

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет «Запорізька політехніка»

ТЕКСТИ (конспект лекцій) з дисципліни

"Автоматизоване проектування елементів автотранспортних засобів та засобів їх діагностування"

для студентів спеціальності 133 "Галузеве машинобудування"

("Колісні та гусеничні транспортні засоби"),

усіх форм навчання

Частина 6 - змістовий модуль 2.

Створення деталей, складань і креслень.

Методи поверхневого моделювання.

Використання розрахункових модулів

2019

ТЕКСТИ (конспект лекцій) з дисципліни "Автоматизоване проектування елементів автотранспортних засобів та засобів їх діагностування" для студентів спеціальності 133 "Талузеве машинобудування" ("Колісні та гусеничні транспортні засоби") усіх форм навчання. Частина 6 - змістовий модуль 2. Створення деталей, складань і креслень. Методи поверхневого моделювання. Використання розрахункових модулів / Укл. : О. М. Артюх, О. В. Дударенко, А. Ю. Сосик, А. В. Щербина. Запоріжжя : НУ "Запорізька політехніка", 2019. 102 с.

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

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

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

Затверджено
на засіданні кафедри "Автомобілі"
Протокол № 2
від « 2 » грудня 2019.

Рекомендовано для видання
НМК Транспортного факультету
Протокол № 84
від « 12 » грудня 2019.

ЗМІСТ**Частина 6**

Вступ	478
Тематичний план лекційних занять	480
Лекція № 14. Розробка зовнішніх форм кузова автомобіля.....	483
Лекція № 15. Аеродинамічні дослідження моделі кузова автомобіля.....	546
Рекомендована література	571
Базова.....	571
Допоміжна.....	571
Інформаційні ресурси.....	576

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 розбудовується, причому рух відбувається й за рахунок розвитку наявних можливостей, і через розширення кола розв'язуваних завдань: власне моделювання й проектування, оформлення документації, керування проектами, опису технологічних процесів, підготовки керуючих програм для устаткування із програмним керуванням тощо.

Про актуальність застосування в навчальному процесі саме САПР Solidworks, говорить наявність у ній інтегрованих розрахунко-

вих модулів сімейства Simulation: власне Simulation (раніше - CosmosWorks); Flow Simulation (раніше - CosmosFlowworks) і Solidworks Motion (раніше CosmosMotion) - які дозволяють виконувати складні розрахунки й аналіз проєктованих систем на всіх етапах створення автомобіля. А застосування 3D-моделювання вже на початковому етапі проєктування, при проведенні проєктно-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 проєктної роботи.

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

У лекційному курсі спочатку розглянуто проєктування простих об'єктів, потім елементів складальних одиниць, на закінчення показані принципи 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 проєктного завдання по реальній тематиці.

ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН ЛЕКЦІЙНИХ ЗАНЯТЬ

Загальний об'єм курсу становить 30 годин і складається з двох змістових модулів. Даний конспект лекцій дисципліни "Автоматизоване проектування елементів автотранспортних засобів та засобів їх діагностування" складається з двох частин, і розроблений відповідно до:

Робоча програма з дисципліни "Автоматизоване проектування елементів автотранспортних засобів та засобів їх діагностування" для студентів за напрямом підготовки 6.050503 – "Машинобудування", спеціальністю 133 - Галузеве машинобудування (Колісні та гусеничні транспортні засоби), усіх форм навчання. Запоріжжя : ЗНТУ, 2019. 25 с.

Нижче наведено назву змістового модуля дисципліни "Автоматизоване проектування елементів автотранспортних засобів та засобів їх діагностування", найменування тем лекційних занять в модулі і вказано кількість годин аудиторних занять, для студентів денної форми навчання, окремо для кожної лекції.

Для кожної теми лекції вказано перелік питань які треба розглянути під час даної лекції. Слід враховувати те, що в даному конспекті лекцій приведено лише стислий огляд питань кожної лекції. Крім того навчальним планом дисципліни передбачено активну самостійну роботу студентів за вказаними темами курсу.

Вкінці кожної лекції наведено перелік питань для самоперевірки. Для самостійної роботи студенту слід користуватися рекомендованою літературою для вивчення дисципліни, перелік якої наведено в кінці даного конспекту лекцій, а також використовувати розроблені методичні вказівки:

Методичні вказівки з вивчення дисципліни "Автоматизоване проектування елементів автотранспортних засобів та засобів їх діагностування" та виконання контрольних завдань, для студентів спеціальності 133 "Галузеве машинобудування" ("Колісні та гусеничні транспортні засоби"), усіх форм навчання / Укл. : О. М. Артюх, О. В. Дударенко, А. Ю. Сосик, А. В. Щербина. Запоріжжя : НУ "Запорізька політехніка", 2019. 62 с.

Змістовий модуль 2. Створення деталей, складань і креслень. Методи поверхневого моделювання. Використання розрахункових модулів.

Тема 8. Робота з конфігураціями деталей (2 год.)

Основні відомості про конфігурацію деталей. Створення нової конфігурації. Редагування конфігурацій. Створення конфігурацій: вручну, за допомогою таблиці параметрів та за допомогою діалогового вікна.

Тема 9. Створення деталей з листового матеріалу (2 год.)

Основні способи побудови деталей з листового матеріалу. Створення деталей з листового матеріалу. Перетворення твердого тіла в деталь із листового матеріалу. Конструювання деталі із твердого тіла й перетворення в деталь із листового матеріалу.

Тема 10.Робота зі зварними конструкціями (2 год.)

Основні принципи створення зварних конструкцій. Створення зварної конструкції із тривимірного ескізу. Створення власних профілів. Створення зварної конструкції за допомогою багатотільної деталі.

Тема 11.Створення складань деталей (2 год.)

Основні принципи створення складань. Побудова складання "знизу-нагору". Побудова складання "зверху-униз".

Тема 12.Робота з ливарними формами (2 год.)

Основні принципи створення ливарних форм. Оформлення порожнини ливарної форми. Проста ливарна форма. Оформлення ливарної форми зі складним розніманням. Проектування ливарної форми.

Тема 13.Оформлення креслень (2 год.)

Основні принципи оформлення креслень в Solidworks. Створення додаткових видів. Додавання приміток. Настроювання розмірних ліній. Настроювання відображення тексту розміру. Оформлення скла-

дального креслення. Оформлення специфікації.

Тема 14. Розробка зовнішніх форм кузова автомобіля (2 год.)

Підготовка вихідних матеріалів і створення видових ескізів проєктованого автомобіля. Проєктування елементів моделі кузова автомобіля методом поверхневого моделювання. Проєктування коліс автомобіля методами твердотільного моделювання. Складання моделі кузов-колеса-дорога.

Тема 15. Аеродинамічні дослідження моделі кузова автомобіля (2 год.)

Введення вихідних даних, налаштування розрахункових програм і послідовність аеродинамічних розрахунків. Аналіз графічних результатів дослідження отриманої 3D-моделі. Розрахунки коефіцієнта аеродинамічного опору. Дослідження впливу елементів дизайну автомобіля на величину коефіцієнта аеродинамічного опору.

ЛЕКЦІЯ № 14. РОЗРОБКА ЗОВНІШНІХ ФОРМ КУЗОВА АВТОМОБІЛЯ

План лекції. Підготовка вихідних матеріалів і створення видових ескізів проєктованого автомобіля. Проектування елементів моделі кузова автомобіля методом поверхневого моделювання. Проектування коліс автомобіля методами твердотільного моделювання. Складання моделі кузов-колеса-дорога.

Література: [1] - [3], [6], [10], [15], [74] - [83].

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 проєкцій у будь-якому редакторі, наприклад Paint, Photoshop (рис. 14.1).

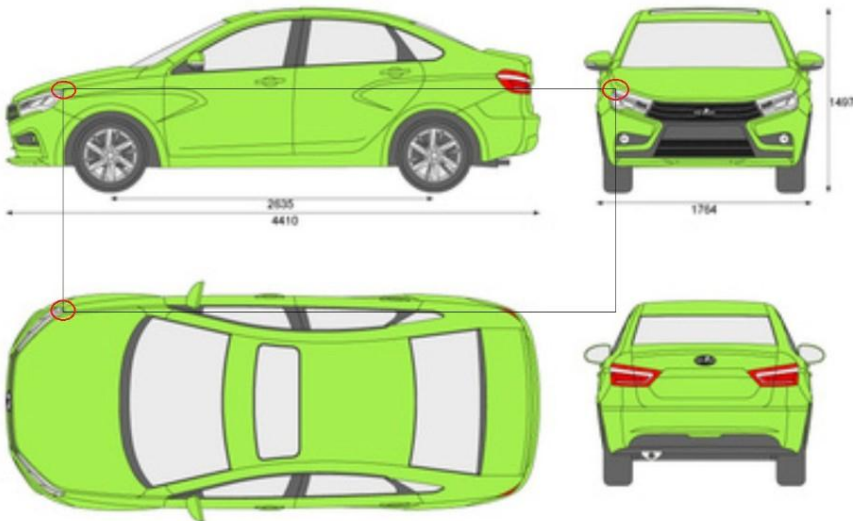


Рисунок 14.1 - Ескіз майбутньої моделі автомобіля в 4 видах

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).

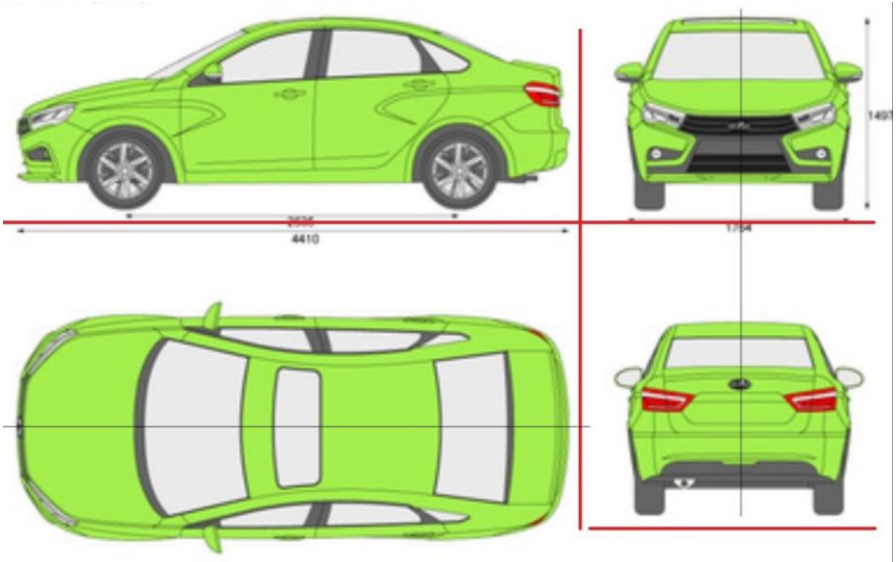


Рисунок 14.2 - Компоування видів

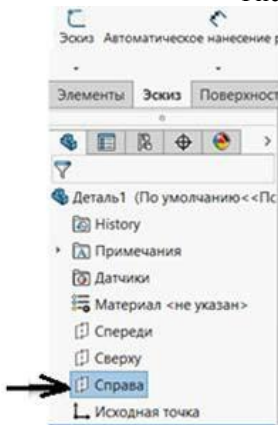


Рисунок 14.3 - Вибір площини «Справа»

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 натиснути 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, вказуємо папку, у якій перебуває картинка із кресленням виду «Справа». Після цього вибираємо цю картинку й натискаємо кнопку «Открыть» (рис. 14.5).

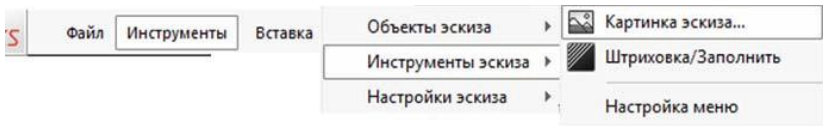


Рисунок 14.4 - Створення ескізу

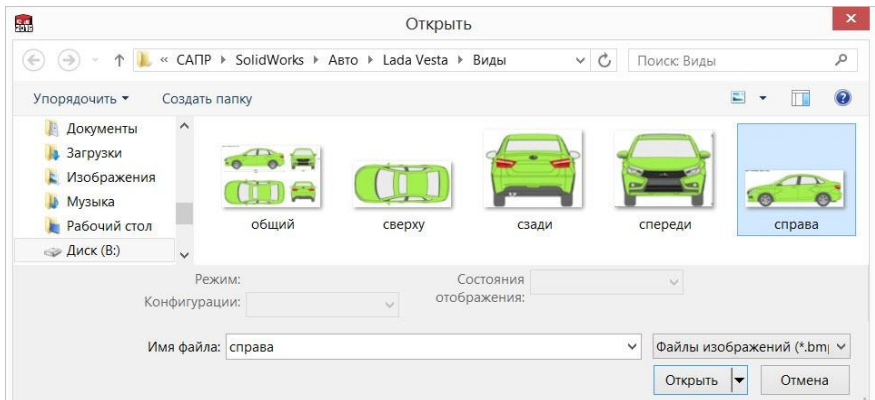


Рисунок 14.5 - Вибір картинку для площини

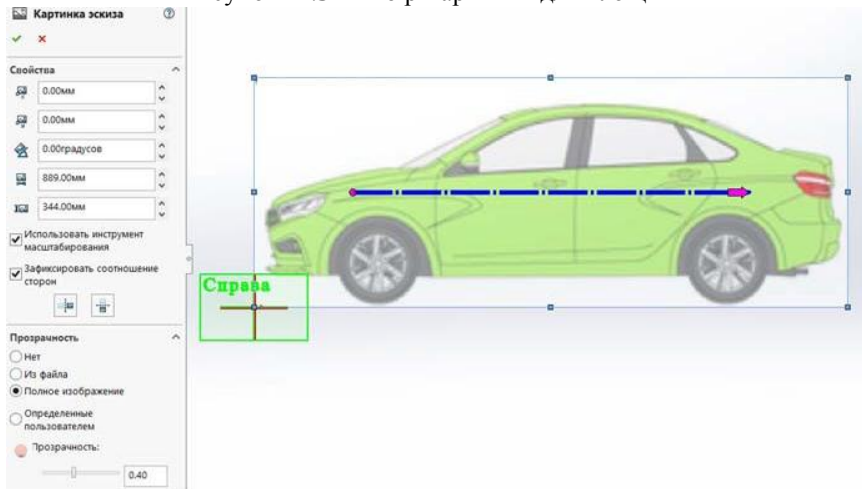


Рисунок 14.6 - Встановлюємо рівень прозорості картинку

Розташовуємо картинку ескізу, як пропонує програма. У вікні налаштувань у пункті «Прозрачність» вибираємо «**Полное изображение**» і після цього задаємо прозорість 0.40 (рис. 14.6). Розмір картини залишаємо за замовчуванням, щоб якість картини 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**».

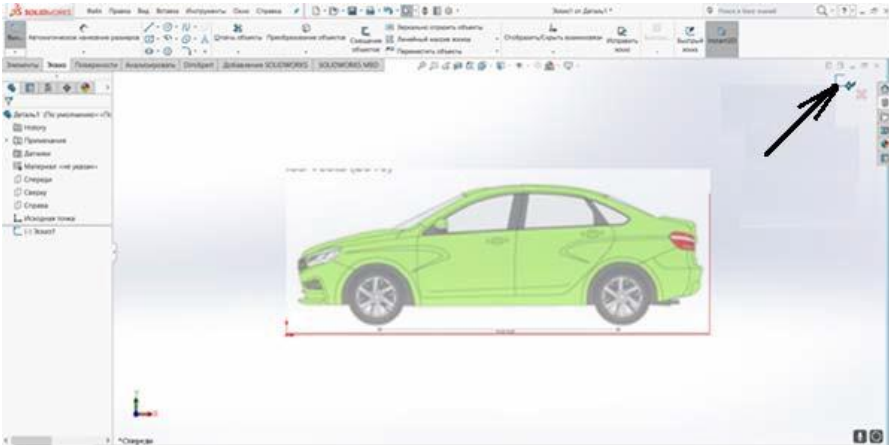


Рисунок 14.7 - Створено «Эскиз 1»

Далі розміщуємо креслення ескізу на площину виду «**Сверху**». Для цього вибираємо в «**Дерево построений**» вид «**Сверху**», натискаємо праву кнопку миші, після цього натискаємо «**Перпендикулярно**» і створюємо «**Эскиз**». Після цього повторюємо дії, описані вище.

Після розміщення картини 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, встановлюємо

настроювання, так як показано на рис. 14.10. Вибираємо «Спереди», встановлюємо розмір «520» і натискаємо «ОК».

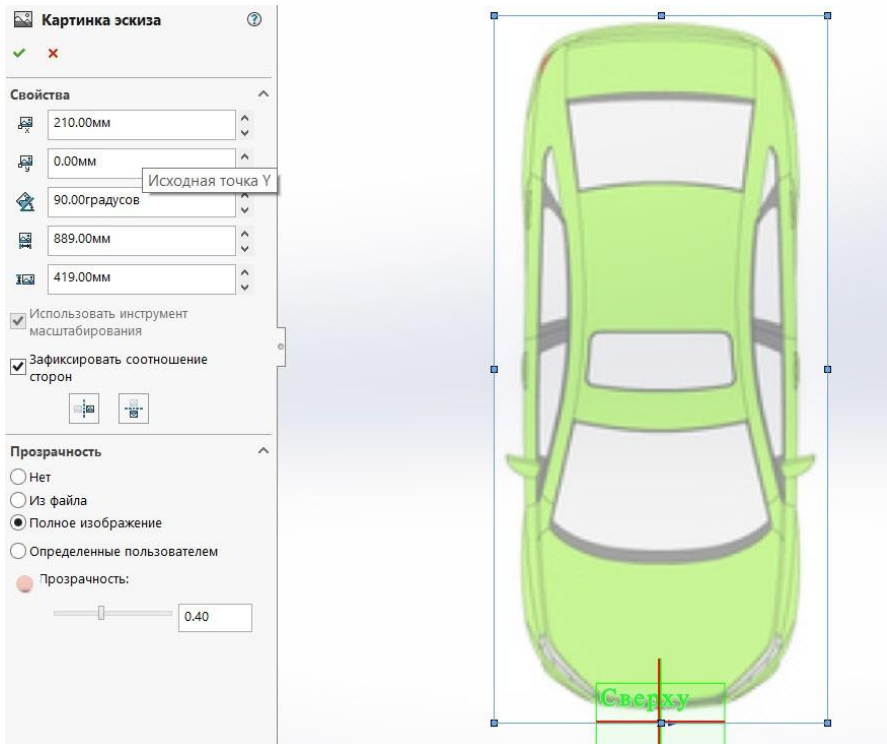


Рисунок 14.8 - Вирівнювання зображення

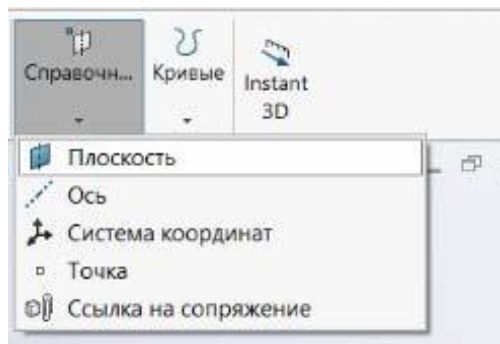


Рисунок 14.9 - Створюємо площину для виду «Спереди»

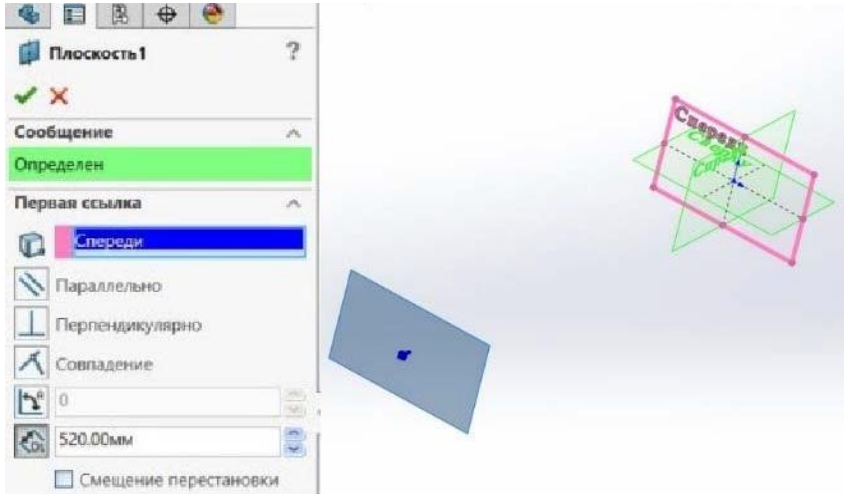


Рисунок 14.10 - Задаємо відстань для площини

Після цього встановлюємо на створену площину креслення ескізу виду «Спереди». Для цього вибираємо в «Дереве построений» створену площину й на ній створюємо ескіз.

