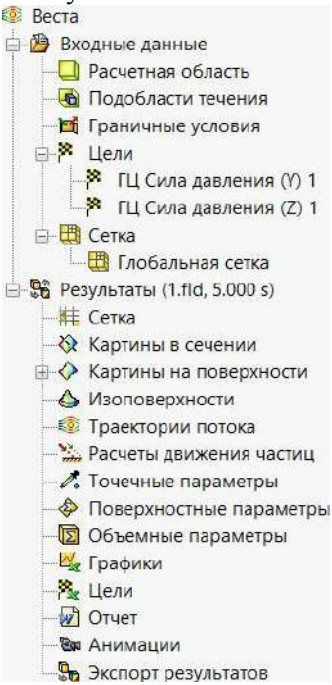


Рисунок 15.23 – Результати розрахунків

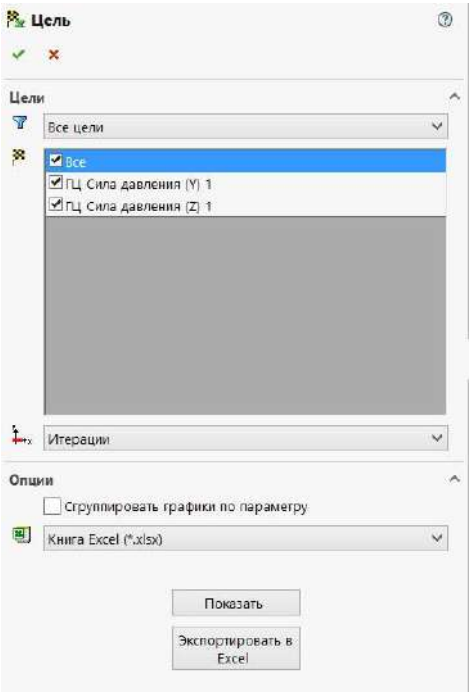


Рисунок 15.24 – Вибір цілей

Имя цели	Единица измерения	Значение
ГЦ Сила давления (Y) 1	[N]	-255.912
ГЦ Сила давления (Z) 1	[N]	-411.026

Рисунок 15.25 – Зведена таблиця розрахунків

Для цього наводимо стрілкою миші в область між шкалою й

максимальним цифровим значенням, повинен з’явитися маркер. Натискаємо на нього. Після цього натискаємо на кнопку **«Восстановить локальный максимум»** і **«Ок»** (рис. 15.27). Аналогічні операції проводимо з нижньою границею.

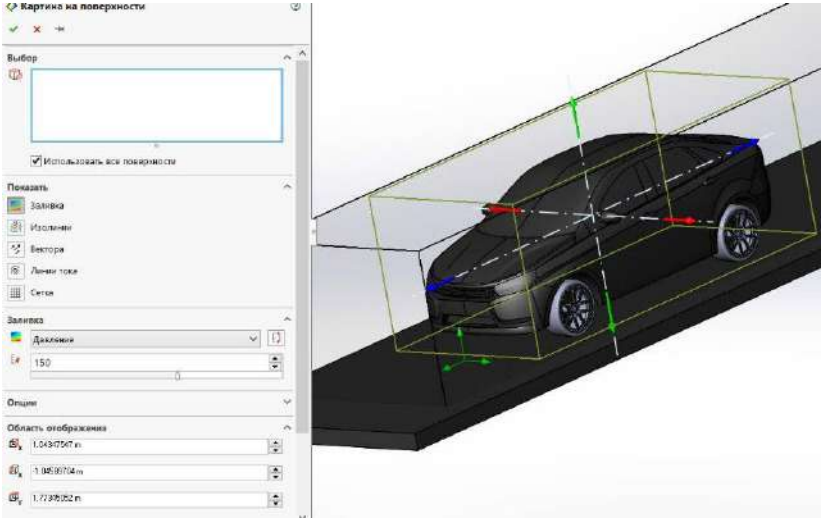


Рисунок 15.26 – Настроювання графічного представлення картини тисків

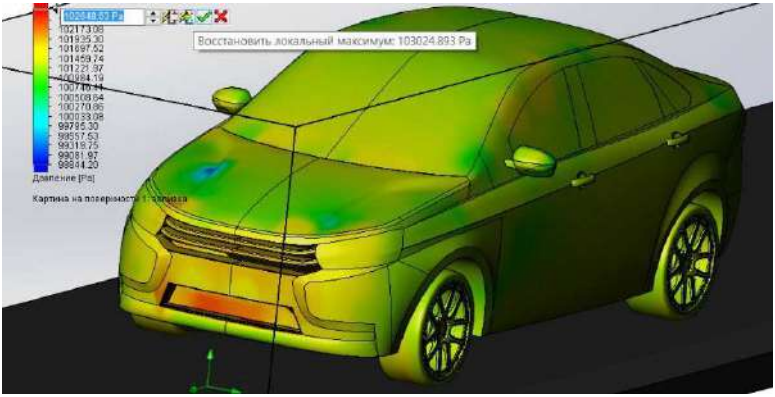


Рисунок 15.27 – Редагування шкали значень

Опір тиску – головний фактор, що визначає значення

лобового опору. На рис. 15.27 можна побачити опір тиску в передній частині автомобіля, який викликаний тиском потоку повітря, що набігає.

В **«Изоповерхности»** можна вивести картину зниженого тиску. У вікні параметр вибираємо **«Давление»**. У значенні 1 установлюємо числове значення атмосферного тиску. Головний елемент, що визначає аеродинаміку автомобіля – задня частина кузова, тому змінюємо область відображення таким чином, щоб у ній перебувала задня частина, і натискаємо кнопку **«Ок»** (рис. 15.28).