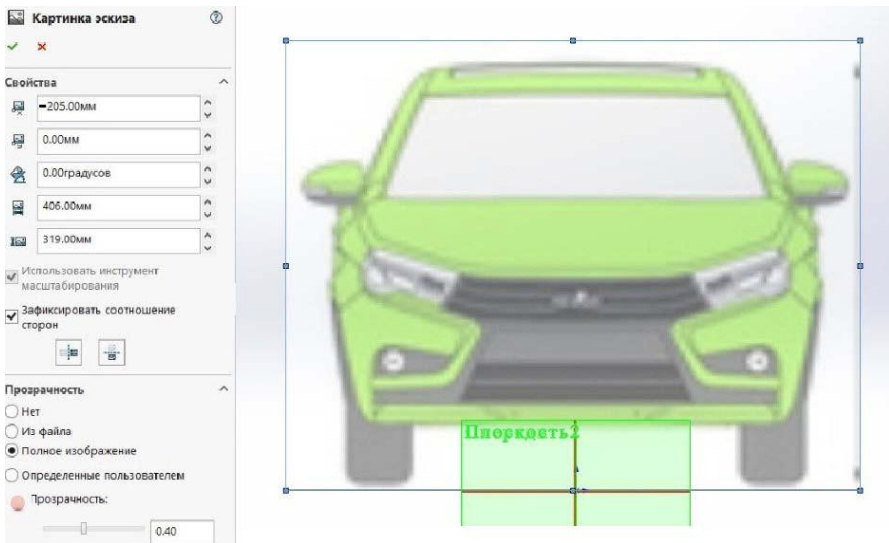


Рисунок 14.11 - Створюємо ескіз на площині і розміщуємо картинку

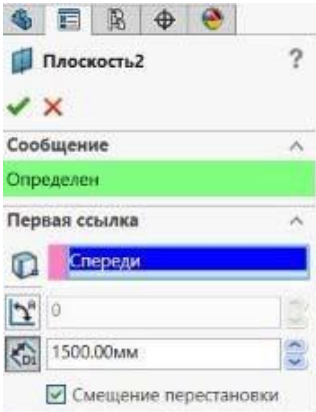


Рисунок 14.12 - Настройка
площину

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.

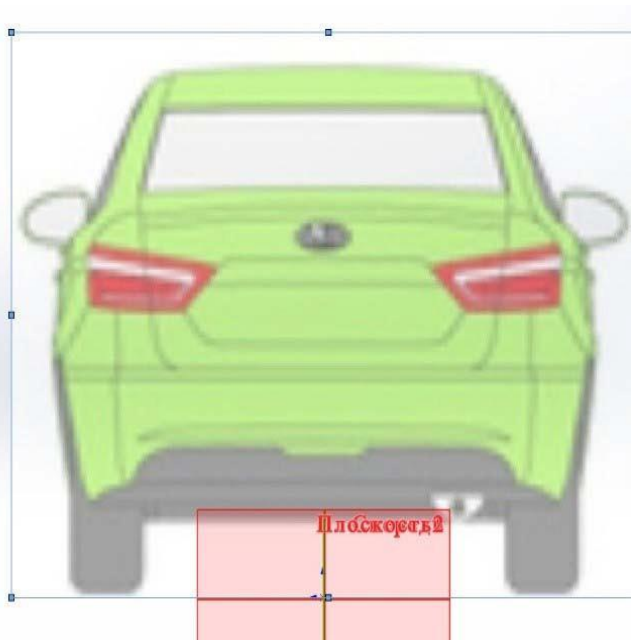
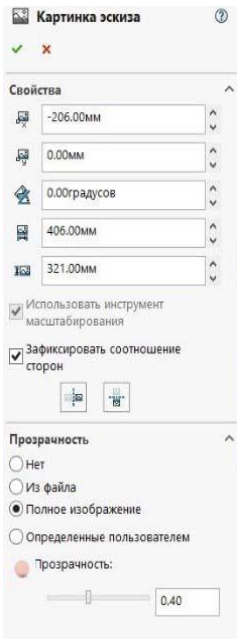


Рисунок 14.13 - Вставка изображения для вида «Сзади»

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. Налаштування 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 налаштування для площини ескізу «Сзади».

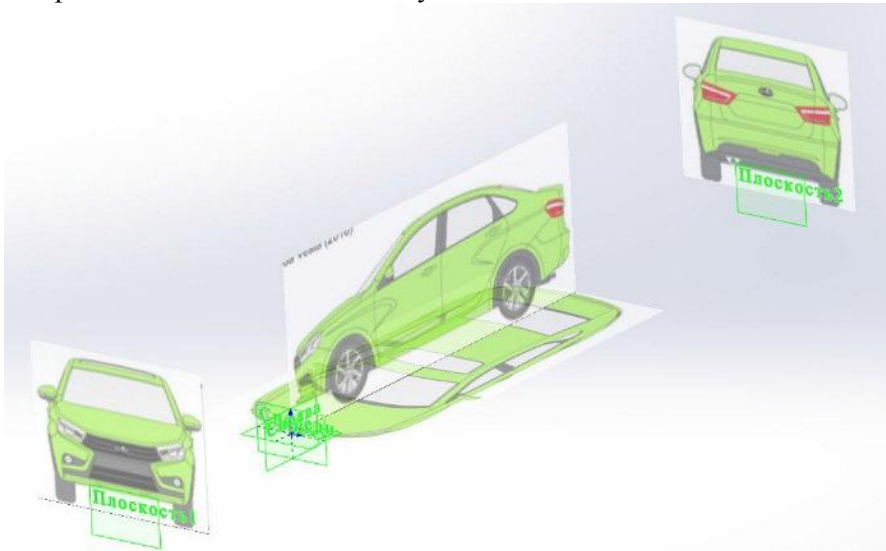


Рисунок 14.14 - Розташування видових ескізів

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 твердотілого 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. 14.12).

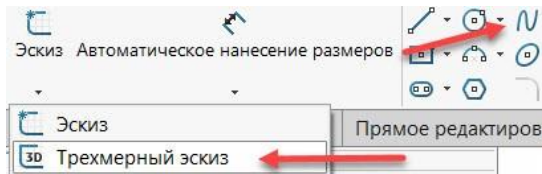


Рисунок 14.15 - Інструменти моделювання

Створюємо 3D-ескіз за допомогою команди сплайн. У кожній точці сплайна є керуючі вектори, за допомогою яких задається необхідна кривизна (рис. 14.16). На виді «Справа» обводимо сплайном верхній контур боковини (рис. 14.17).

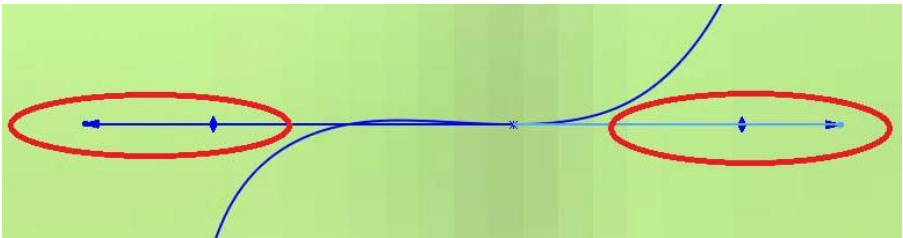


Рисунок 14.16 - Елементи сплайну

На виді «Сверху» натисканням правою кнопкою миші виберемо «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».

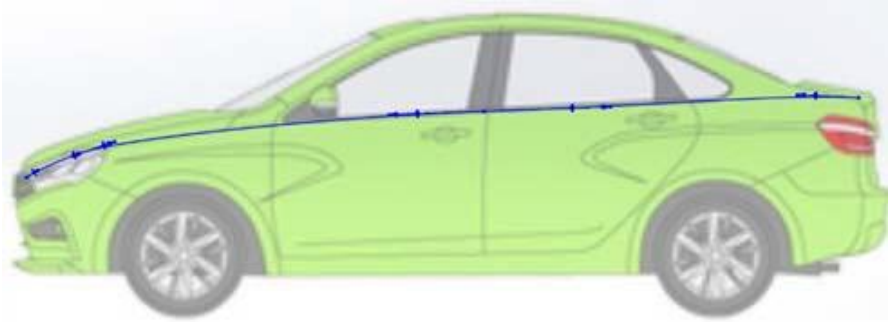


Рисунок 14.17 - Обводимо сплайном верхній контур боковини

За допомогою керуючих стрілок пересуваємо по осі X відносно до верхньої боковини, як показано на рис. 14.18. Цією ж командою переміщаємо точки сплайна (рис. 14.19).

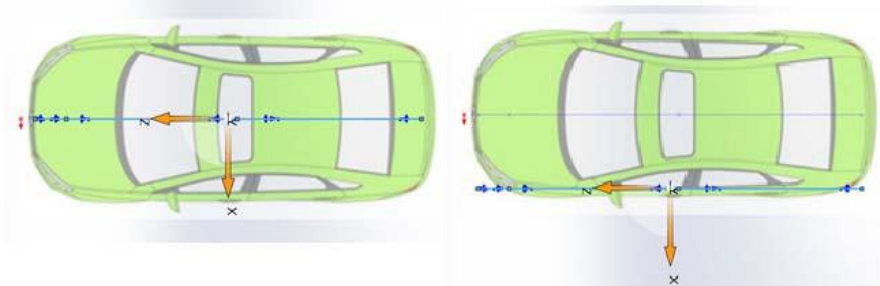


Рисунок 14.18 - Зміна положення сплайну

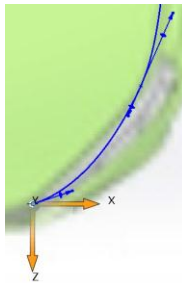


Рисунок 14.19 - Переміщаємо точки сплайна

Задаємо необхідну кривизну сплайна по контуру кузова автомобіля (рис. 14.20) і розвертаємо рис. 14.20 до одержання виду «Спереди». На виді «Спереди» одержуємо готову форму сплайна, тому що для його створення досить двох проекцій. Готову форму сплайна необхідно вивести з «Ескиза» у верхній частині екрана синьою кнопкою. Коректуємо кривизну до необхідної форми (рис. 14.21).

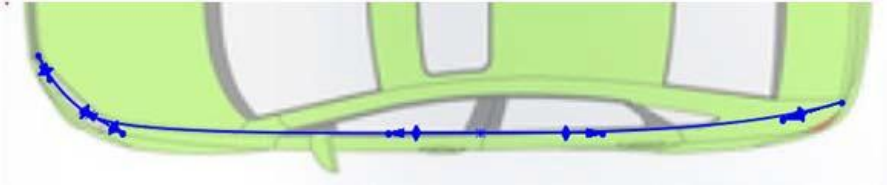


Рисунок 14.20 - Задаємо необхідну кривизну сплайна по контуру кузова

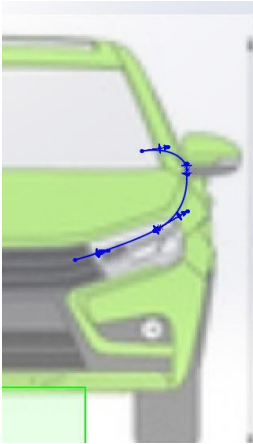


Рисунок 14.21 -
Коректуємо кривизну

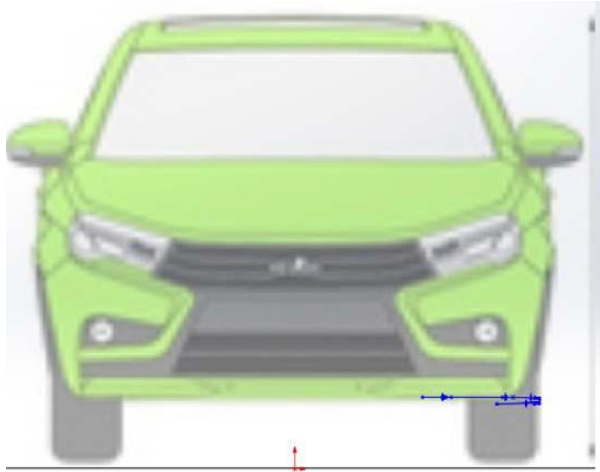


Рисунок 14.22 - Розташування
нижнього сплайну

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 «Ес-

киз» і ставимо відмітку напроти «Поверхности» (рис. 14.24).

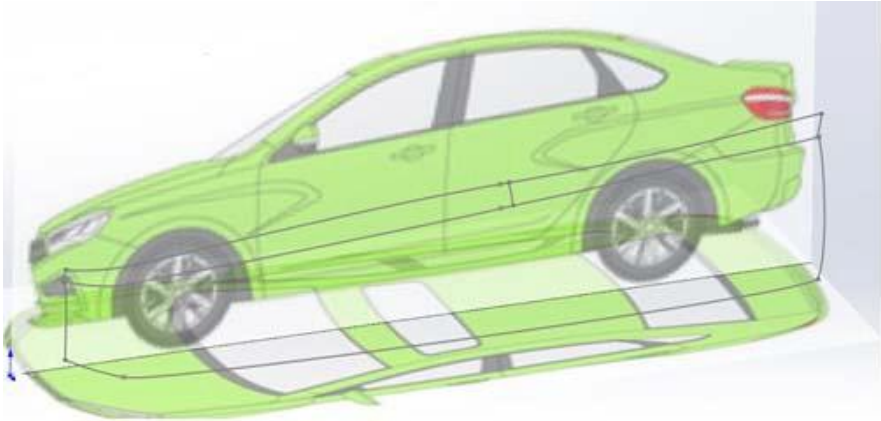


Рисунок 14.23 - Створення сплайнів для поверхонь

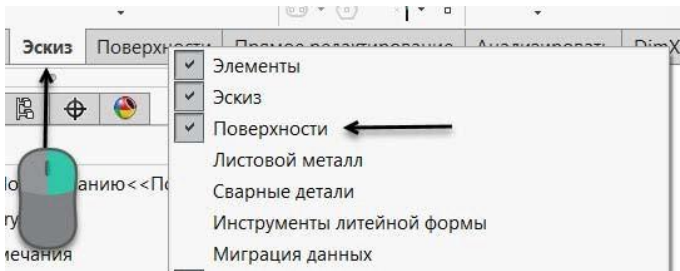


Рисунок 14.24 - Инструменты для работы с поверхнями

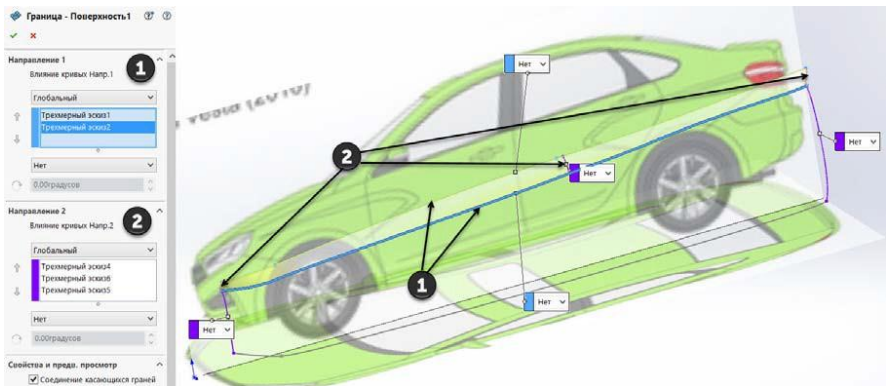


Рисунок 14.25 - Вибираємо ескізи в поздовжньому напрямку

За допомогою команди «**Поверхність границь**» у напрямку 1 вибираємо ескізи в поздовжньому напрямку (уздовж кузова), а в напрямку 2 – у поперечному (вертикально кузову). Перевіряємо параметри й погоджуємося з налаштуваннями (рис. 14.25). Після цього буде створена поверхня (рис. 14.26).



Рисунок 14.26 - Створена поверхня

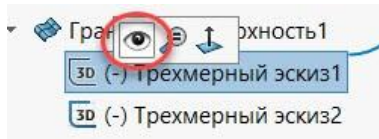


Рисунок 14.27 - Управління ескізами

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 проникання**». Для цього, утримуючи кнопку «**Ctrl**», вибираємо точку сплайна й необхідний ескіз. Потім

у вікні налаштувань, що відкрилося, вибираємо параметр «Точка прозання» (рис. 14.29).

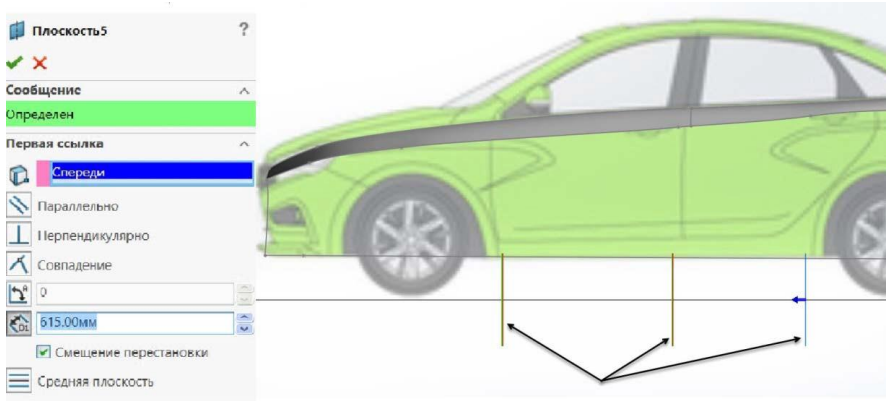


Рисунок 14.28 - Створюємо допоміжні площини для ескізів

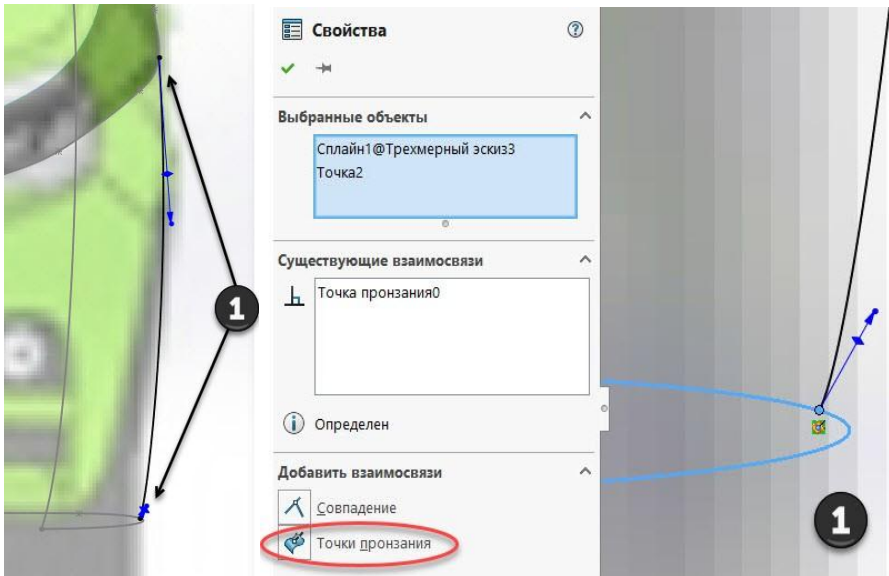


Рисунок 14.29 - Вибираємо параметр «Точка прозання»

Для зручності роботи кожний створений ескіз можна «приховувати», а після створення останнього ескізу знову зробити їх видимими.

ми. Далі будуємо другу поверхню (рис. 14.30). Далі необхідно зшити створені поверхні за допомогою команди «**Поверхність сшить**», що перебуває у вкладці «**Поверхности**». Для цього вибираємо поверхні й погоджуємося з налаштуваннями (рис. 14.31).

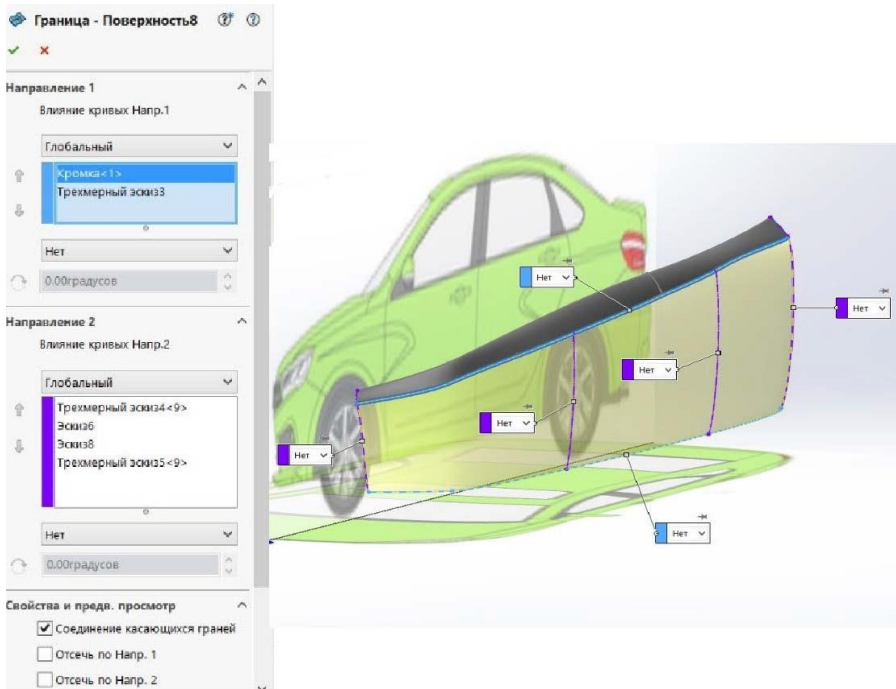


Рисунок 14.30 - Будуємо другу поверхню

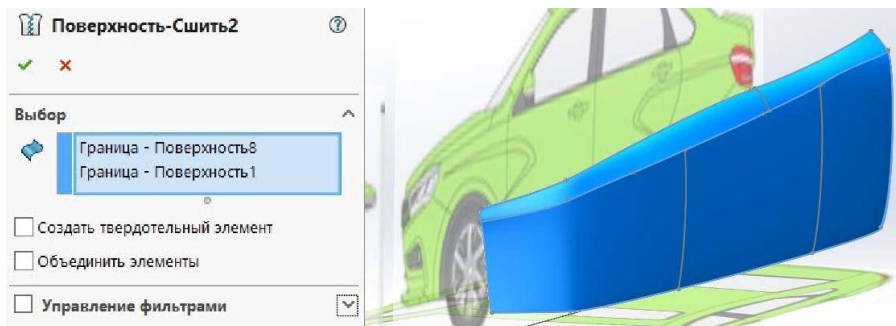


Рисунок 14.31 - Вибираємо поверхні й погоджуємося з налаштуваннями

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. 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).

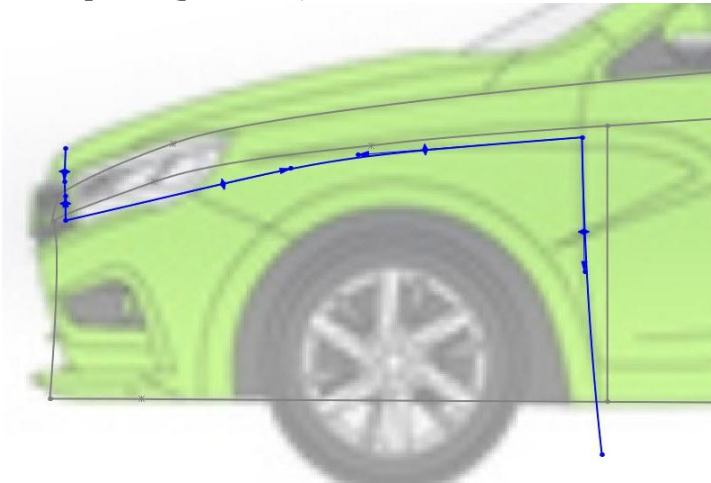


Рисунок 14.32 - Створюємо ескіз на площині «Справа»

Для цього застосуємо команду «**Отсечь поверхность**». У налаштуваннях вибираємо тип відсікання «**Стандарт**», інструмент відсікання – раніше створений ескіз. Вибираємо частину поверхні, яку треба вилучити, і погоджуємося з налаштуваннями (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).

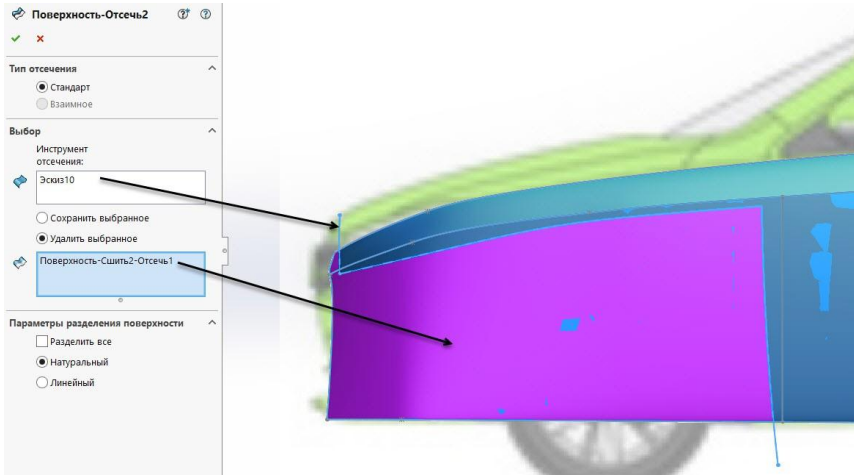


Рисунок 14.33 - Процесс відсікання поверхні

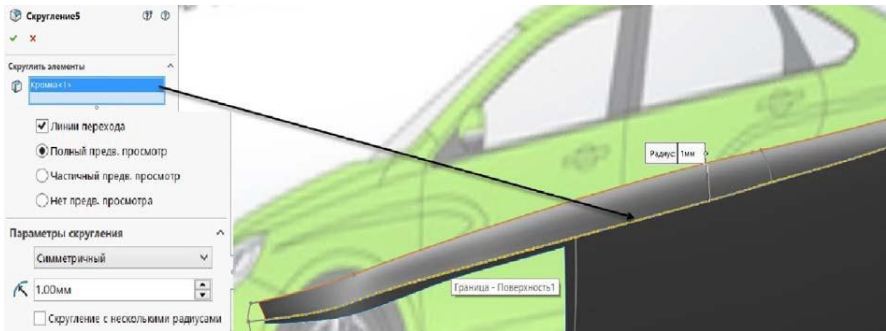


Рисунок 14.34 - Створюємо округлення

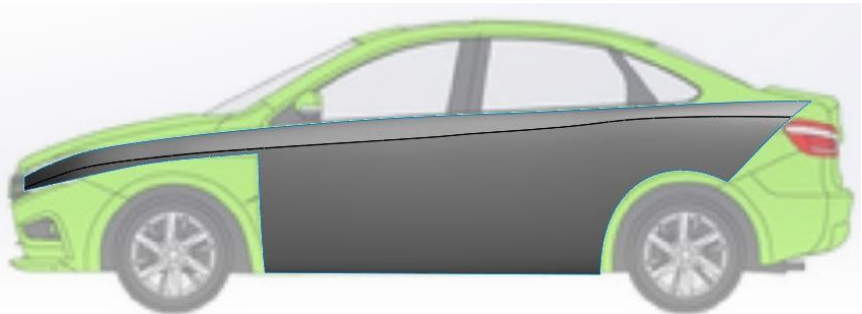


Рисунок 14.35 - Відтинаємо поверхню задньої частини боковини

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.

Також необхідно задати напрямок вектора із цієї точки по осі X , тому що в протилежному випадку при сполученні двох половин моделі можемо одержати ребро в площині, перпендикулярній осі автомобіля (рис. 14.37).

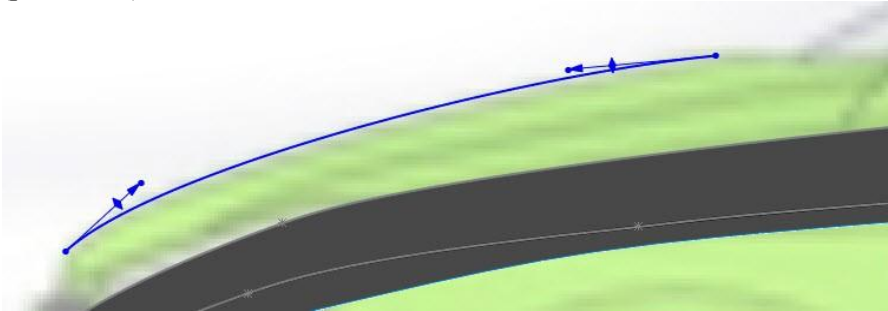


Рисунок 14.36 - Створення капота

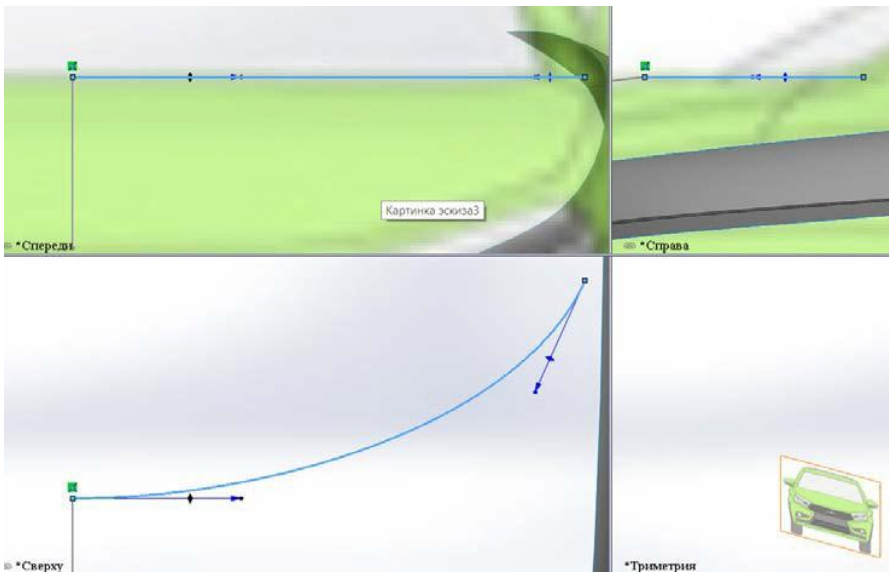


Рисунок 14.37 - Ребро в площині перпендикулярній осі автомобіля

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).



Рисунок 14.38 - Створюємо сплайн що позначає контур капота

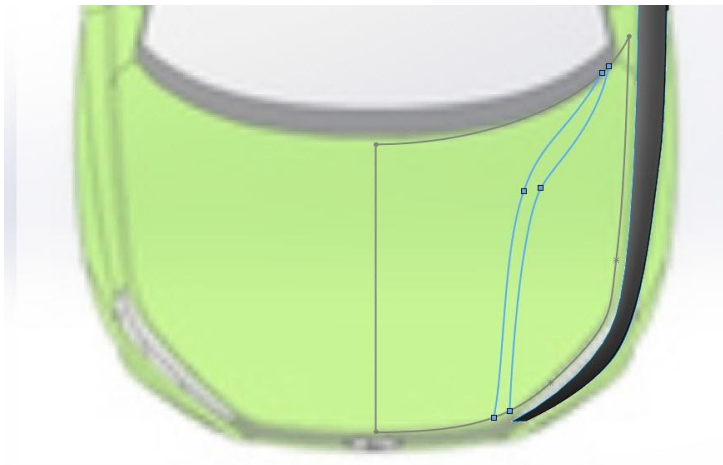


Рисунок 14.39 - Створення поздовжніх ребер

Наступним кроком буде створення поздовжніх ребер, вони необхідні для створення правильної форми капота. Для цього вибираємо команду «Трёхмерный эскиз» і проводимо два сплайни (рис. 14.39). На виді «Справа» задаємо їм необхідну висоту (рис. 14.40) за допомогою команди «Переместить объекты».

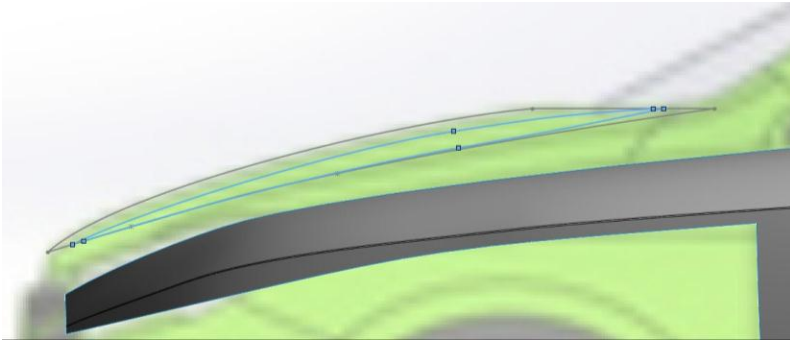


Рисунок 14.40 - Задаємо необхідну висоту сплайнів

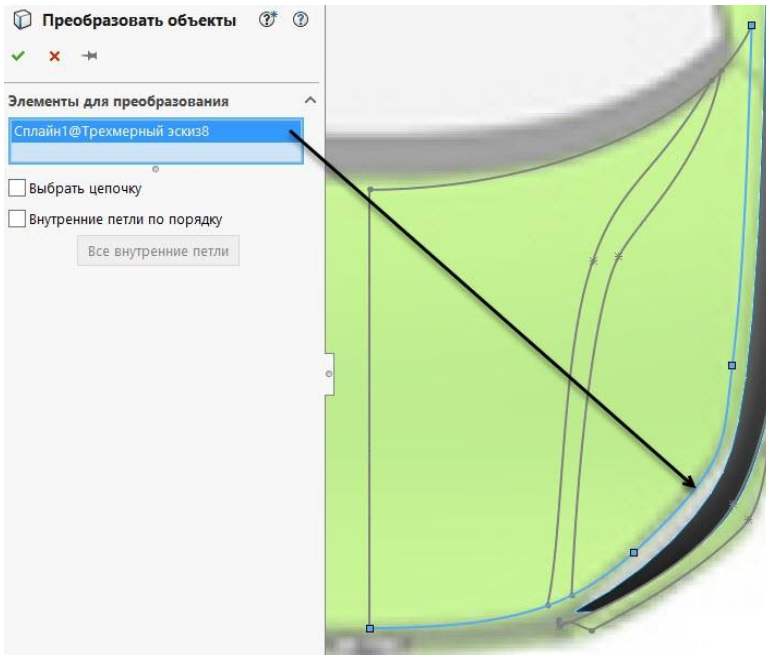


Рисунок 14.41 - Застосуємо команду «Тривимірний ескіз»

При створенні наступного ескизу застосуємо команду «Трёхмерный эскиз» – «Преобразование объекта». Для цього виділяємо потрібний 3D-ескіз і погоджуємося з перетворенням (рис. 14.41).

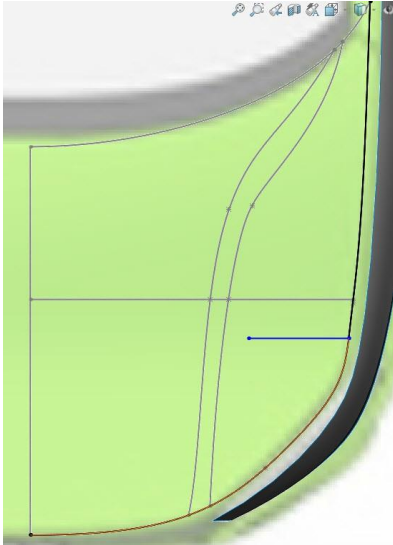


Рисунок 14.42 - Створюємо відрізок із точки



Рисунок 14.43 - Відтинаємо непотрібну частину

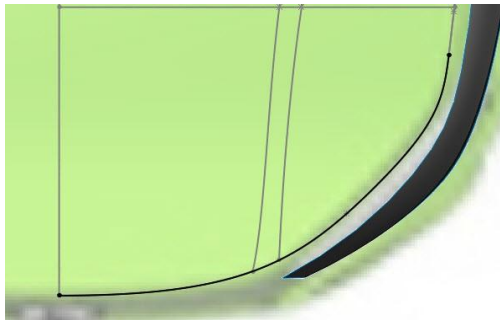


Рисунок 14.44 - Операції з другою частиною ескизу

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 ескизу (рис. 14.44)

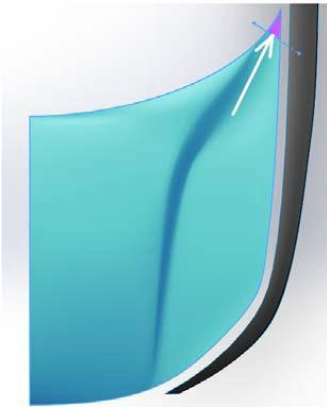


Рисунок 14.47 - Відтинаємо поверхні

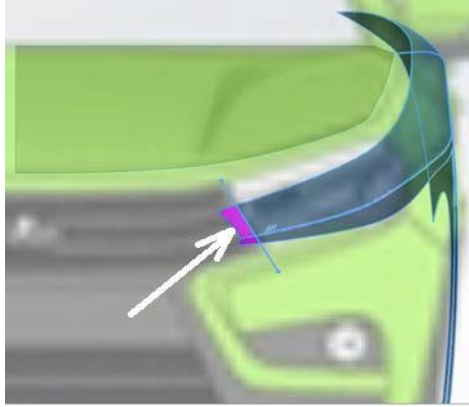


Рисунок 14.48 - Відтинаємо поверхні

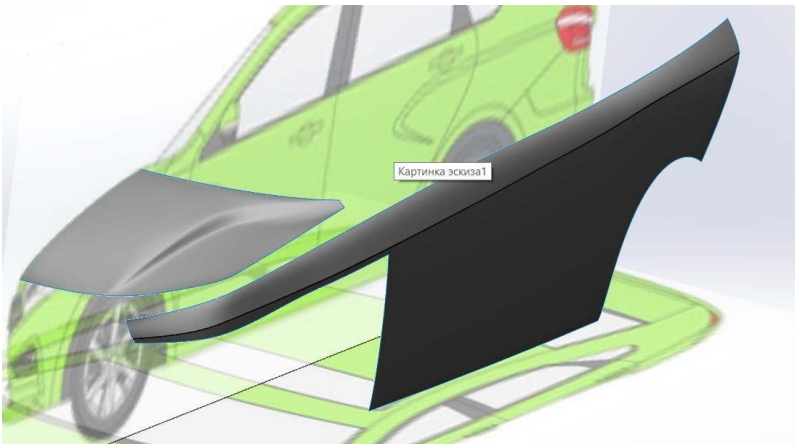


Рисунок 14.49 - Створення поверхні

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). 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).