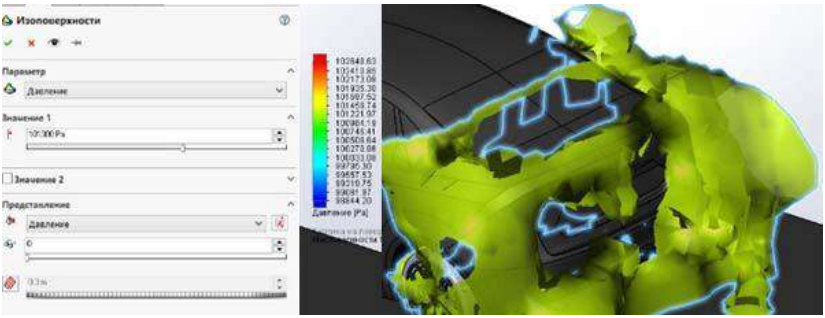


Рисунок 15.28 – Картина зниженого тиску

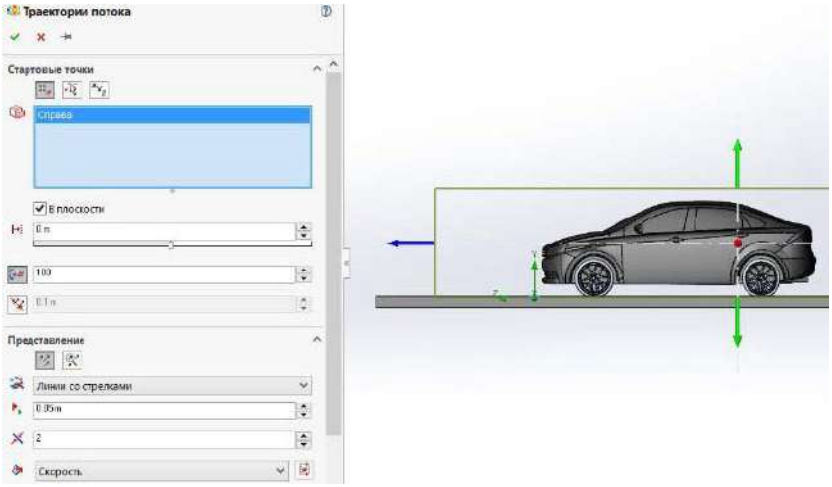


Рисунок 15.29 – Зміна області відображення

Для графічного представлення швидкостей набігаючого повітряного потоку, натискаємо **«Траектории потока»**. У розділі **«Стартовые точки»** вибираємо **«Равномерно»**, площину **«Справа»** і відзначаємо **«В плоскости».**

У такому випадку буде показана картина потоків у площині **«Справа»** (можна вивести картини потоків у будь-якій площині). **«Количество точек»** ставимо рівним 100. В розділі **«Представление»** вибираємо **«Статические траектории»**. Для наочності вибираємо **«Линии со стрелками»**, розмір стрілок 0,05 м, товщина – 2, розфарбувати по швидкості.

Вибираємо область подання таким чином, щоб попереду містилася половина довжини автомобіля, а позаду 3 довжини автомобіля. Натискаємо **«Ок»** (рис. 15.29). Для більш наочного подання результатів (рис. 15.30) необхідно відредагувати мінімум і максимум шкали, як було зазначено раніше на рис. 15.27.



Рисунок 15.30 – Наочне подання результатів

Щоб одержати повну картину швидкостей потоку, що виходить із площини **«Справа»**, необхідно зняти оцінку **«В плоскости»**. На рис. 15.31 показаний розподіл траєкторій швидкостей потоку, що виходить із площини. Для більш повного подання картини швидкостей потоку необхідно вибрати **«Картина в сечении»**. У розділі **«Выбор»** вибираємо **«Зависимость»**, площина **«Справа».**

У розділі **«Показать» – «Заливка»**. У розділі **«Заливка»** у графі **«Параметр»** установлюємо **«Скорость», «Количество уровней»** – 150 і натискаємо **«Ок»** (рис. 15.32). На рис. 15.32 видно, що за автомобілем утворюється зона розрідження в результаті відриву потоку від, що різко закінчується кузова, яка «відтягає» його назад. Щоб одержати значення параметрів, що

цікавлять, вибираємо **«Точечные параметры»** і у вікні, що з'явилося, задаємо координати точки на поверхні кузова (рис. 15.33).