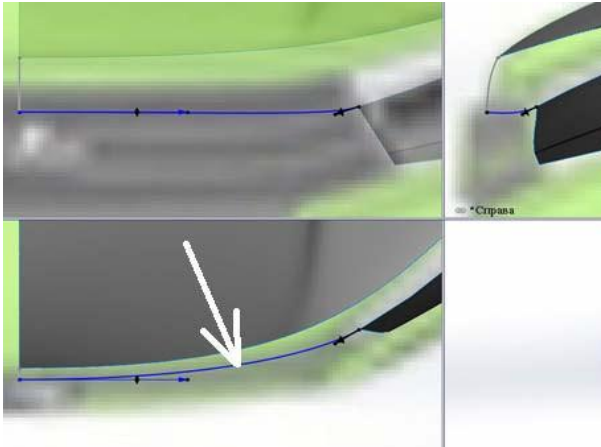


Рисунок 14.50 - Створення сплайну

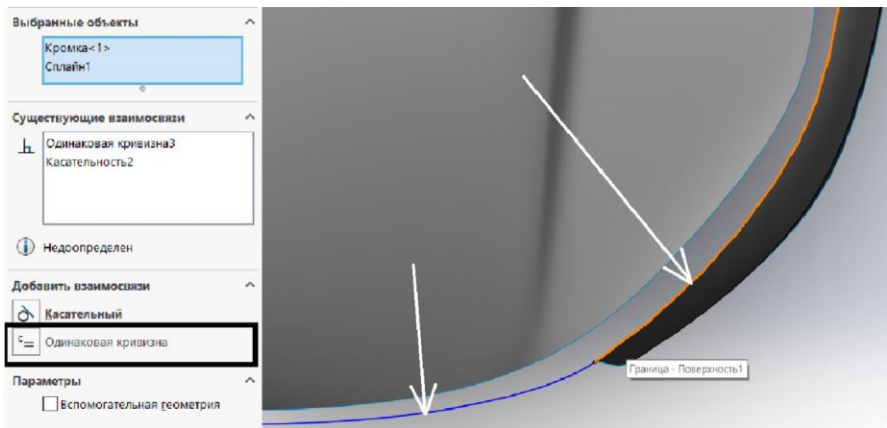


Рисунок 14.51 - Створення сплайну

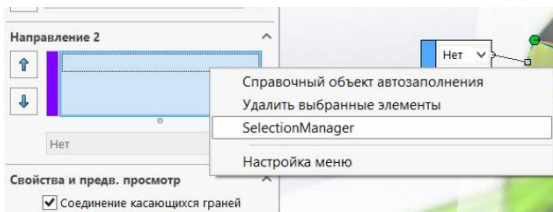
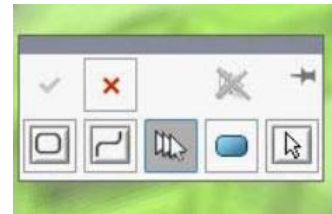


Рисунок 14.52 - Виклик «Selection Manager»

Рисунок 14.53 - Пункт
«Поэлементный выбор»

Далі вибираємо зазначені ескізи й натискаємо **Ок** (рис. 14.54).

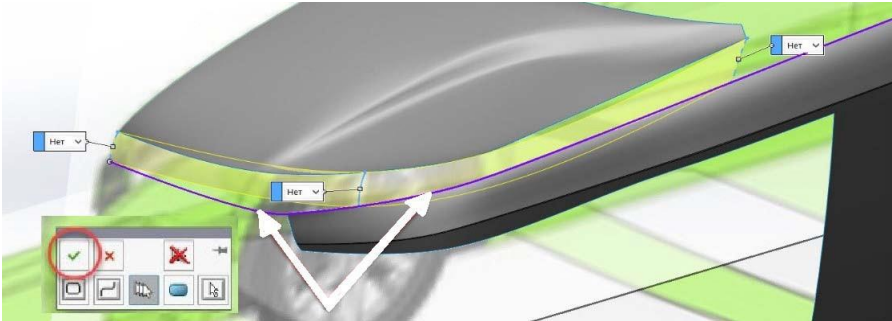


Рисунок 14.54 - Вибираємо зазначені ескізи

Аналогічно створюємо напрямні частини капота за допомогою інструмента **«Поверхность границы»** і погоджуємося з налаштуваннями (рис. 14.55). При цьому в налаштуваннях меню слід вибрати пункт **«Отсечь по Напр.1»**. Після застосування налаштувань повинна вийти відповідна поверхня капота (рис. 14.56).

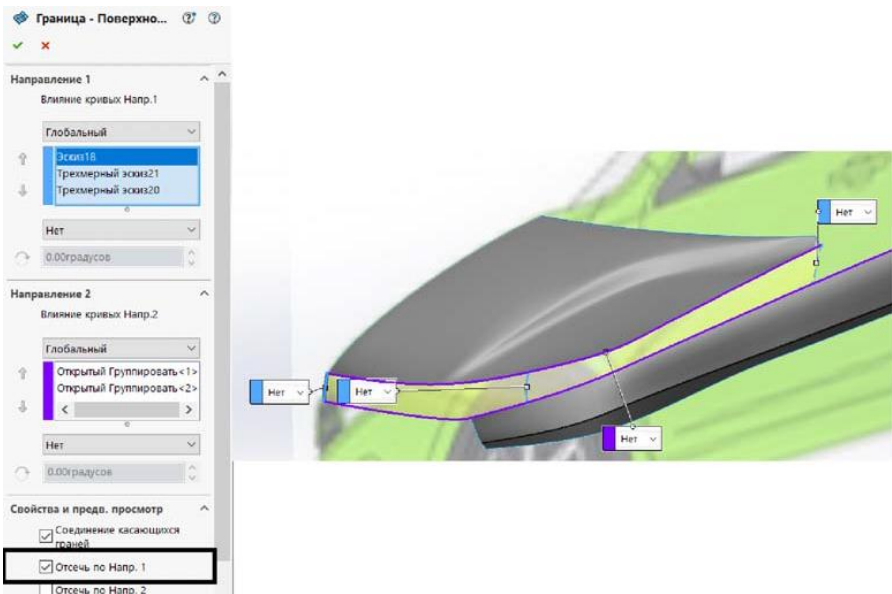


Рисунок 14.55 - Створюємо напрямні частини капота

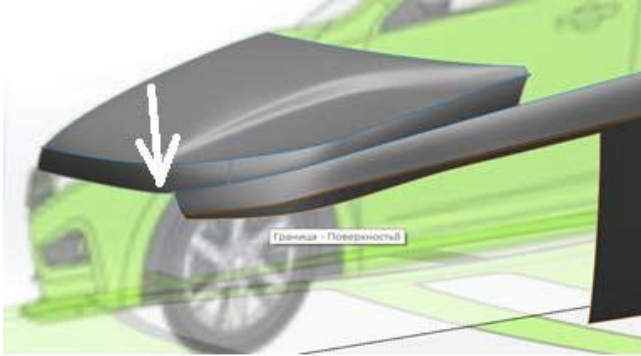


Рисунок 14.56 - Створена поверхня капота

Отже далі за допомогою розглянутих інструментів і методик побудов, створюємо поверхні, представлені рисунках 14.57-14.60.



Рисунок 14.57 - Будуємо арку

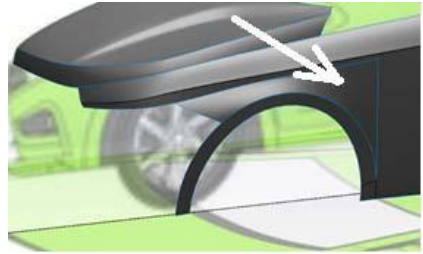


Рисунок 14.58 - Зшиваємо поверхні

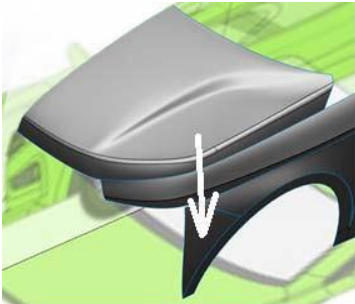


Рисунок 14.59 - Використовуємо інструмент «Скруглити»



Рисунок 14.60 - Використовуємо інструменти «Поверхність границь» і «Сшити»

За допомогою інструмента **«Отсечь поверхность»** відтинаємо поверхню, показану на рис. 14.61.

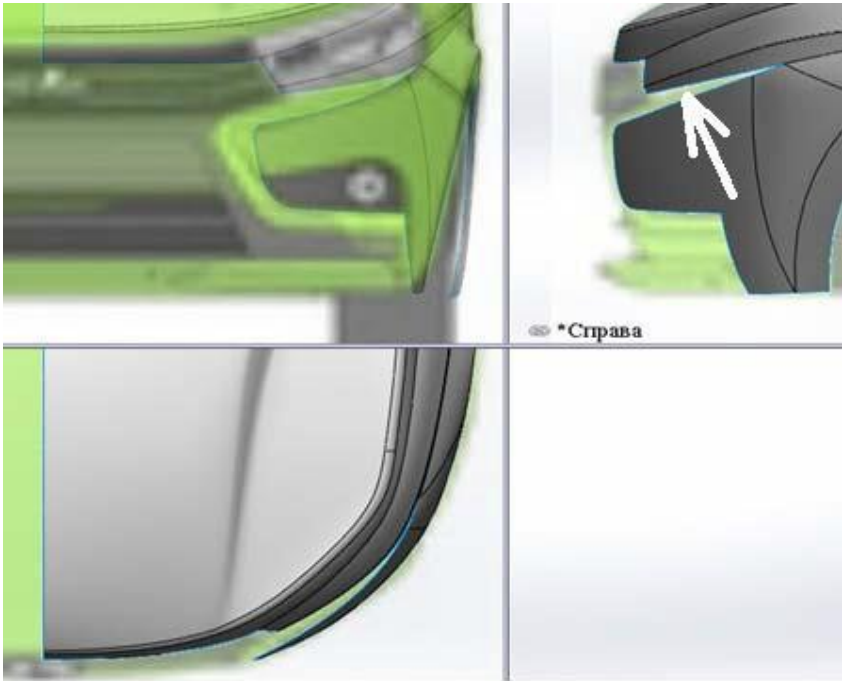


Рисунок 14.61 - Відтинаємо поверхню інструментом **«Отсечь поверхность»**

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»**.

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). Для створення вигнутих 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).

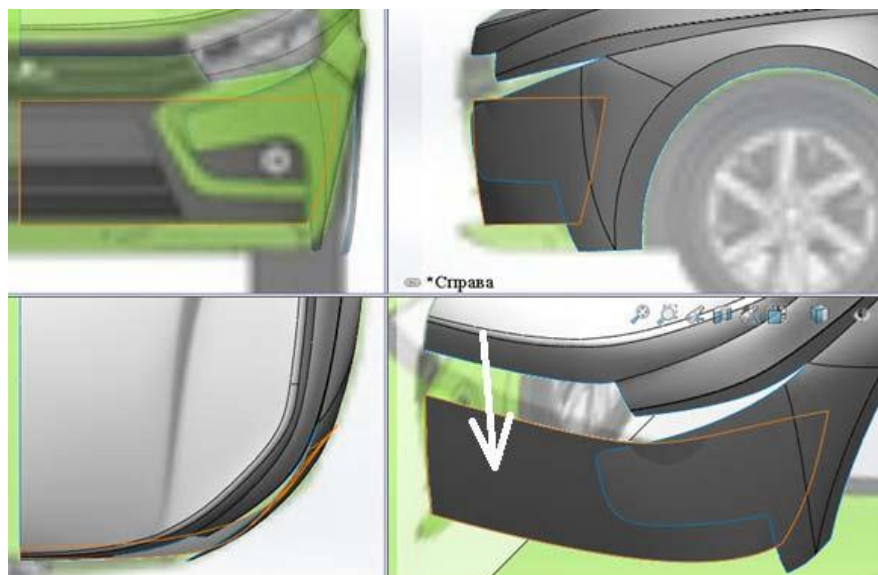


Рисунок 14.62 - Використання інструменту «Поверхность границы»

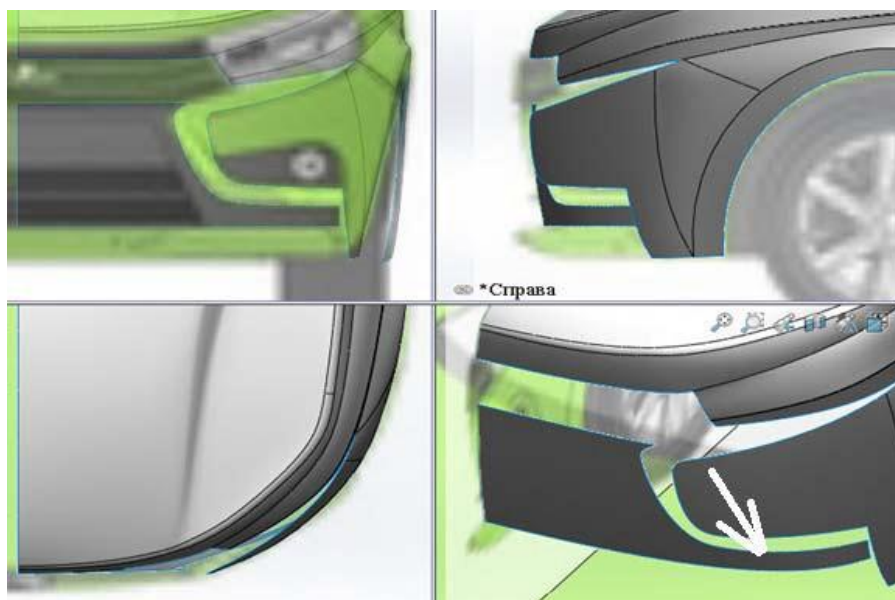


Рисунок 14.63 - Використання інструменту «Отсечь поверхность»

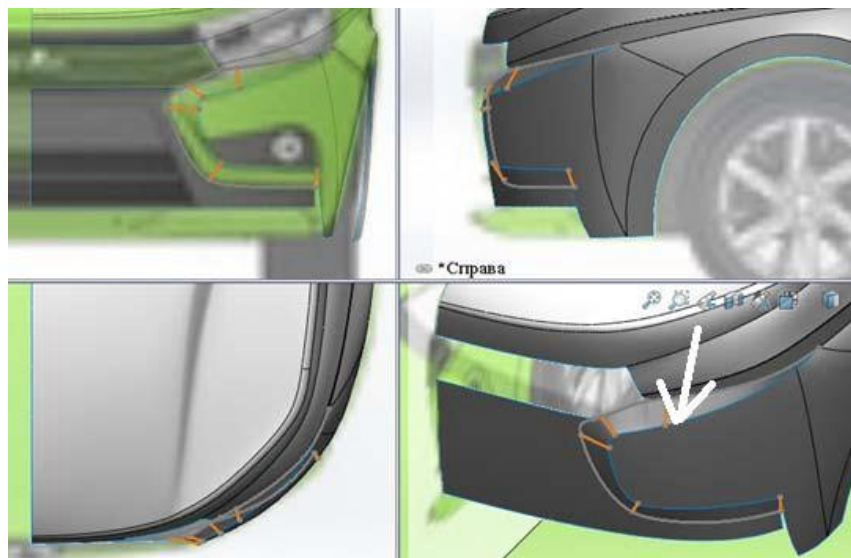


Рисунок 14.64 - Використання інструменту «Поверхность границы»

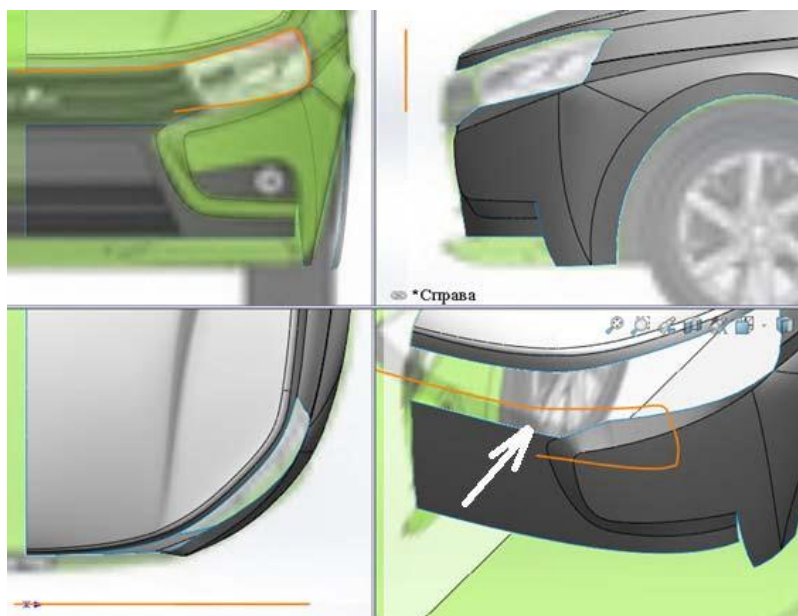


Рисунок 14.65 - Використання інструменту «Отсечь поверхность»

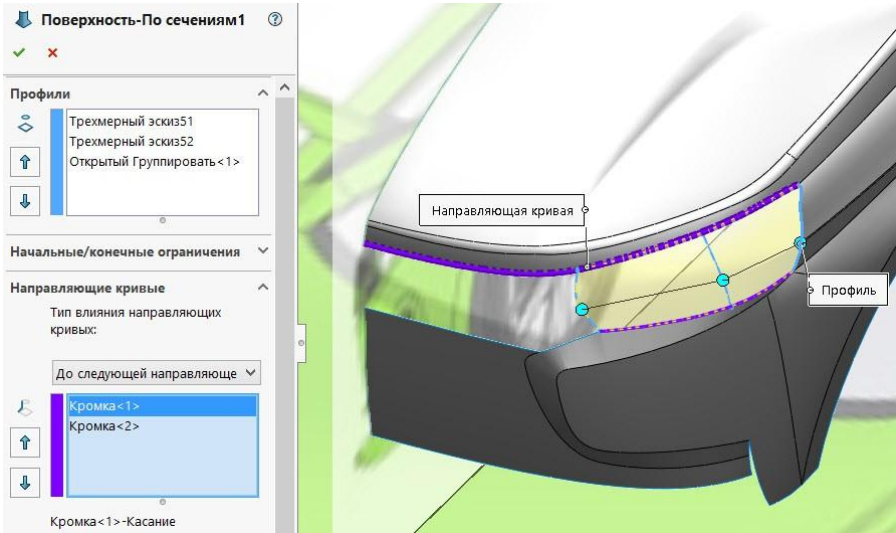


Рисунок 14.66 - Створення поверхні, яку утворює фара

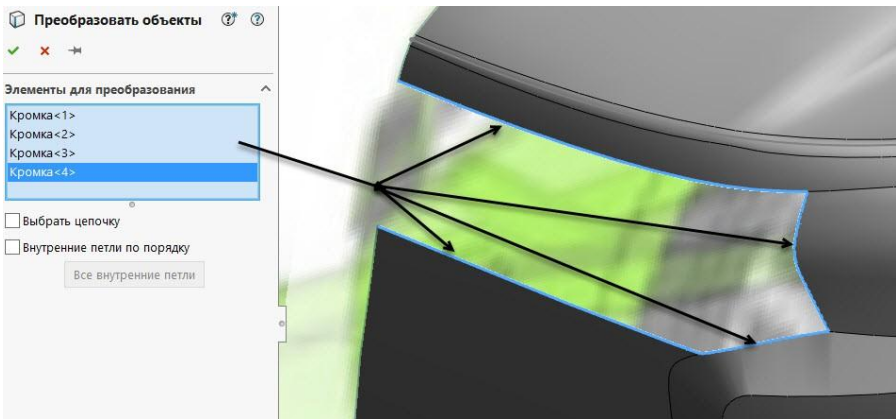


Рисунок 14.67 - Вибираємо потрібні ескізи

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).

Використовуємо даний ескіз для створення поверхні й застосуємо інструмент **«Вытянуть поверхность»**.

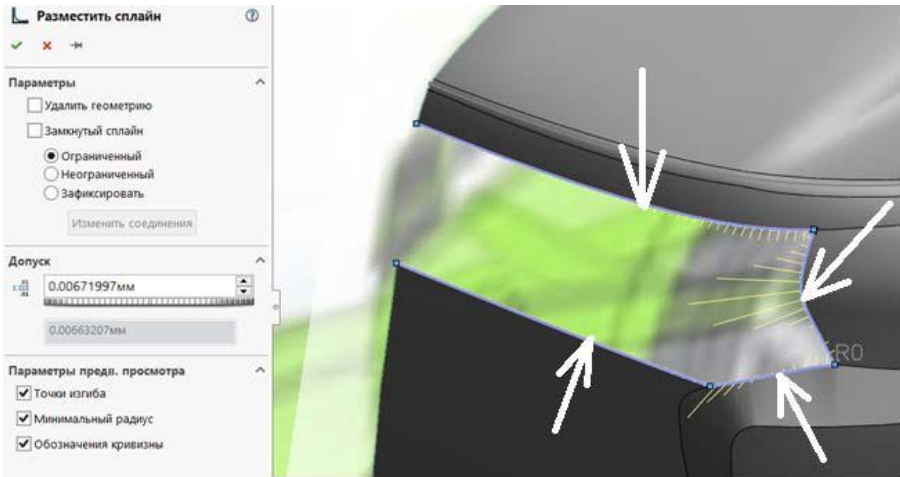


Рисунок 14.68 - Поеднуємо раніше перетворені ескізи в одне ціле

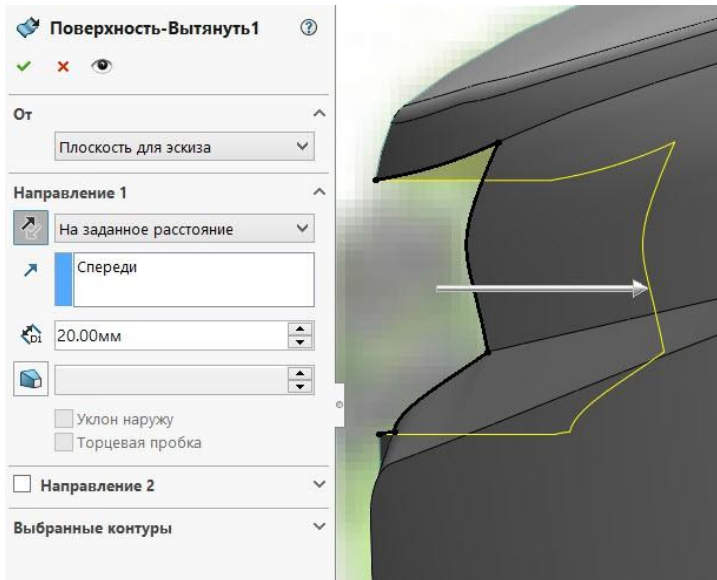


Рисунок 14.69 - Вказуємо площину і задаємо відстань витягування

Вибираємо ескіз і вказуємо площину, щодо якої треба витягнути поверхню, і задаємо відстань витягування. У цьому випадку – це пло-

щина «Спереди» (рис. 14.69). Далі створюємо «Ескиз» на площині «Сверху» (рис. 14.70) і за допомогою інструмента «**Вытянутая поверхность**» створюємо поверхню (рис. 14.71). Видаляємо непотрібні частини шляхом взаємного відсікання поверхонь. У налаштуваннях вибираємо «**Тип отсечения**» – «**Взаимное**», у графі «**Поверхности**» вибираємо обидві поверхні (рис. 14.72). Залишені частини відтинаємо ескизом, створеним на площині «Спереди» із центром координат уздовж осі **Y** (рис. 14.73).