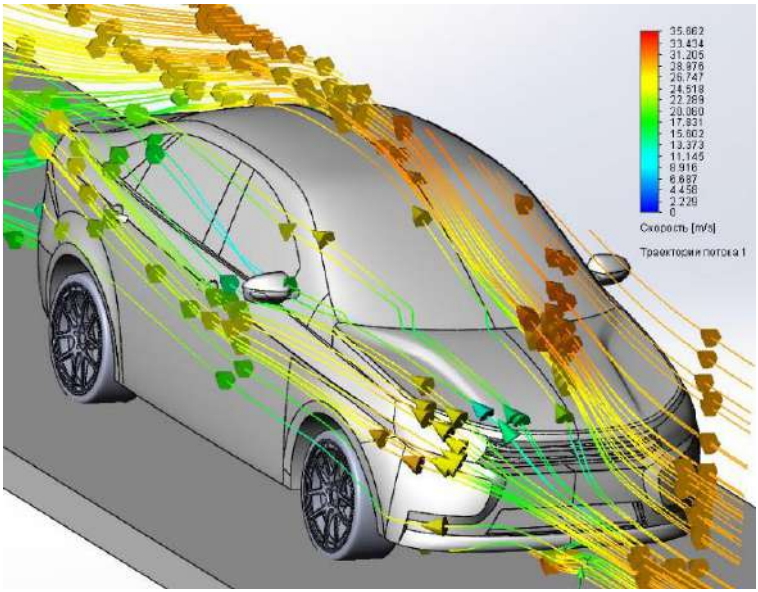


Рисунок 15.31 – Розподіл траєкторій швидкостей потоку

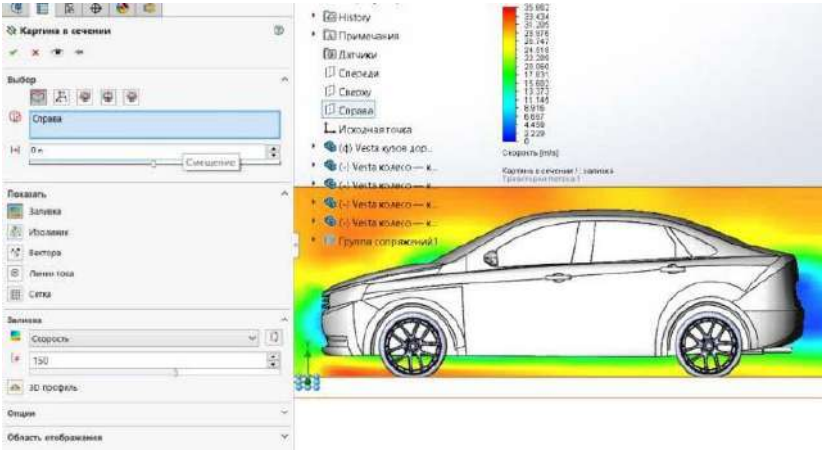


Рисунок 15.32 – Настроювання параметрів розрахунку

15.3 Розрахунки коефіцієнта аеродинамічного опору Cx

Основним кількісним результатом дослідження є сила лобового опору, яка присутня у всіх тягово-швидкісних розрахунках і впливає на швидкість і паливну економічність.

Завдання зниження лобового опору – пріоритетне завдання для аеродинаміки автомобіля. В аеродинаміці для порівняння автомобілів використовується коефіцієнт аеродинамічного опору Cx – безрозмірний коефіцієнт, що характеризує відношення сили лобового опору до швидкості й поперечному перерізу автомобіля.

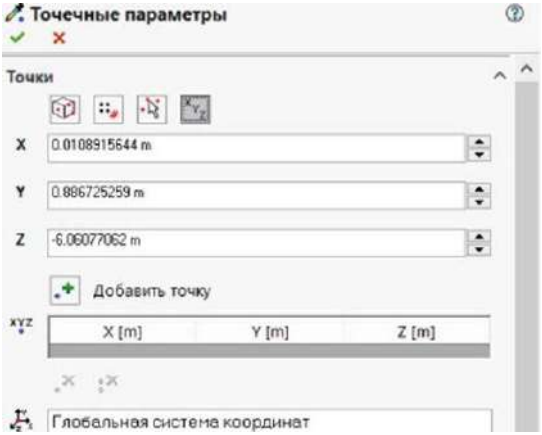


Рисунок 15.33 – Задаємо координати точки на поверхні кузова

Коефіцієнт лобового опору розраховується по формулі:

$$C_x = \frac{2F_л}{\rho_в \cdot A \cdot V^2}, \tag{15.1}$$

де Fл – сила лобового опору, 411 Н;
$\rho_в$ – щільність повітря, 1,21 кг/м^3;
A – лобова площа автомобіля (мідель), 2,22 м^2;
V – швидкість автомобіля, 30 м/с.

Для обчислення площі автомобіля по міделю необхідно спроектувати модель автомобіля на площину **«Спереди»**, після

чого залишити тільки зовнішній замкнений контур, вилучивши внутрішні лінії, і, переконавшись, що контур замкнутий, зайти у вкладку **«Анализировать»** і за допомогою інструмента **«Измерить»** обчислити площу (рис. 15.34).

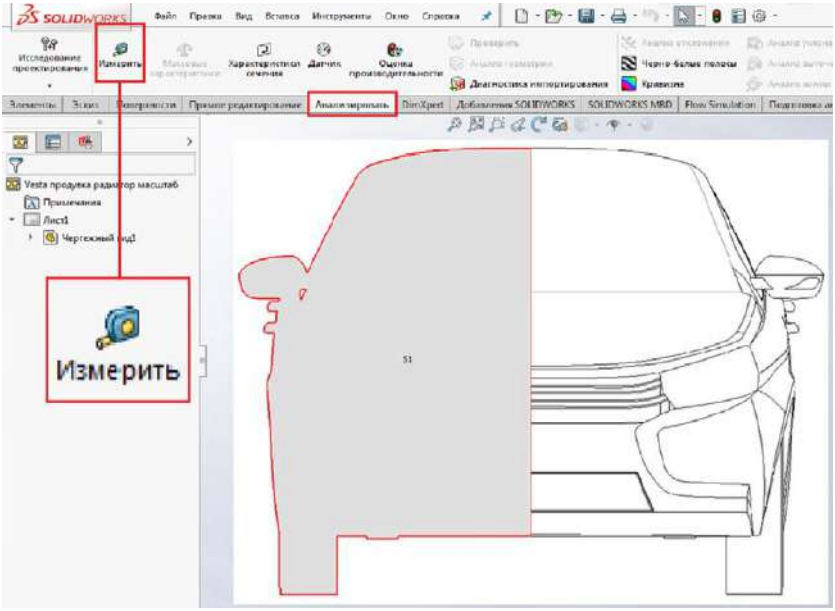


Рисунок 15.34 – Обчислення площі автомобіля по міделю

Коефіцієнт аеродинамічного опору Cx створеної моделі автомобіля в результаті розрахунків складає 0,34. У реально існуючого автомобіля LADA Vesta Cx = 0,38. Автомобілями одного класу з LADA Vesta є автомобілі показані на рис. 15.35, там же одразу вказані значення коефіцієнтів аеродинамічного опору Cx для цих моделей.