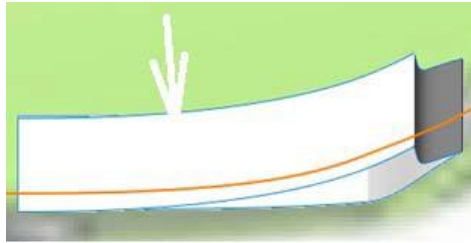


Рисунок 14.70 - Створюємо «Ескиз» на площині «Сверху»

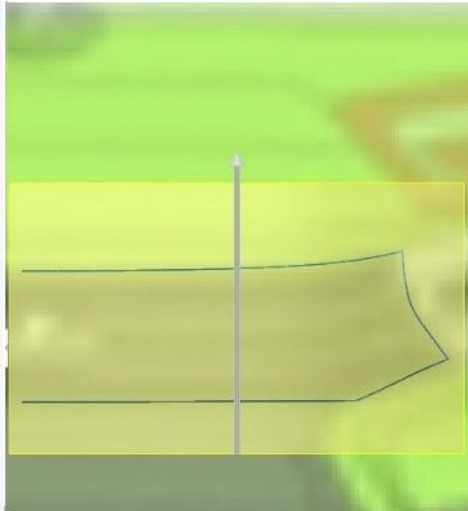
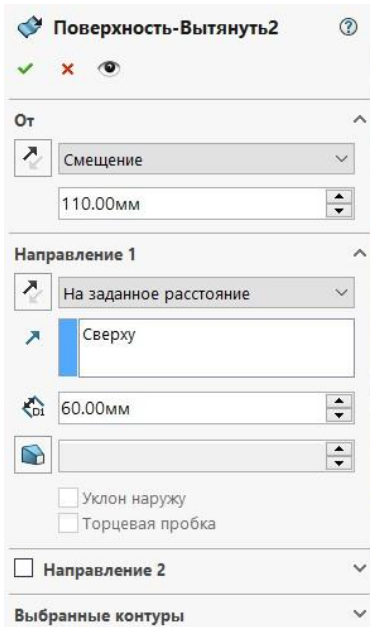


Рисунок 14.71 - Створюємо поверхню за допомогою інструмента «Вытянутая поверхность»

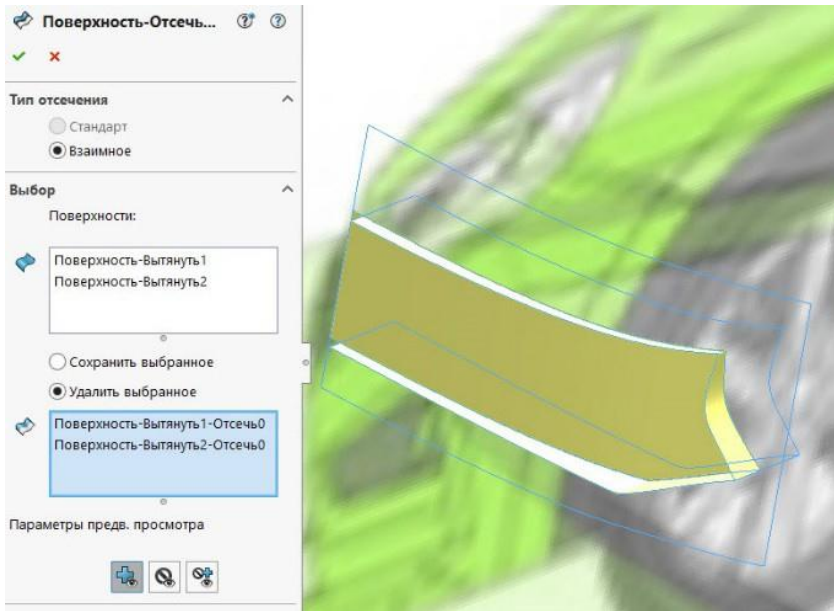


Рисунок 14.72 - Видаляємо непотрібні частини

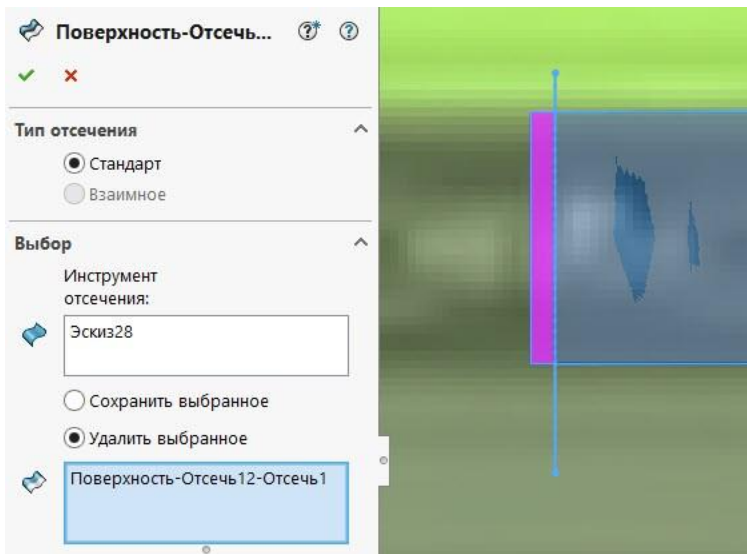


Рисунок 14.73 - Залишені частини відтинаємо ескізом

Поверхні лобового й заднього стекел, даху й багажника створюються за допомогою декількох утворюючих ескізів на додаткових площинах для досягнення більш високої точності поверхонь (рис. 14.74). Для побудови поверхонь бічних стекел скористаємося раніше створеними ескізами (інструмент **«Поверхность границы»**) (рис. 14.75).

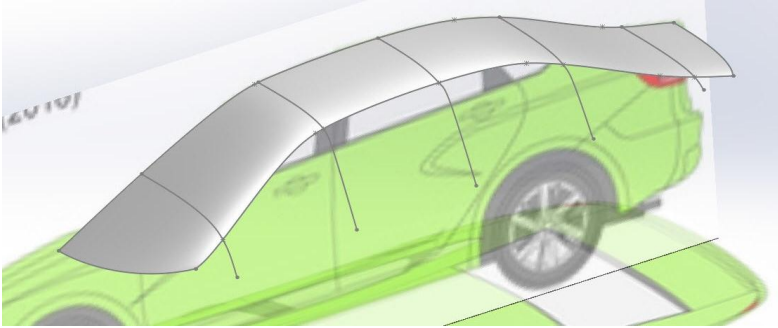


Рисунок 14.74 - Поверхні лобового й заднього стекел, даху й багажника

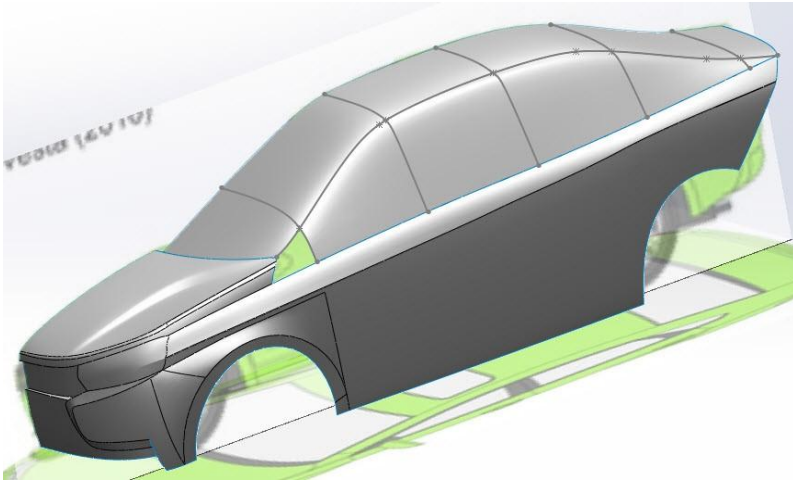


Рисунок 14.75 - Побудова поверхонь бічних стекел

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).

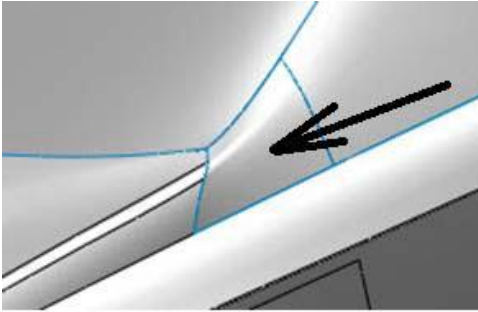


Рисунок 14.76 - Місце переходу капота в стійку



Рисунок 14.77 - Простір між капотом і лобовим склом

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).

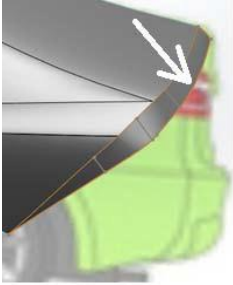


Рисунок 14.78 - Використання інструменту «Поверхность границы»



Рисунок 14.79 - Використання інструменту «Отсечь поверхность»

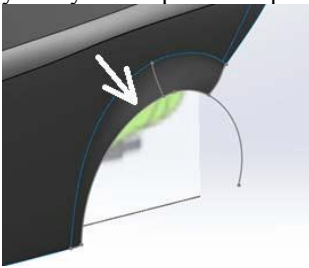


Рисунок 14.80 - Використання інструменту «Сшить»

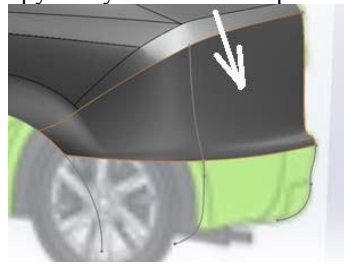


Рисунок 14.81 - Використання інструменту «Поверхность границы»

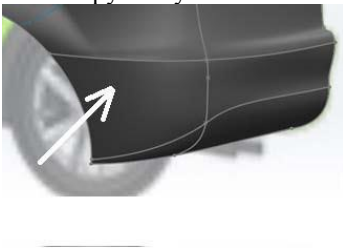


Рисунок 14.82 - Використання інструменту «Поверхность границы»

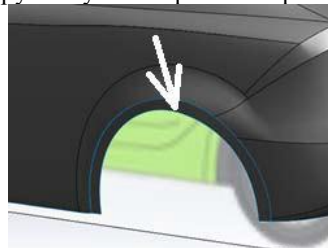


Рисунок 14.83 - Використання інструменту «Сшить»



Рисунок 14.84 - Використання інструменту «Отсечь поверхность»



Рисунок 14.85 - Використання інструменту «Поверхность границы»



Рисунок 14.86 - Використання інструменту «Поверхність границь»

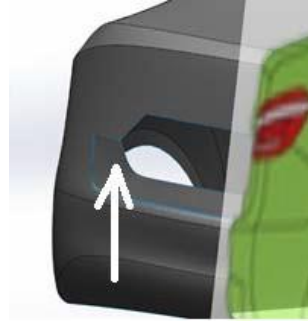


Рисунок 14.87 - Використання інструменту «Поверхність границь»



Рисунок 14.88 - Інструмент «Витягнути поверхню»



Рисунок 14.89 - Використання інструменту «Поверхність границь»

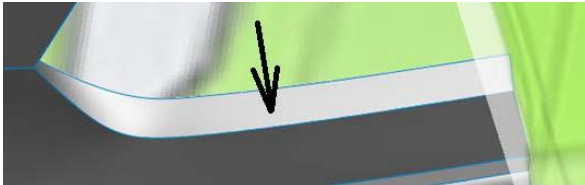


Рисунок 14.90 - Використання інструменту «Поверхність границь»

Далі створюємо поверхні для утворення переднього бампера, застосовуючи розглянуті раніше інструменти, як показано на наступних рисунках:

- рис. 14.92 – «Поверхність по сеченням» і «Сшити»;
- рис. 14.93 – «Отсець поверхність»;
- рис. 14.94 – «Витягнути поверхність»;
- рис. 14.95 – «Отсець поверхність»;
- рис. 14.96 – «Заповнити поверхність».

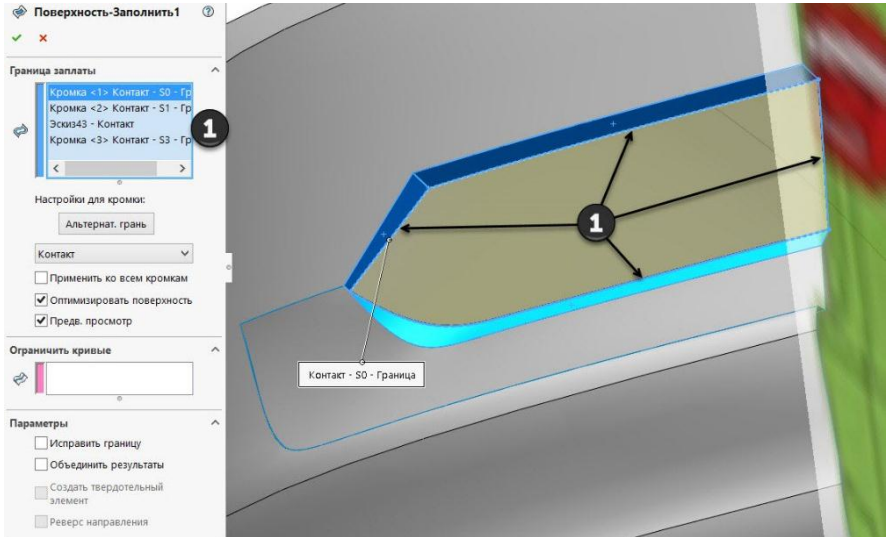


Рисунок 14.91 - Вибираємо грані й ескіз на площині праворуч



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 спроекуємо ескіз, створений на площині **«Спереди»**, на поверхню кришки багажника. Для цього вибираємо ескіз і потрібну поверхню (рис. 14.97).

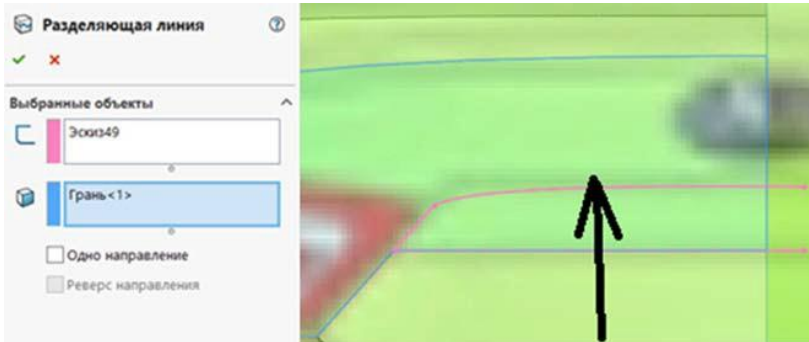


Рисунок 14.97 - Створення поверхні кришки багажника

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.

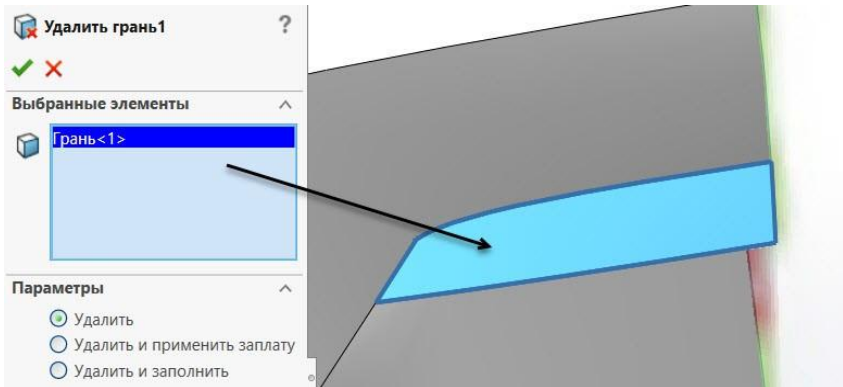


Рисунок 14.98 - Видаляємо утворену поверхню

Потім за допомогою інструментів **«Эскиз»** і **«Поверхность границы»** надаємо потрібну форму наступним поверхням, як показа-

но на рис. 14.100 - 14.102. Після цього, використовуючи інструмент «Сшити», зшиваємо всі створені поверхні.

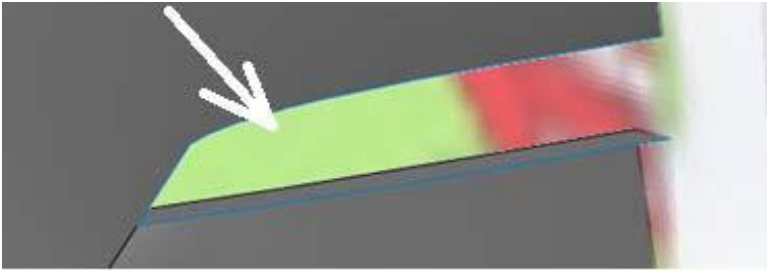


Рисунок 14.99 - Результат видалення поверхні

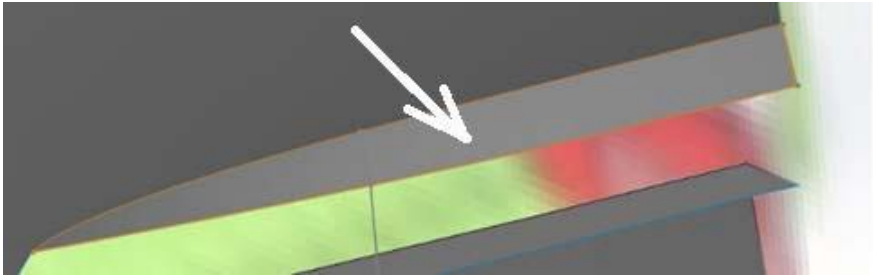


Рисунок 14.100 - Надаємо потрібну форму поверхням

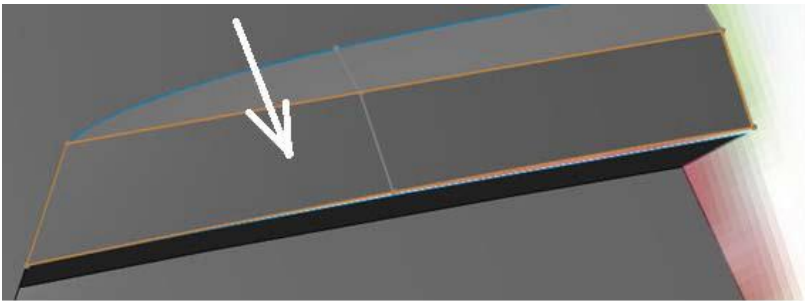


Рисунок 14.101 - Використання інструменту «Поверхність границі»

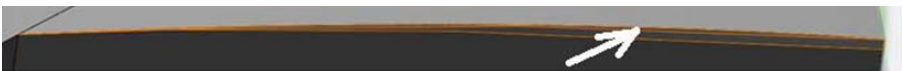


Рисунок 14.102 - Використання інструменту «Сшити»

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**».

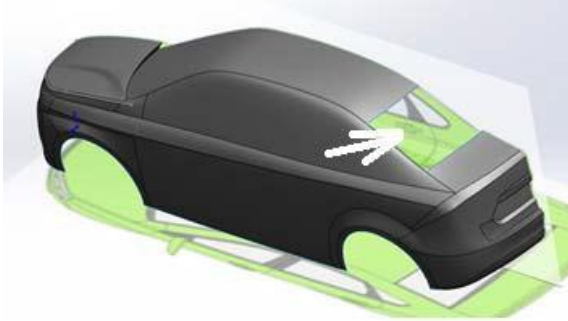


Рисунок 14.103 - Процес створення заднього скла



Рисунок 14.104 - Відтинаємо частину поверхні



Рисунок 14.105 - Використовуємо інструмент «Поверхность границы»



Рисунок 14.106 - Застосовуємо інструменти «Поверхня границы» 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

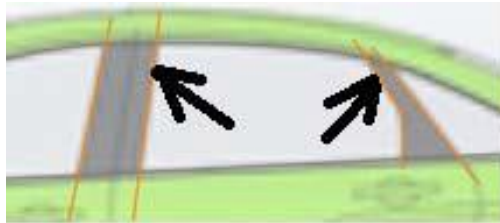


Рисунок 14.108 - Створюємо накладки вікон

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).

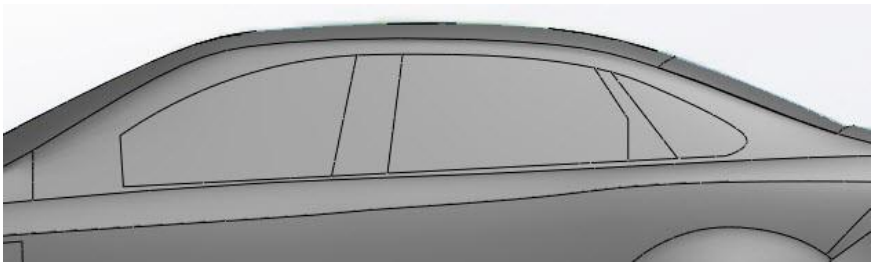


Рисунок 14.109 - Результат створення скла і накладок

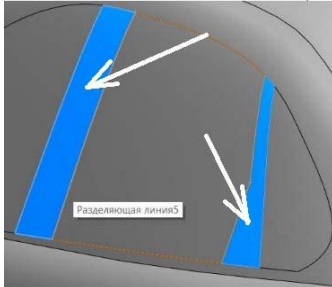
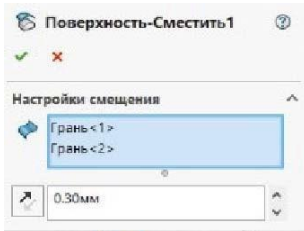


Рисунок 14.110 - Выбираємо потрібні грані для зсуву

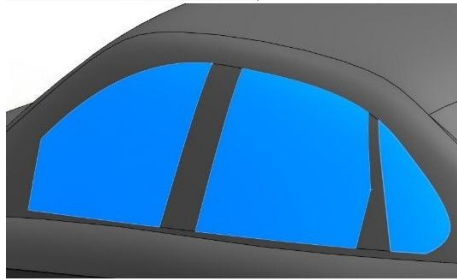
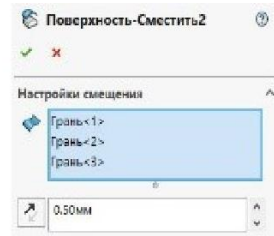


Рисунок 14.111 - Видаляємо первинні поверхні

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 «Ескизы» 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»

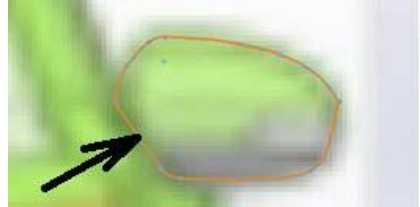


Рисунок 14.117 - Створення ескізу на площині «Спереди»

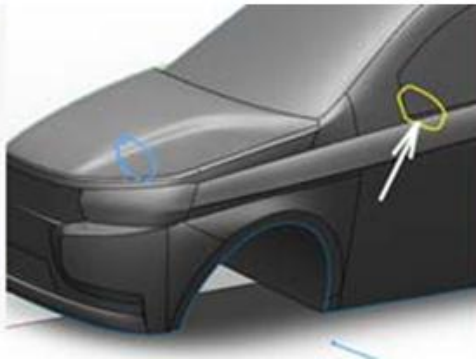
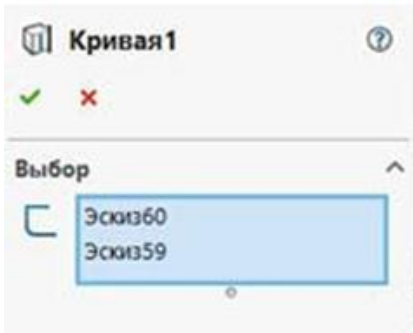


Рисунок 14.118 - Створення геометрії в просторі

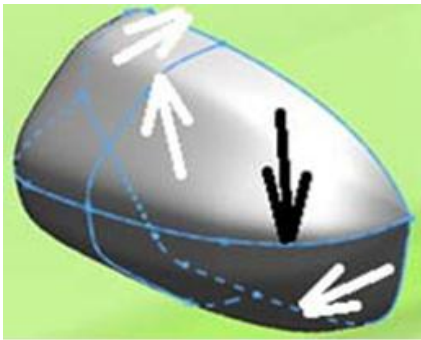


Рисунок 14.119 - Створення поділяючої лінії

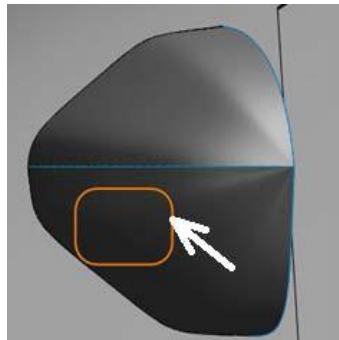


Рисунок 14.120 - Вилучення частини поверхні

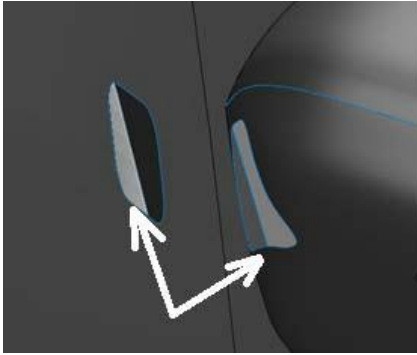


Рисунок 14.121 - Вилучення частини поверхні

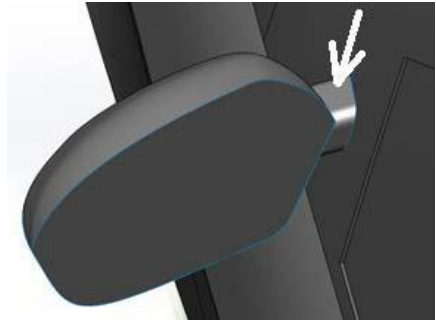


Рисунок 14.122 - Створення кріплення дзеркала

Створимо кріплення дзеркала за допомогою команди **«Поверхність по сеченням»** (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 «Сшити поверхність», відзначаємо в меню панелі пункт «Створити твердотільний елемент» (рис. 14.110).

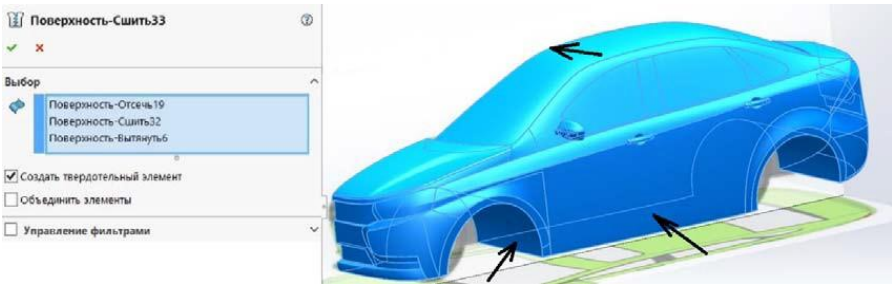


Рисунок 14.126 - Процес створення твердотільного елемента

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).

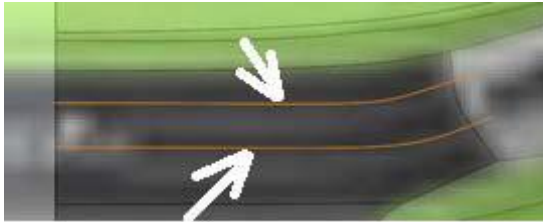


Рисунок 14.127 - Створення перегородок ґрат облицювання радіатора



Рисунок 14.128 - Відсікання непотрібної геометрії

Тепер скористаємося командою «Придати толщину», яка утворює твердотільний елемент із поверхні. Для цього виберемо раніше створені поверхні (рис. 14.129).

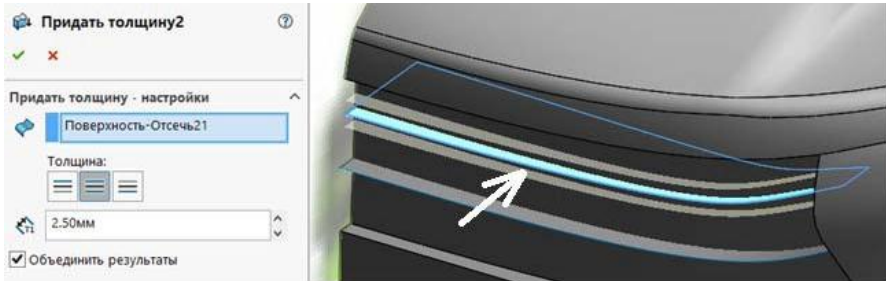


Рисунок 14.129 - Процес утворення твердотільного елемента з поверхні

Після цього приступаємо до роботи з інструментами твердотільного моделювання. Комбінація поверхневого моделювання із твердотілим дозволяє вважати розглянутий процес гібридним моделюванням. Отже далі ми заповнюємо простір днища за допомогою інструмента **«Вытянутая бобышка»**, як показано на рис. 14.130.

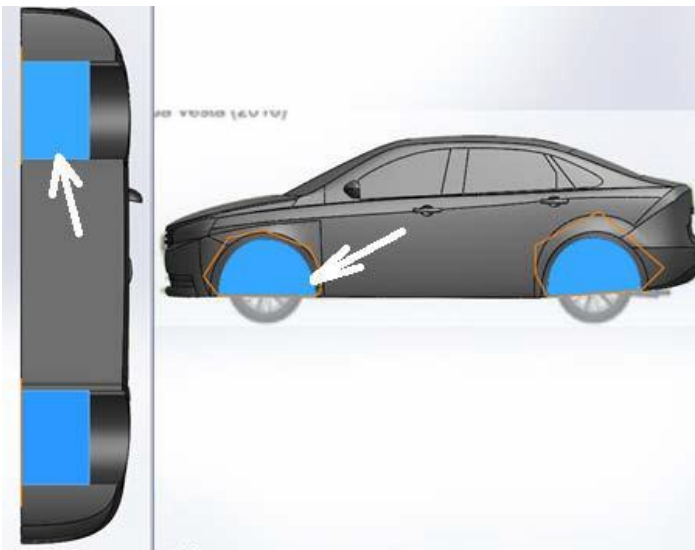


Рисунок 14.130 - Заповнюємо простір днища

Половина автомобіля готова. А оскільки змодельована половина симетрична, то другу половину можна створити командою **«Отразить зеркально»**. Для цього обираємо площину, щодо якої будемо віддзер-

калювати саме тіло, і відзначаючи в параметрах **«Объединить твердые тела»**, створюємо другу половину автомобіля (рис. 14.131).

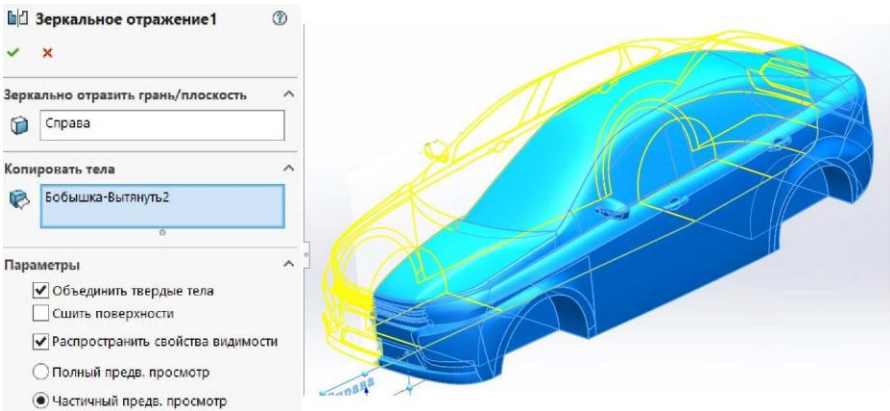


Рисунок 14.131 - Створюємо другу половину автомобіля

Далі створюємо підсилювальні елементи, як показано на рис. 14.132, за допомогою команди **«Вытянутый вырез»**.



Рисунок 14.132 - Створюємо підсилювальні елементи

Створюємо допоміжну площину, як показано на рис. 14.133, і на ній робимо **«Эскиз»**. Потім на площині зверху створюємо ще один **«Эскиз»** (рис. 14.134). За допомогою команди **«Вырез по траектории»** робимо тунель для системи випуску. Вибираємо ескизи, створені раніше, і погоджуємося з налаштуваннями (рис. 14.135).

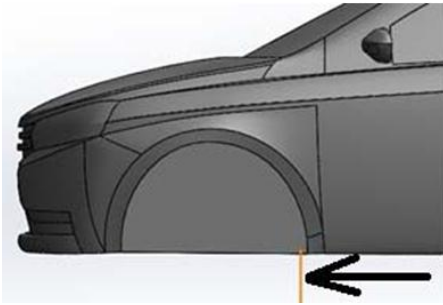


Рисунок 14.133 - Створюємо допоміжну площину

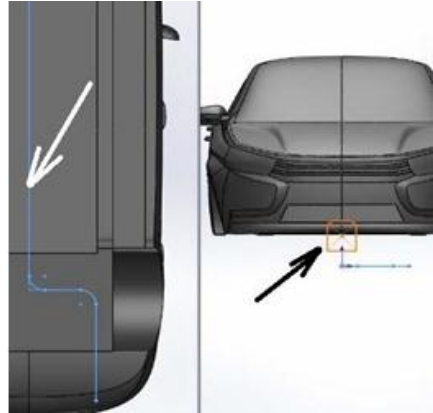


Рисунок 14.134 - Створюємо ескіз тунелю випуску

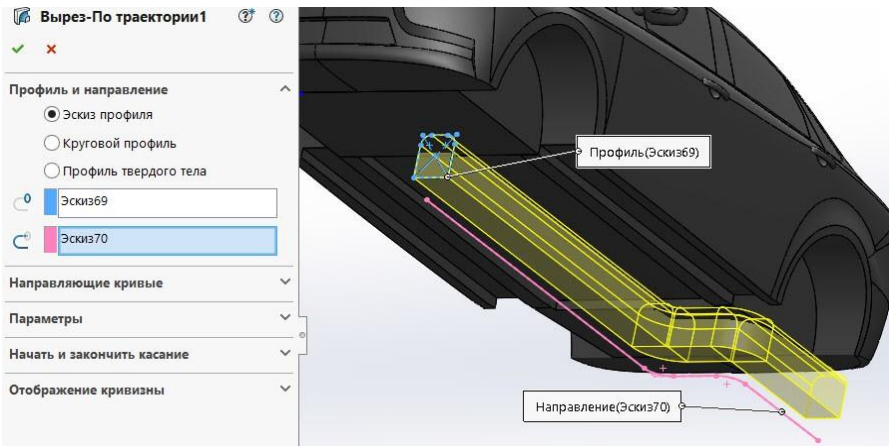


Рисунок 14.135 - Процес створення тунелю випуску

Аналогічно створюємо інші частини системи випуску відпрацьованих газів, як показано на наступних рисунках:

- рис. 14.136 - створюємо «**Ескиз**» глушника;
- рис. 14.137 - інструмент «**Бобышка по траектории**»;
- рис. 14.138 - створюємо допоміжну площину;
- рис. 14.139 - створюємо «**Ескиз**» 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 14.136 - Створюємо «Ескиз» глушника

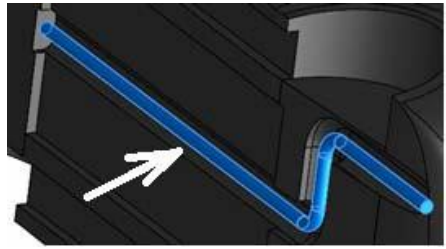


Рисунок 14.137 - Інструмент «Бобышка по траектории»



Рисунок 14.138 - Створюємо допоміжну площину

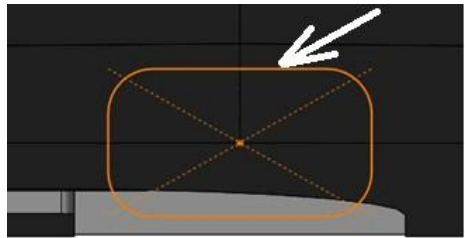


Рисунок 14.139 - Створюємо «Ескиз» зовнішньої форми каталізатора

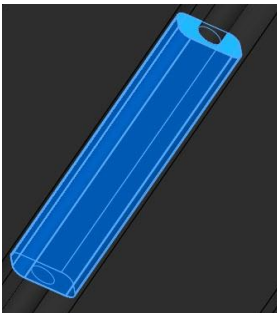


Рисунок 14.140 - Інструмент «Вытянутая бобышка»

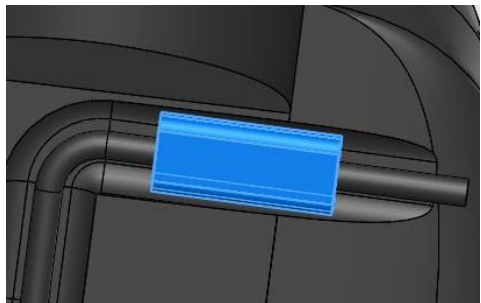


Рисунок 14.141 - Створюємо другий елемент глушника

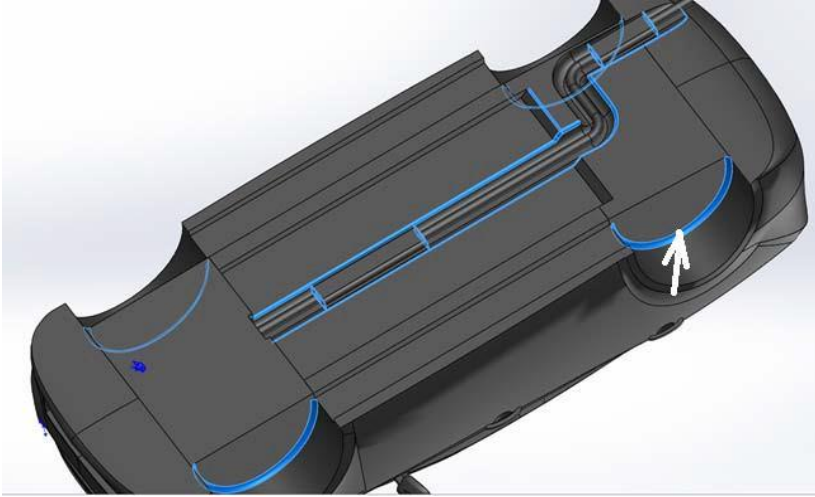


Рисунок 14.142 - Округлюємо гострі грані частин днища

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.