На рис. 15.36 показана сітка елементів з різним рівнем дроблення. Розрахунки коефіцієнта аеродинамічного опору Cx при настроюваннях рівня дроблення сітки 2, 4 і 8 показали, що збільшення рівня дроблення сітки з 4 до 8 незначно впливає на зміну коефіцієнта Cx, але приводить до збільшення часу розрахунків з 0,8 год до 60 год.



Hyundai Solaris (C_x = 0,30)



Kia Rio (C_x = 0,32)



Volkswagen Polo (C_x = 0,30)

Рисунок 15.35 – Автомобілі одного класу з LADA Vesta

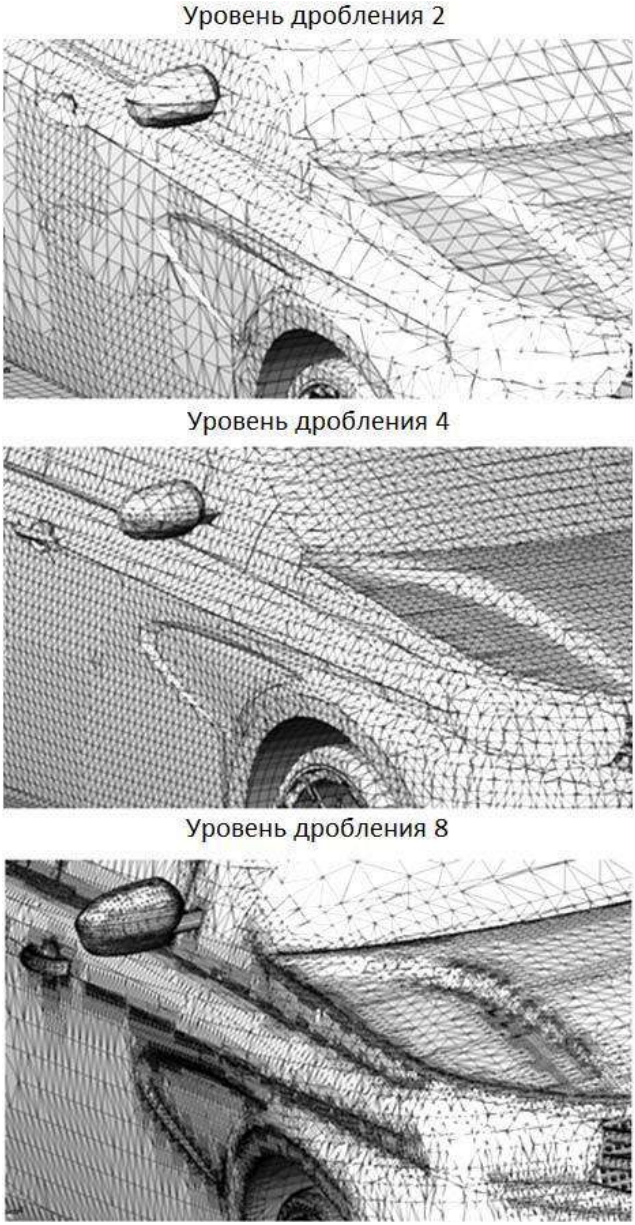


Рисунок 15.36 – Сітка елементів з різним рівнем дроблення

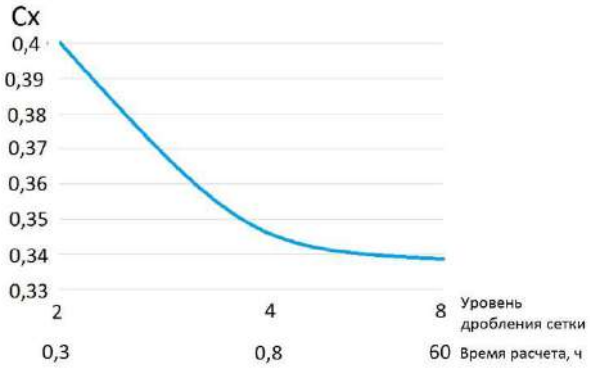


Рисунок 15.37 – Графік залежності коефіцієнта Cx від рівня дроблення сітки

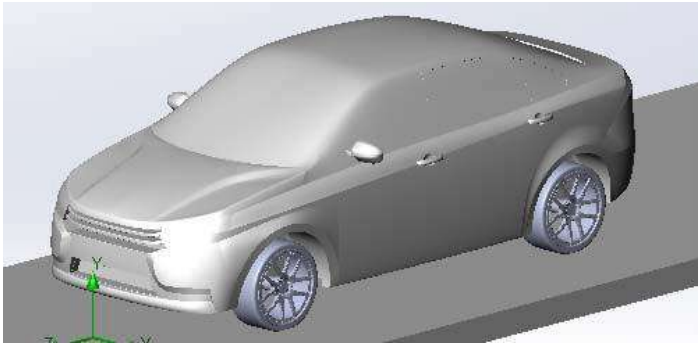


Рисунок 15.38 – Розрахункова модель

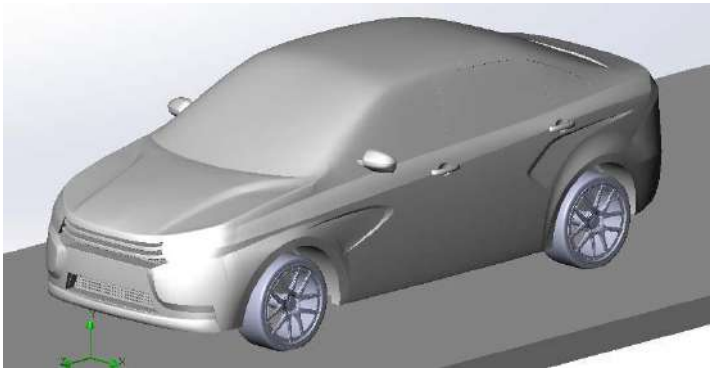


Рисунок 15.39 – Прототип LADA Vesta

Таке настроювання підходить для одержання найбільш точних результатів в аеродинамічних розрахунках при оптимізації форми окремих елементів кузова автомобіля, тому що зменшений розмір елементів найбільш точно описує форму й кривизну поверхонь моделі. Виходячи із графіка на рис. 15.36 оптимальним є рівень дроблення сітки 4.

15.4 Дослідження впливу елементів дизайну автомобіля на величину коефіцієнта аеродинамічного опору Cx

Отримана розрахункова модель (рис. 15.38) на відміну від прототипу LADA Vesta (рис. 15.39) не має на боковинах елементів дизайну у вигляді декоративних виштамповок. Додаткова продувка моделі з нанесеними елементами дизайну й наступне порівняння результатів виявило зміну руху повітряного потоку в місцях виштамповок.

На рис. 15.40 показаний розподіл тисків на поверхні кузова моделі. В області передньої виштамповки спостерігається зміна тиску – у поглибленні тиск зростає, а далі – знижується. В області задньої виштамповки зміна тиску менш яскраво виражена в порівнянні з передньою.

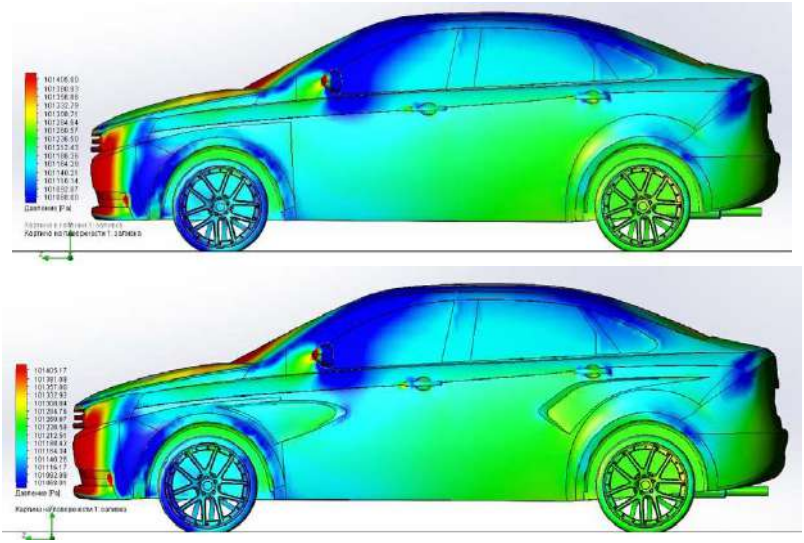


Рисунок 15.40 – Розподіл тисків на поверхні кузова моделі

Наявність елементів дизайну на поверхні кузова моделі приводить до збільшення коефіцієнта аеродинамічного опору Cx з 0,34 до 0,345.

15.5 Дослідження впливу на аеродинаміку автомобіля руху повітря через підкапотний простір

Наступним кроком аеродинамічних досліджень моделі LADA Vesta (рис. 15.39) є моделювання внутрішніх потоків повітря в підкапотному просторі з наступним виходом їх у підднищеву зону. У модель включений моторний відсік з макетами радіатора й двигуна.

Знизу створений отвір для виходу повітря. Розподіл швидкостей на поздовжній площині показано на рис. 15.41. Проходження потоку через підкапотний простір впливає на формування швидкостей як під днищем, так і зверху автомобіля (рис. 15.32).

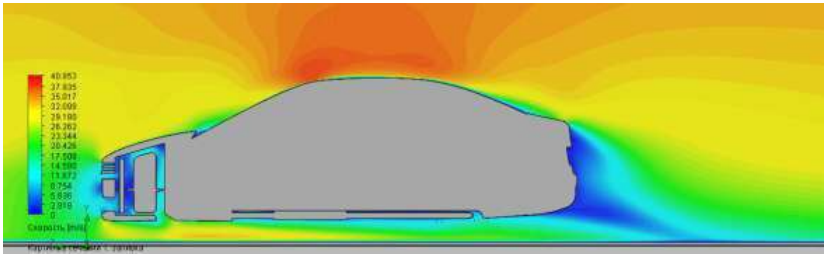


Рисунок 15.41 – Розподіл швидкостей на поздовжній площині

За результатами розрахунків сила лобового опору склала 436 Н, у результаті чого коефіцієнт аеродинамічного опору Cx збільшився до 0,36 на відміну від моделі без підкапотного простору. Можна зробити висновок, що внутрішні потоки повітря впливають на аеродинаміку автомобіля. А отже у процесі руху сила лобового опору формується всіма елементами автомобіля.

Підсумовуючи все вищесказане, слід зазначити що у даний час спостерігається широке поширення методу поетапної аеродинамічної оптимізації проектованого автомобіля. При цьому вихідним для аеродинамічної обробки є дизайнерський проект зовнішніх форм, і внесені за результатами оцінки

аеродинамічних випробувань зміни форм кузова не повинні міняти його дизайнерську концепцію.

У значній мірі це стало можливо в результаті широкого впровадження комп'ютерних методів оптимізації кузова автомобіля й досліджень його аеродинамічних властивостей у програмних ресурсах.