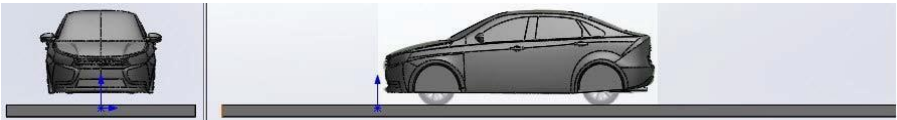


Рисунок 14.143 - Додано дорожнє полотно

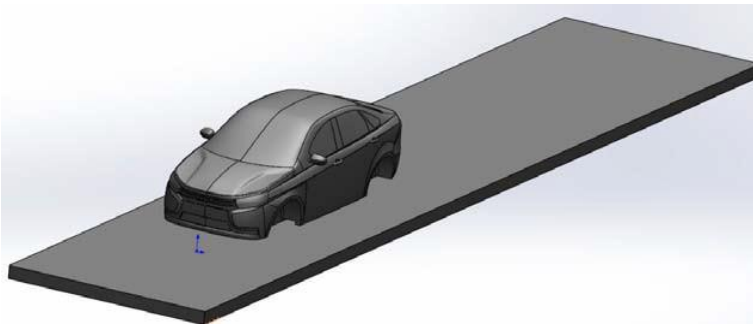


Рисунок 14.144 - Готовий кузов автомобіля

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 диска, можна розташувати в ескізів для зручності й дотримання пропорцій під час самого моделювання.



Рисунок 14.145 - Фото диска автомобіля

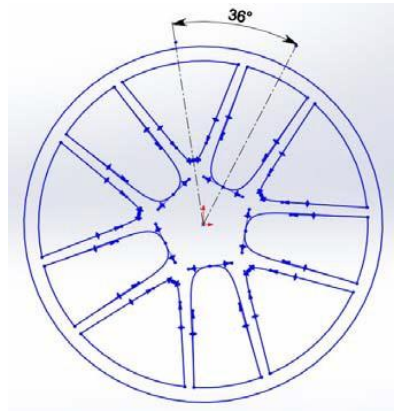


Рисунок 14.146 - Ескіз диска

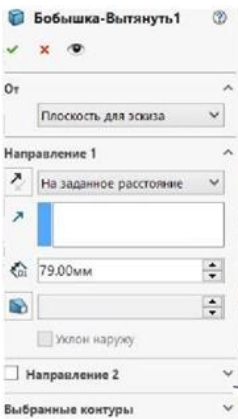


Рисунок 14.147 - Процес створення твердотільної моделі диска

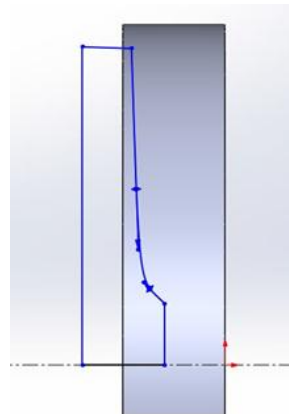


Рисунок 14.148 - Формування спиці диска

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 назовемо основні етапи моделювання, та представимо кінцеві результати які повинні вийти в результаті роботи.

Отже створюємо ескіз майбутнього диска на площині **«Спереди»**. Оскільки розроблювальний диск має 5 спиць, то нам необхідно зробити сектор з осевих ліній з кутом в 36 градусів (рис. 14.146).

Частини ескізу, які взаємодіють із осевими лініями, відбиваємо дзеркально. Далі за допомогою кругового масиву робимо інші спиць (рис. 14.146). Підготовлений ескіз, витягаємо інструментом **«Витягнутая бобышка»** (рис. 14.147).

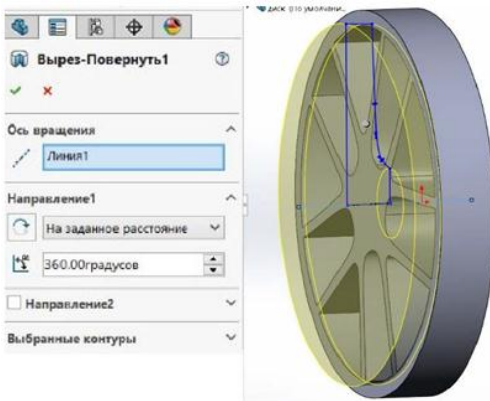


Рисунок 14.149 - Видаляємо внутрішню частину диска

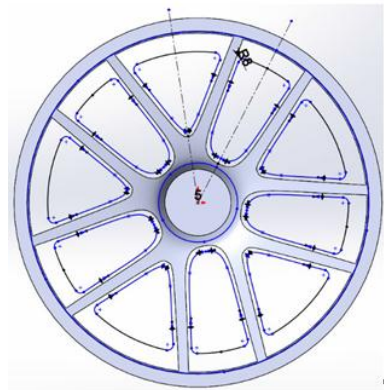


Рисунок 14.150 - Створення іншої частини спиць

Для додавання потрібної форми спицям диска, створюємо **«Ескиз»** 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 ескизом (рис. 14.150).

При витягуванні знімаємо відмітку в налаштуваннях **«Объединить результаты»** (рис. 14.151). Це необхідно для того, щоб при використанні команди **«Повернутый вырез»** дія проводилася над потрібним об'єктом (рис. 14.152).

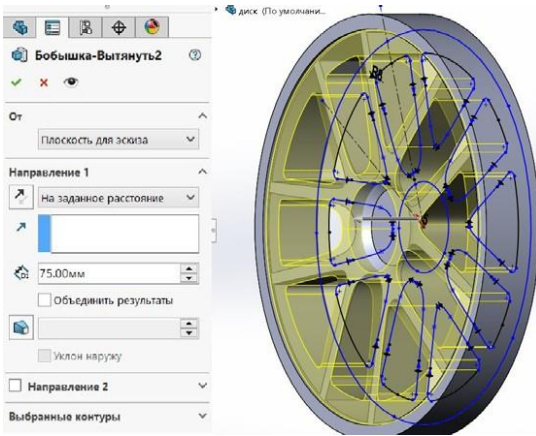


Рисунок 14.151 - Настроювання витягування

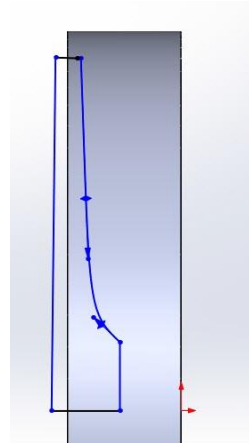


Рисунок 14.152 - Створення вирізу

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).

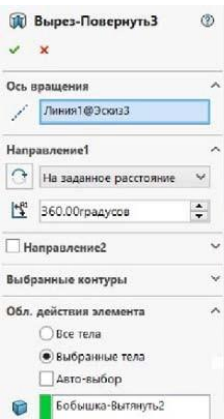


Рисунок 14.153 - Застосовуємо команду «Повернутый вырез»

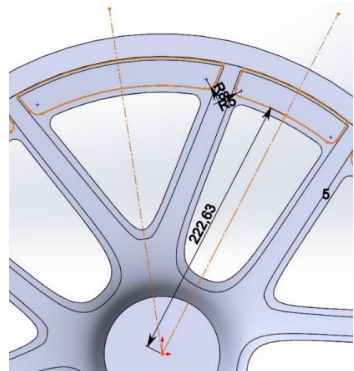


Рисунок 14.154 - Ескіз

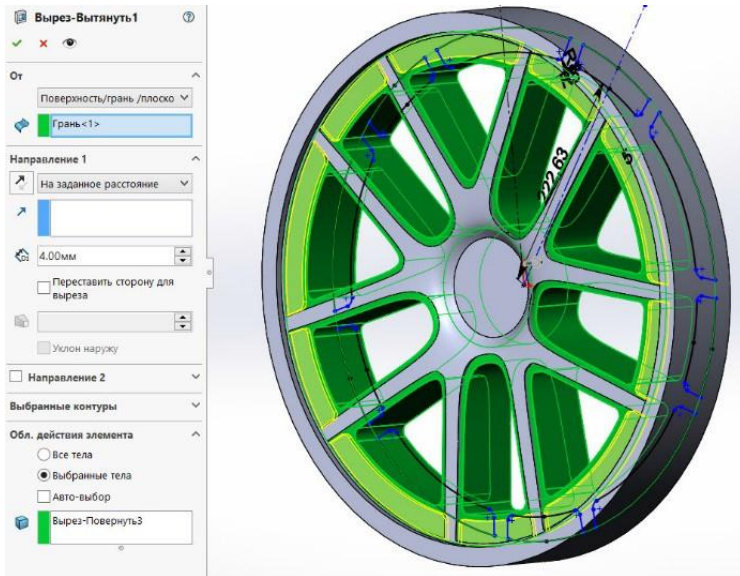


Рисунок 14.155 - Видаляємо непотрібну частину

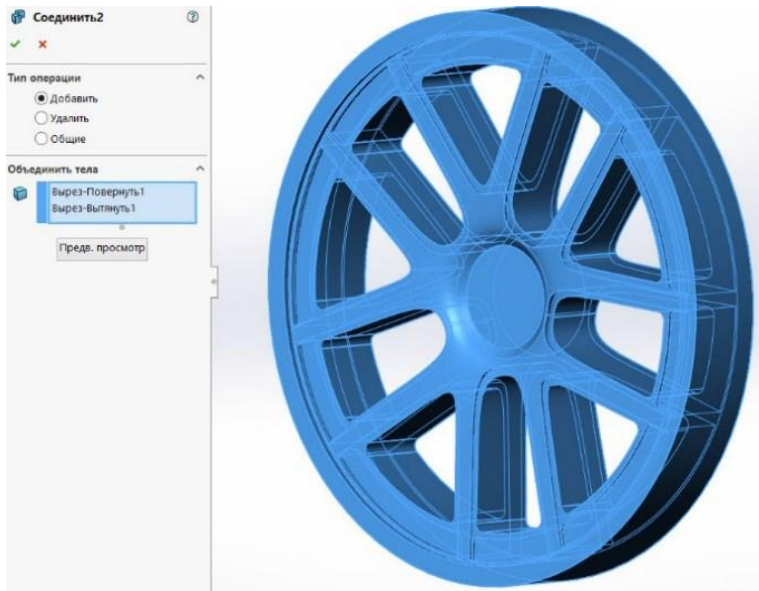


Рисунок 14.156 - Поєднання двох тіл в одне

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).

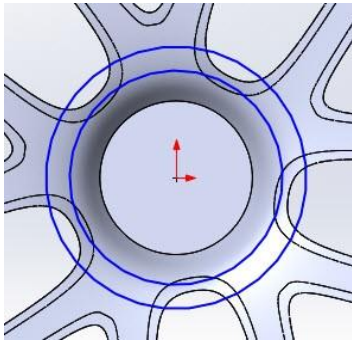


Рисунок 14.157 - Створюємо ескіз

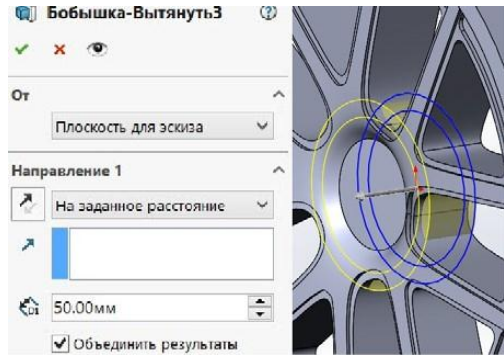


Рисунок 14.158 - Використання інструменту «Вытягнута бобышка»

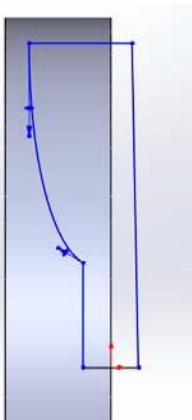


Рисунок 14.159 - Створюємо «Эскиз»



Рисунок 14.160 - Створено вирізи

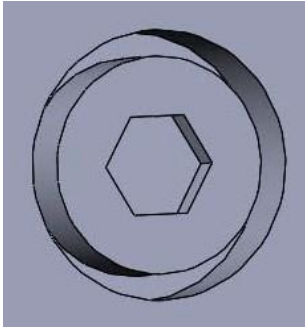


Рисунок 14.161 - Використання інструменту «Витягнута бобышка»



Рисунок 14.162 - Округлення в центрі диска

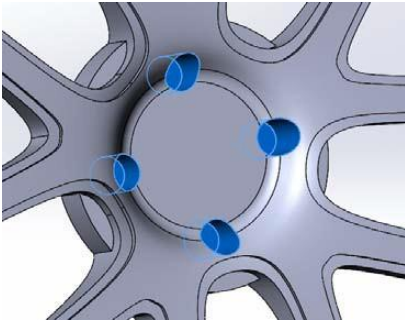


Рисунок 14.163 - Отвори під болти

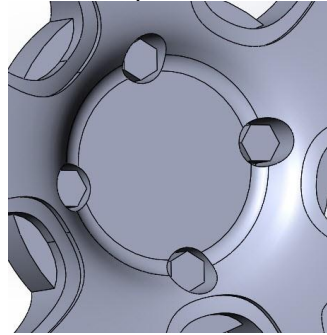


Рисунок 14.164 - Створені болти й отвори під них



Рисунок 14.165 - Округлюємо гострі краї

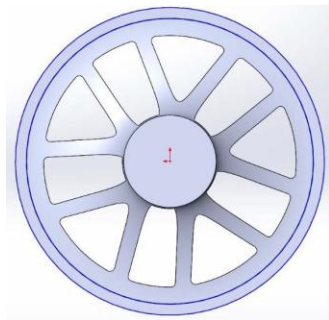


Рисунок 14.166 - Створення обода

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 покриття робимо ескіз на площині «Справа» за допомогою двох сплайнів і надаємо об'єм поверненою бобишкою (рис. 14.169, 14.170). Створюємо піввісь інструментом «Витягнута бобишка» (рис. 14.171) і одержуємо готове колесо з піввіссю.

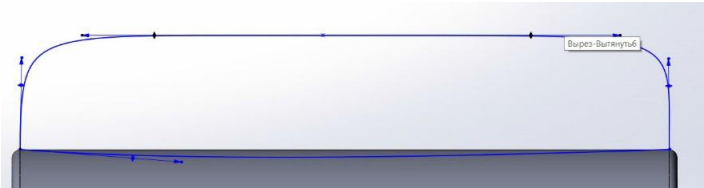


Рисунок 14.169 - Створення ескізу покриття на площині «Справа»



Рисунок 14.170 - Створення покриття

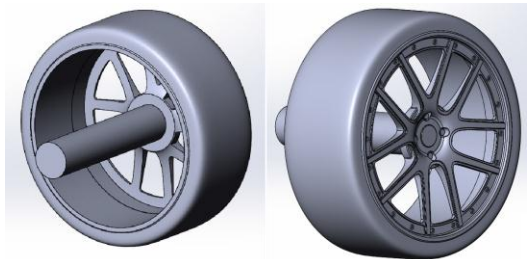


Рисунок 14.171 - Готове колесо з піввіссю

Складання моделі «кузов–колеса–дорога».

Для створення складання у вікні «Новый документ» необхідно вибрати «Сборка» і нажати кнопку «Ок» (рис. 14.172).

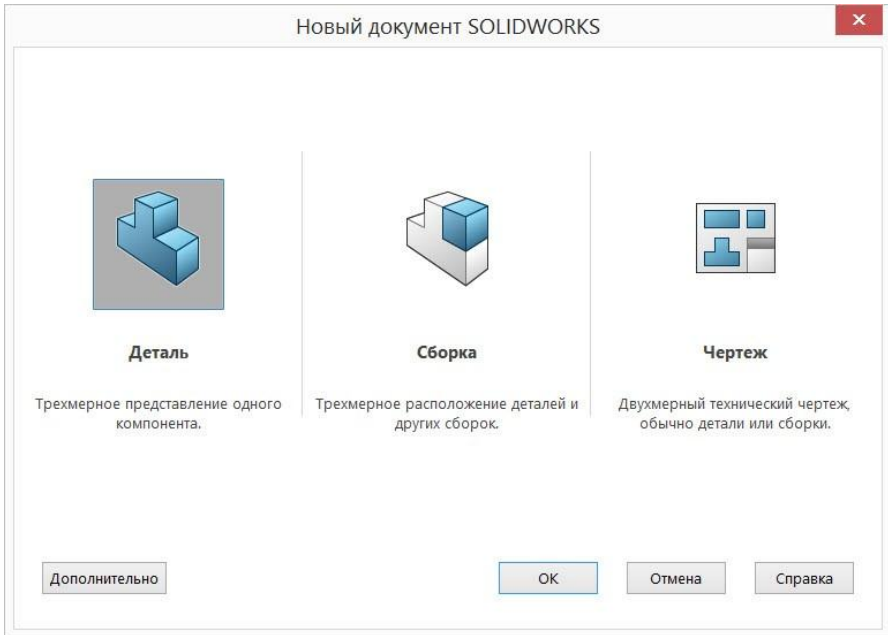


Рисунок 14.172 - Створення нового документу типу складання

Для того щоб завантажити необхідні елементи в складання, натискаємо «Вставить компоненты» (рис. 14.173).

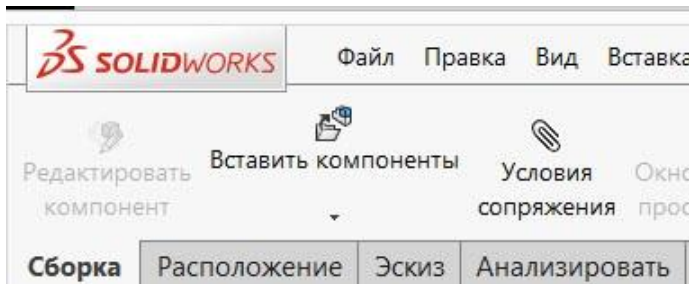


Рисунок 14.173 - Завантаження необхідних елементів в складання

У вікні, що з'явилося, натискаємо **«Обзор»** і вибираємо раніше створений кузов автомобіля і колеса з осями (рис. 14.174).

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.

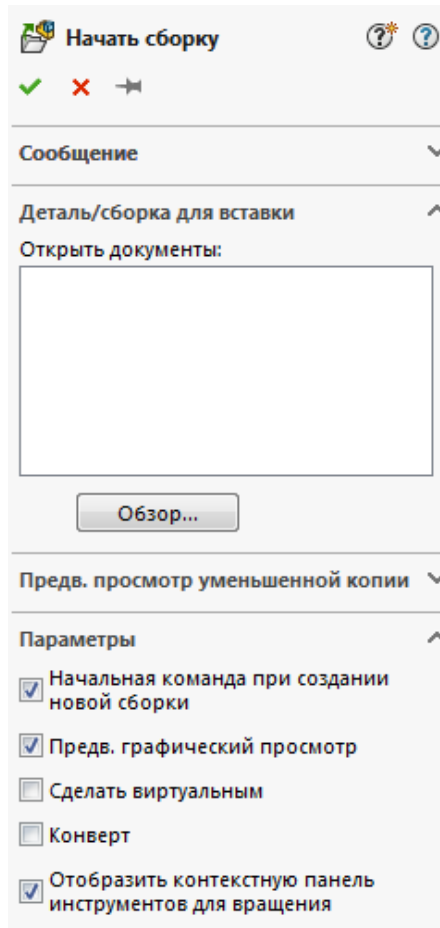


Рисунок 14.174 - Додавання компонентів у складання

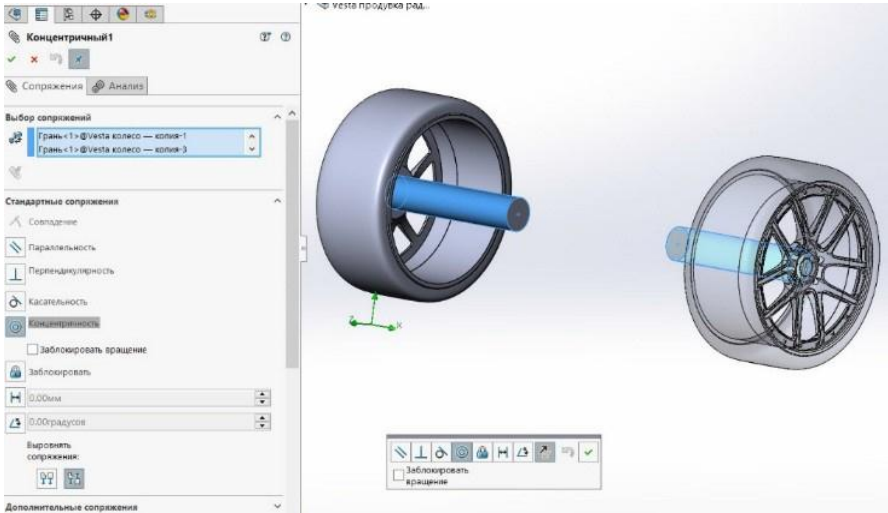


Рисунок 14.175 - Створюємо сполучення для задніх і передніх коліс

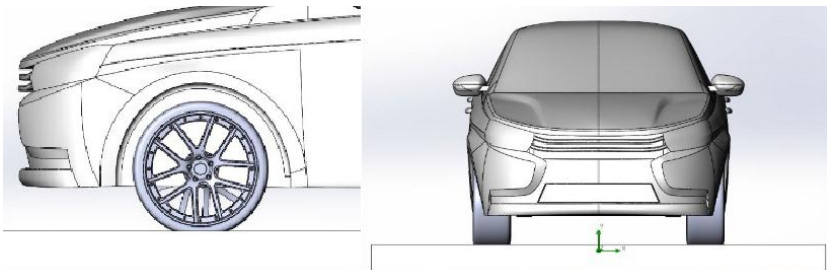


Рисунок 14.176 - Виставляємо колеса по висоті й ширині

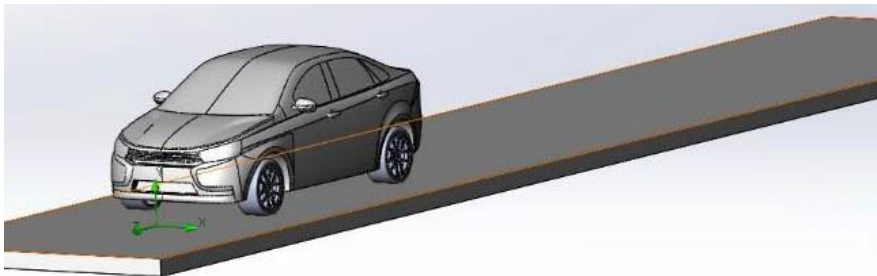


Рисунок 14.177 - Складання моделі «кузов–колеса–дорога»

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.