Розглянута методика поверхневого моделювання кузова дозволяє повністю реалізувати необхідну геометрію автомобіля. Отримані результати комп'ютерних аеродинамічних випробувань розробленої моделі дозволяють одержати задовільну збіжність Cx = 0,36 з результатами при дослідженні автомобіля Lada Vesta в аеродинамічній трубі (Cx = 0,38).

Питання для самоперевірки

1. Які типи завдань вирішує модуль Flow Simulation?
2. Які дані є вихідними для аеродинамічних досліджень автомобіля?
3. Які настройки необхідно виконати для графічного представлення набігаючого повітряного потоку?
4. Що показує коефіцієнт аеродинамічного опору?
5. Що характеризує шкала розподілу тисків повітряного потоку на поверхні кузова моделі?
6. Як задати кількість значущих цифр після коми в розрахунках?
7. Які типи задач передбачені в розрахунках?
8. Що таке базова вісь в розрахунках?
9. Яка фізична модель задачі у випадку симуляції продувок в аеродинамічній трубі?
10. Які параметри середовища треба задати для розрахунку?
11. Як можна прискорити виконання аеродинамічних розрахунків?
12. Які цілі розрахунків у випадку симуляції продувок в аеродинамічній трубі?
13. На що впливає рівень розміру сітки елементів моделі?
14. Який головний фактор визначає значення лобового опору?
15. Що таке мідель?
16. Що характеризує коефіцієнт аеродинамічного опору?
17. Як розрахувати коефіцієнт лобового опору?

18. Як розрахувати площу автомобіля по міделю?
19. Як впливають елементи дизайну автомобіля на величину коефіцієнта аеродинамічного опору?
20. На що впливає характер проходження потоку повітря через підкапотний простір автомобіля?

ЛІТЕРАТУРА

1. Sham Tickoo. SOLIDWORKS 2018 for Designers, 16th Edition. Schererville : CADCIM Technologies, 2018. 1987 p.
2. SOLIDWORKS 2018. Learn by doing - Part 1: parts, assembly, drawings, and sheet metal. Tutorial Books, 2018. 532 p.
3. SOLIDWORKS 2018. Learn by doing - Part 2: surface design. Tutorial Books, 2018. 149 p.
4. Грабченко А. І., Доброскок В. Л. Сучасні технології матеріалізації комп'ютерних моделей. Х. : НТУ "ХПІ", 2009. 86 с.
5. Грабченко А. І., Доброскок В. Л. Теорія 3D моделювання: Навч. посібник. Х. : НТУ "ХПІ", 2009. 230 с.
6. Дударева Н. Ю., Загайко С. А. SolidWorks на примерах. СПб. : БХВ-Петербург, 2011. 496 с.
7. Проектирование автомобиля. Тольятти : Изд-во ТГУ, 2013. 260 с.
8. Гончаров П. С., Артамонов И. А., Халитов Т. Ф. NX Advanced Simulation. Инженерный анализ. М. : ДМК Пресс, 2012. 504 с.
9. Данилов Ю., Артамонов И. Практическое использование NX. М. : ДМК Пресс, 2011. 332 с.
10. Дударева Н. Ю., Загайко С. А. SolidWorks. Оформление проектной документации. СПб. : БХВ-Петербург, 2009. 384 с.
11. Ловыгин А. А., Теверовский Л. В. Современный станок с ЧПУ и CAD/CAM-система. М. : ДМК Пресс, 2015. 280 с.
12. Алямовский А. А. SolidWorks Simulation. Инженерный анализ для профессионалов : задачи, методы, рекомендации. М. : ДМК Пресс, 2015. 562 с.
13. Алямовский А. А. SolidWorks Simulation. Как решать практические задачи СПб. : БХВ-Петербург, 2012. 448 с.
14. Алямовский А. А. COSMOSWorks. Основы расчета конструкций на прочность в среде SolidWorks. М. : ДМК Пресс, 2010. 784 с.
15. Алямовский А. А., Собачкин А. А., Одинцов Е. В. SolidWorks 2007/2008. Компьютерное моделирование в инженерной практике. СПб. : БХВ-Петербург, 2008. 1040 с.
16. Потемкин А. Е. Трёхмерное твердотельное моделирование. М. : КомпьютерПресс, 2002. 296 с.

17. Потемкин А. Е. Инженерная графика. Просто и доступно. М. : Лори, 2000. 480 с.
18. Большаков В. П., Тозик В. Т., Чагина А. В. Инженерная и компьютерная графика: учеб. пособие. СПб. : БХВ-Петербург, 2013. 288 с.
19. Большаков В. П., Бочков А. Л. Основы 3D-моделирования. Изучаем работу в AutoCAD, КОМПАС-3D, SolidWorks, Inventor. СПб. : Питер, 2013. 304 с.
20. Большаков В. П. Инженерная и компьютерная графика. Практикум. СПб. : БХВ-Петербург, 2004. 592 с.
21. Gahan A. 3D automotive modeling : an insider's guide to 3D car modeling and design for games and film. Burlington : Elsevier Inc., 2011. 468 p.
22. Nikola Vukašinović, Jože Duhovnik. Advanced CAD modeling. Explicit, parametric, free-form CAD and Re-engineering. Cham : Springer Nature Switzerland AG, 2019. 260 p.
23. Агапов В. П. Метод конечных элементов в статике, динамике и устойчивости пространственных тонкостенных подкрепленных конструкций. М : АСВ, 2000. 152 с.
24. Большаков В. И., Яценко Е. А., Соссу Г. Основы метода конечных элементов. Днепропетровск : ПГАСиА, 2000. 255 с.
25. Галлагер Р. Метод конечных элементов. Основы. М. : Мир, 1984. 428 с.
26. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. М. : Мир, 1975. 540 с.
27. Образцов И. Ф., Савельев Л. М., Хазанов Х. С. Метод конечных элементов в задачах строительной механики летательных аппаратов. М. : Высш. шк., 1985. 392 с.
28. Сабоннадьер Ж. К., Кулон Ж. Л. Метод конечных элементов и САПР. М. : Мир, 1989. 190 с.
29. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов. М. : Мир, 1979. 395 с.
30. Стренг Г., Фикс Дж. Теория метода конечных элементов. М. : Мир, 1977. 351 с.
31. Алиева Н. П., Журбенко П. А., Сенченкова Л. С. Построение моделей и создание чертежей деталей в системе Autodesk Inventor. Саратов : Профобразование, 2017. 112 с.
32. Каменев С. В. Моделирование станка-гексапода в CAD-

системе Autodesk Inventor. Оренбург : ОГУ, 2017. 142 с.
33. Kishore T. Learn Autodesk Inventor 2018 Basics: 3D Modeling, 2D Graphics, and Assembly Design. Hyderabad : Apress, 2017. 542 p.
34. Bob McFarlane. Autodesk Inventor exercises for Autodesk Inventor and other feature-based modelling software. New York : Routledge, 2017. 432 p.
35. Randy H. Shih. Autodesk Inventor 2019 and engineering graphics. Mission, KS : SDC Publications, 2018. 705 p.
36. Randy H. Shih. Parametric modeling with Autodesk Inventor 2018. Mission, KS : SDC Publications, 2017. 618 p.
37. Autodesk Inventor 2018 basics tutorial. Tutorial Books, 2017. 189 p.
38. T-FLEX CAD. Основы. 2D проектирование и черчение. Руководство пользователя. М. : Топ Системы, 2019. 1407 с.
39. T-FLEX CAD. Трёхмерное моделирование. Руководство пользователя. М. : Топ Системы, 2019. 1415 с.
40. Потемкин А. Е. Твердотельное моделирование в системе КОМПАС-3D. М. : БХВ-Петербург, 2004. 512 с.
41. АРМ FEM. Система прочностного анализа для КОМПАС-3D. Королёв : Научно-технический центр "Автоматизированное Проектирование Машин", 2014. 26 с.
42. Ганин Н. Б. Проектирование и прочностной расчет в системе КОМПАС-3D V13. Саратов : Профобразование, 2017. 320 с.
43. Денисов М. А. Автоматизированное проектирование в ANSYS и КОМПАС-3D. Екатеринбург, Изд-во Урал. ун-та, 2015. 264 с.
44. Жарков Н. В., Минеев М. А., Финков М. В. КОМПАС-3D. Полное руководство. От новичка до профессионала. Спб. : Наука и техника, 2016. 672 с.
45. Зиновьев Д. В. Основы проектирования в КОМПАС-3D V16. Павлоград : Студия Vertex, 2017. 327 с.
46. Конакова И. П. Шероховатости поверхностей и их практическое применение в программе КОМПАС. Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2014. 104 с.
47. Корнеев В.Р., Жарков Н. В., Минеев М. А. Компас-3D на примерах. Для студентов, инженеров и не только. Спб. : Наука и техника, 2017. 272 с.

48. Савченко Н. В. Автоматизация построения чертежей. Лабораторный практикум по инженерной и компьютерной графике в системе КОМПАС-3D. Самара : Изд-во СГАУ, 2015. 216 с.
49. Басов К. А. ANSYS : справочник пользователя. Саратов : Профобразование, 2017. 640 с.
50. Chen Xiaolin, Liu Yijun. Finite Element Modeling and Simulation with ANSYS Workbench. Boca Raton : CRC Press, 2015. 408 p.
51. David Moratal. Finite element analysis from biomedical applications. Valencia : Polytechnic University of Valencia, 2016. 507 p.
52. Erdogan Madenci, Ibrahim Guven. The Finite element method and applications in engineering using ANSYS. New York : Springer International Publishing, 2015. 663 p.
53. Farzad Ebrahimi. Finite element analysis new trends and developments. Iran : International University of Imam Khomeini, 2016. 408 p.
54. Mary Kathryn Thompson, John M. Thompson. ANSYS Mechanical APDL for finite element analysis Oxford : Butterworth-Heinemann, 2017. 438 p.
55. Saeed Moaveni. Finite element analysis. Theory and application with ANSYS. Essex : Pearson Education Limited, 2015. 929 p.
56. Sham Tickoo. CATIA V5-6R2015 for designers. Hammond : CADCIM Technologies, 2016. 1630 p.
57. CATIA v6 essentials. Sudbury : Jones and Bartlett Publishers, 2011. 305 p.
58. Gaurav Verma, Matt Weber. Creo Parametric 4.0 Black Book. USA : CADCAMCAE Works, 2017. 737 p.
59. Paul Obiora Kanife. Computer aided virtual manufacturing using Creo Parametric. Notting Hill : Springer, 2016. 678 p.
60. Creo Parametric 4.0 Basics. Tutorial Books, 2017. 311 p.
61. Jouni Ahola. Creo Parametric Modeling for Manufacturing v3. Helsinki : Klaava Media, 2015. 750 p.
62. Jouni Ahola. Creo Parametric Basic Turning. Helsinki : Klaava Media, 2015. 520 p.
63. Jouni Ahola. Creo Parametric Milling. Helsinki: Klaava Media, 2015. 589 p.
64. NX для конструктора-машиностроителя / П. С. Гончаров и др.

Москва : ДМК Пресс, 2010. 504 с.
65. Почекуев Е. Н., Путеев П. А., Шенбергер П. Н. Проектирование в Siemens NX технологических процессов изготовления деталей листовой штамповкой. Тольятти : Изд-во ТГУ, 2014. 230 с.
66. Почекуев Е. Н., Путеев П. А., Шенбергер П. Н. Проектирование штампов для последовательной листовой штамповки в системе NX. М. : ДМК Пресс, 2012. 336 с.
67. Федоров А. Л., Сафонов М. В. Основы проектирования сборочно-сварочной оснастки с помощью пакета NX. Тольятти : Изд-во ТГУ, 2016. 68 с.
68. Поляков А. Н. Разработка управляющих программ для станков с ЧПУ. Система NX. Фрезерование. Оренбург : Оренбургский гос. ун-т., 2016. 171 с.
69. Поляков А. Н. Разработка управляющих программ для станков с ЧПУ. Система NX. Часть II. Оренбург : Оренбургский гос. ун-т., 2016. 118 с.
70. Reiner Anderl, Peter Binde. Simulations with NX. Kinematics, FEA, CFD, EM and Data Management. With numerous examples of NX 9. Munich : Carl Hanser Verlag, 2014. 390 p.
71. Sham Tickoo. Siemens NX 12.0 for Designers, 11th Edition. Schererville : CADCIM Technologies, 2018. 1140 p.
72. Jože Duhovnik, Ivan Demšar, Primoz Drešar. Space Modeling with SolidWorks and NX. Ljubljana : University of Ljubljana, 2015. 500 p.
73. Рычков С. П. Моделирование конструкций в среде Femap with NX Nastran. М. : ДМК Пресс, 2013. 784 с.
74. Бражникова О. И. Компьютерный дизайн художественных изделий в программах Autodesk 3DS Max и Rhinoceros. Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2016. 100 с.
75. Фомин Б. Rhinoceros. NURBS моделирование для Windows. USA : Robert McNeel & Associates, 2006. 290 с.
76. Andre Kutscherauer. 3D Car Modeling with Rhinoceros. Munich : AK3D, 2011. 624 p.
77. Fletcher Dunn, Ian Parberry. 3D Math Primer for Graphics and Game Development. Plano, Texas : Word ware Publishing, Inc., 2002. 440 p.
78. Joseph Richard Saltzman. Supermodels Professional 3D Training

Tools. Buckinghamshire : Cinemagic Productions Limited, 1999. 970 p.
79. Ron K.C. Cheng. Inside Rhinoceros 5. Stamford : Cengage Learning, 2014. 658 p.
80. Ali K. Kamrani, Emad Abouel Nasr. Engineering Design and Rapid Prototyping. London : Springer Science+Business Media, LLC, 2010. 460 p.
81. Ian Gibson, David Rosen, Brent Stucker. Additive manufacturing technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing. New York : Springer Science + Business Media New York, 2015. 510 p.
82. Kuang-Hua Chang. Product design modeling using CAD/CAE. The computer aided engineering design series. Waltham : Elsevier Inc., 2014. 421 p.
83. Осипов В. И. Компьютерные технологии при проектировании и аэродинамических исследованиях легкового автомобиля. М. : МАДИ, 2018. 100 с.

Інформаційні ресурси

84. 3D-моделирование: тонкости CAD-дизайна для 3D-печати. https://3dtoday.ru/category/3d-modelirovanie (дата звернення: 27.10.2021)
85. АСКОН - комплексные решения для автоматизации инженерной деятельности и управления производством. CAD/AEC/PLM. URL: https://ascon.ru/products/7/review/. (дата звернення: 10.10.2021)
86. Система NX (колишня назва - Unigraphics) компанії Siemens. URL: https://www.plm.automation.siemens.com/global/ru/products/nx/. (дата звернення: 10.10.2021)
87. Система CATIA. URL: https://www.3ds.com/products-services/catia/. (дата звернення: 10.10.2021)
88. Система SolidWorks. URL: https://www.solidworks.com. (дата звернення: 10.10.2021)
89. Welcom to ANSYS, Inc. – Corporate Homepage. URL: https://www.ansys.com. (дата звернення: 10.10.2021)
90. Система PTC Creo Elements/Pro (колишня назва Pro/ENGINEER) компанії PTC (Parametric Technology

Corporation). URL: https://www.ptc.com/en/industries/automotive. (дата звернення: 10.10.2021)
91. Система Solidedge компанії Siemens. URL: https://solidedge.siemens.com/ru/. (дата звернення: 10.10.2021)
92. Система T-FLEX. URL: http://www.tflex.ru/. (дата звернення: 27.10.2021)
93. Система Autodesk Inventor. URL: https://www.autodesk.com/products/inventor/overview. (дата звернення: 27.10.2021)

ДЛЯ НОТАТОК

Навчальне видання

АРТЮХ Олександр Миколайович
ДУДАРЕНКО Ольга Василівна
КУЗЬМІН Віктор Володимрович
СОСИК Андрій Юрійович
ЩЕРБИНА Андрій Васильович

АВТОМАТИЗОВАНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ АВТОТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ТА ЗАСОБІВ ЇХ ДІАГНОСТУВАННЯ

Навчальний посібник

Технічні редактори: Білостоцька А. О., Желізний О. І.,
Пругло А. М., Решетняк О. В.
Комп'ютерний набір: Білостоцька А. О., Желізний О. І.,
Пругло А. М., Решетняк О. В.
Комп'ютерна верстка: Білостоцька А. О., Желізний О. І.,
Пругло А. М., Решетняк О. В.

Підписано до друку 30.12.2021. Формат 60×84/16. Ум. друк. арк. 31,39.
Тираж 100 прим. Зам. № 1031.

Національний університет «Запорізька політехніка»
Україна, 69063, м. Запоріжжя, вул. Жуковського, 64
Тел.: (061) 769–82–96, 220–12–14

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6952 від 22.10.2019.