ЛЕКЦІЯ № 15. АЕРОДИНАМІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛІ КУЗОВА АВТОМОБІЛЯ

План лекції. Введення вихідних даних, настроювання розрахункових програм і послідовність аеродинамічних розрахунків. Аналіз графічних результатів дослідження отриманої 3D-моделі. Розрахунки коефіцієнта аеродинамічного опору. Дослідження впливу елементів дизайну автомобіля на величину коефіцієнта аеродинамічного опору.

Література: [1] - [3], [6], [10], [15], [74] - [83].

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 «Додавлення 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).

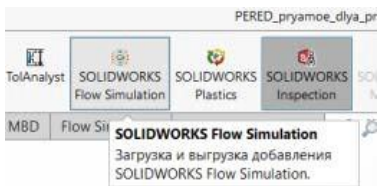


Рисунок 15.1 - Вкладка
«SolidWorks Flow Simulation»

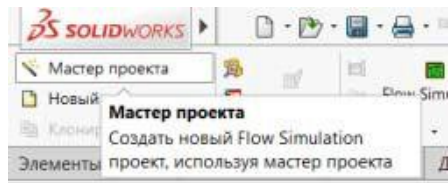


Рисунок 15.2 - Виклик
«Мастер проекта»

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).

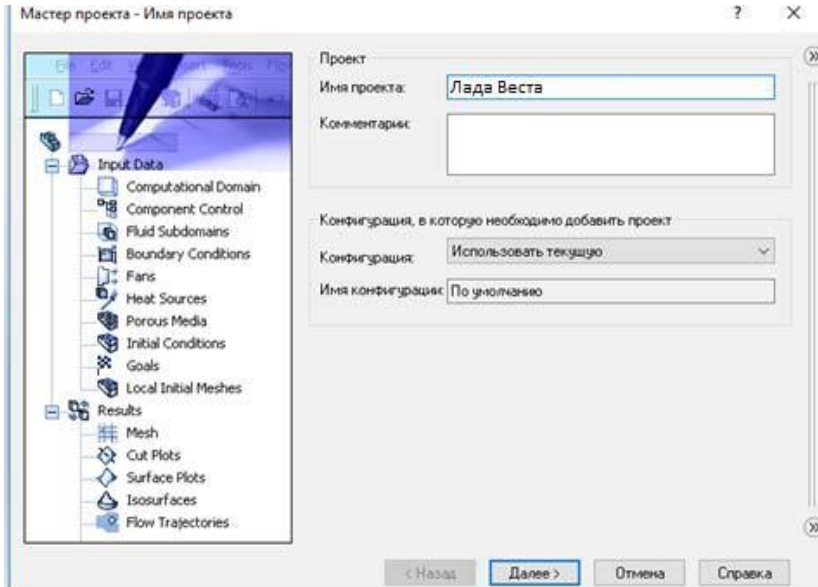


Рисунок 15.3 - Диалоговое окно «Мастер проекта»

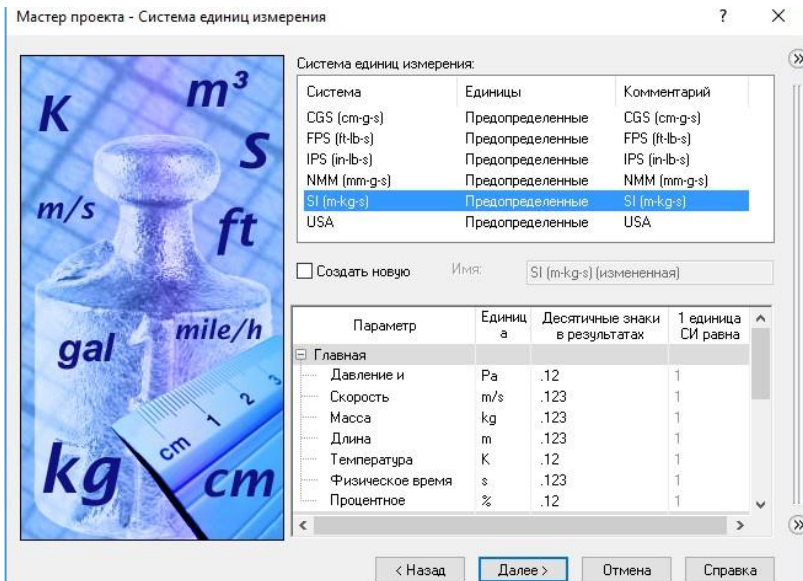


Рисунок 15.4 - Диалоговое окно «Система единиц измерения»

Вибираємо систему SI. Натискаємо кнопку «Далее», з'являється вікно «Тип задачі» (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 продуктів в аеродинамічній трубі – це тип «Нестационарность». У списку «Нестационарность», що розкрився, вибирається загальний час задачі. У цій же вікні вибирається базова вісь – та вісь, уздовж якої буде здійснюватися плин потоку. У нашому випадку – це вісь **Z**.

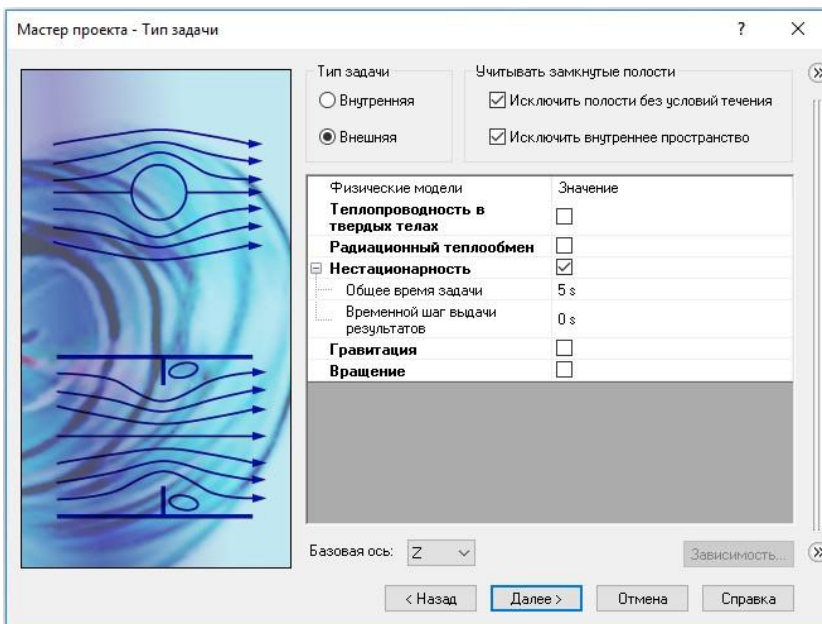


Рисунок 15.5 - Діалогове вікно «Тип задачі»

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 плинину потоку. 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.

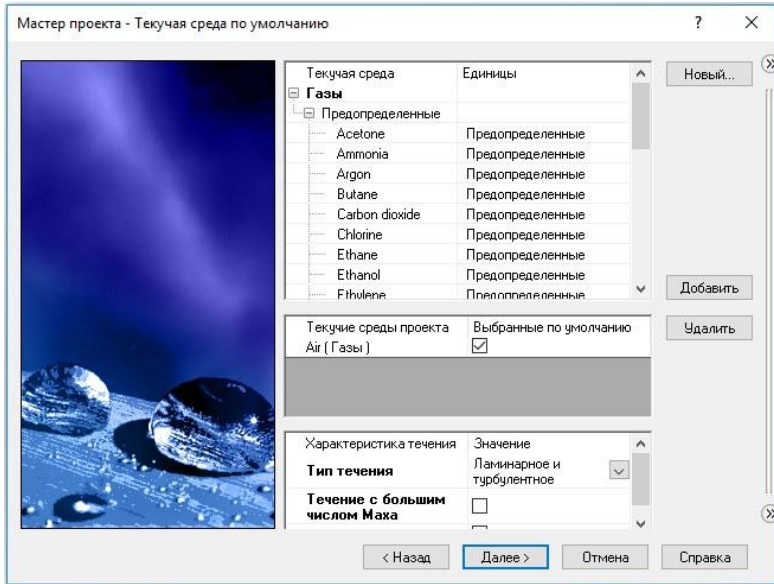


Рисунок 15.6 - Диалоговое окно «Текучая среда»

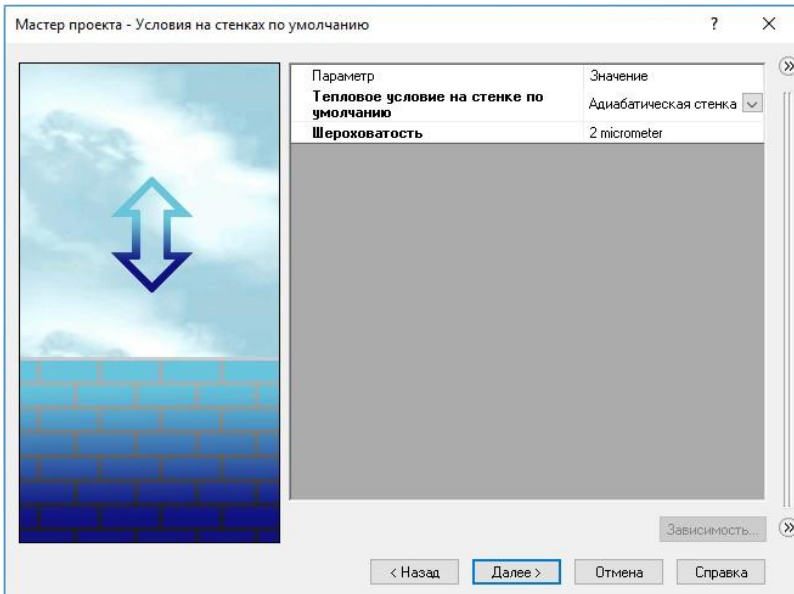


Рисунок 15.7 - Диалоговое окно «Условия на стенках»

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.

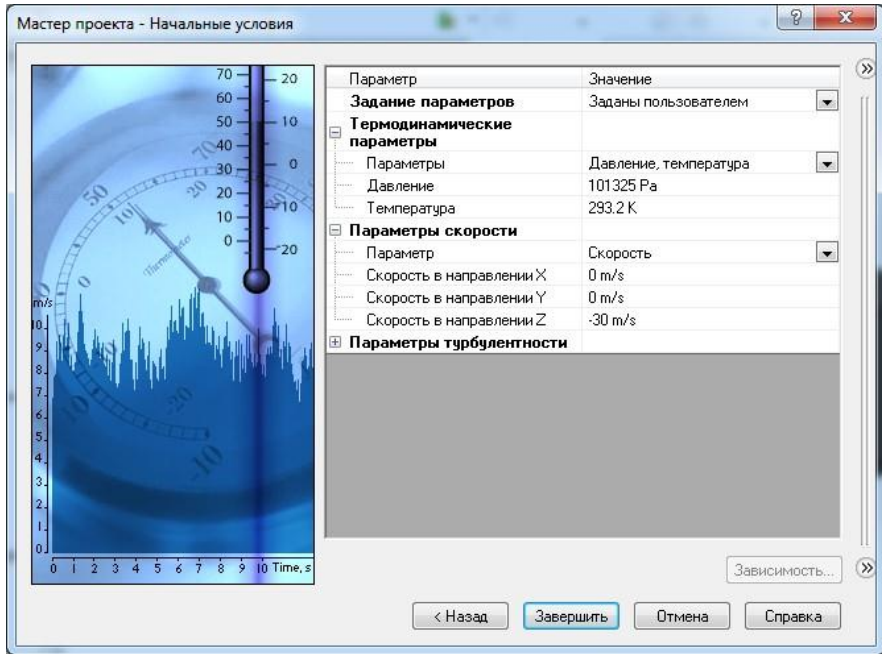


Рисунок 15.8 - Діалогове вікно «Начальные условия»

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.

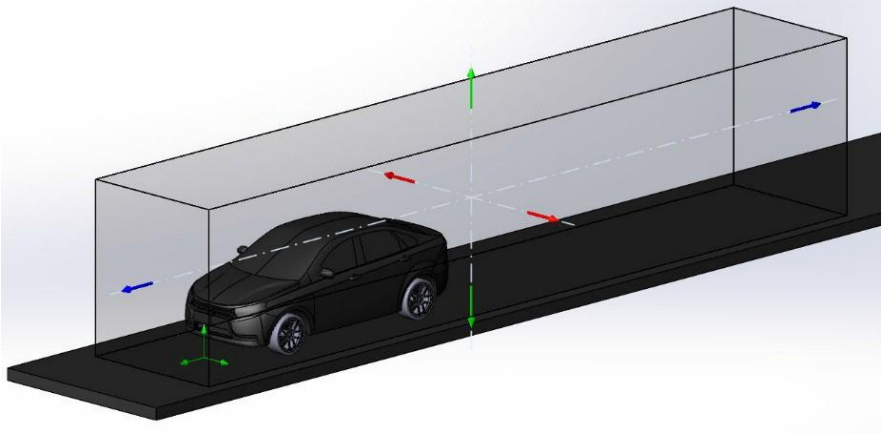


Рисунок 15.9 - Тривимірна модель із розрахунковою областю

Для цього вибираємо «Сетка» -> «Глобальная сетка» -> «Изменить базовую сетку». У списку, що відкрився, вибираємо розмір сітки «4» (рис. 15.12).

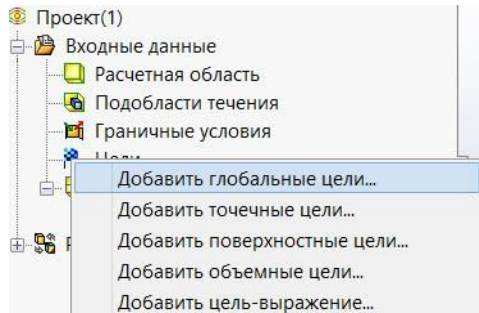


Рисунок 15.10 - Вибір пункту меню «Добавить глобальные цели»

Рівень розміру сітки впливає як на точність результатів, так і на швидкість самого процесу розрахунку. Після всіх перерахунків вище операцій проект готовий до запуску й розрахунку. Для запуску розрахунків натискаємо кнопку «Запустить» (рис. 15.14).

Далі з'являється вікно налаштувань запуску розрахунків. У графі «Использовать» необхідно виставити максимальну кількість ядер процесора вашого комп'ютера для мінімізації часу розрахунків і нажати «Запустить» (рис. 15.15).

Параметры

Параметр	Min	C	Max	Среднерасх	Исп. для сх
Поверхностная плотность тепловог	☐	☐	☐		☒
Температура стенки	☐	☐	☐		☒
Тепловой поток			☐		☒
Тепловой поток (конвекция)			☐		☒
Конвективный тепловой поток			☐		☒
Сила давления			☐		☒
Сила давления (X)			☐		☒
Сила давления (Y)			☒		☒
Сила давления (Z)			☒		☒
Сила			☐		☒
Сила (X)			☐		☒
Сила (Y)			☐		☒
Сила (Z)			☐		☒
Сила трения			☐		☒
Сила трения (X)			☐		☒
Сила трения (Y)			☐		☒
Сила трения (Z)			☐		☒
Касательное напряжение	☐	☐	☐		☒
Касательное напряжение (X)	☐	☐	☐		☒
Касательное напряжение (Y)	☐	☐	☐		☒
Касательное напряжение (Z)	☐	☐	☐		☒
Момент (X)			☐		☒
Момент (Y)			☐		☒
Момент (Z)			☐		☒

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). 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 налаштуваннях попереднього перегляду необхідно вибрати площину «Справа» (уздовж якої рухається потік) і натиснути «Ок» (рис. 15.20).

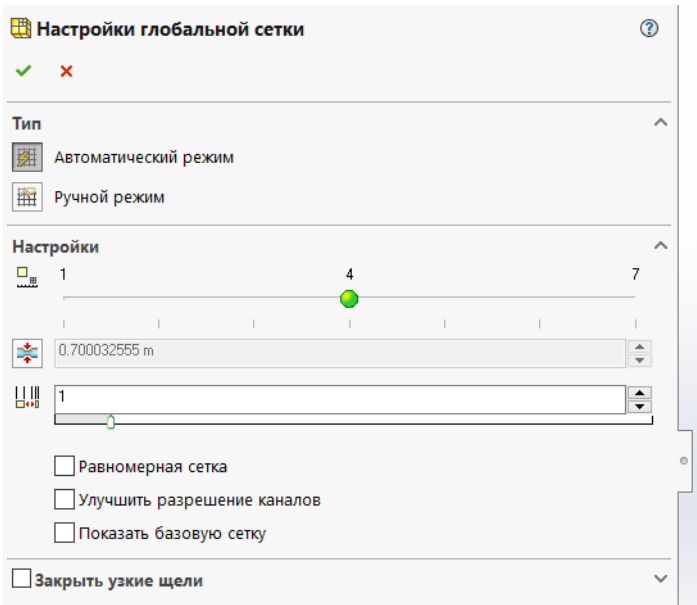


Рисунок 15.12 - Выбираемо розмір сітки «4»

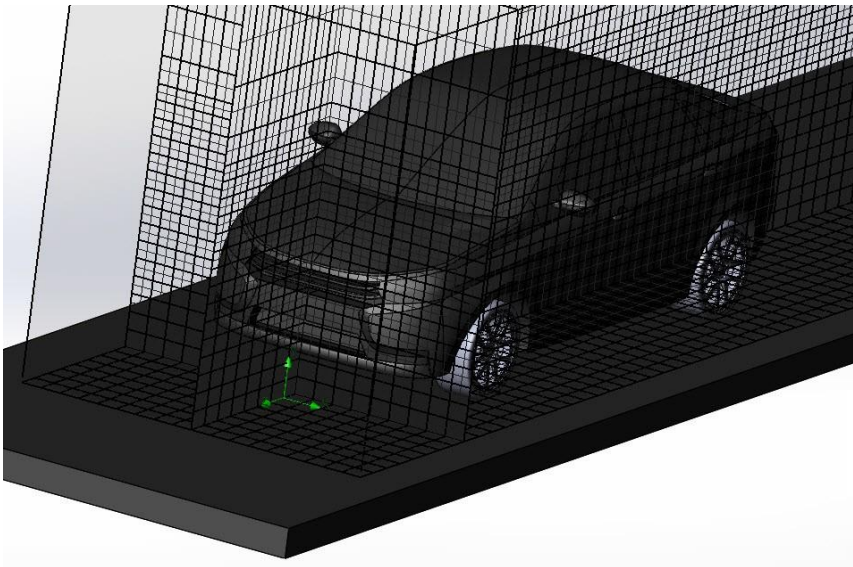


Рисунок 15.13 - Загальний вигляд розрахункової сітки

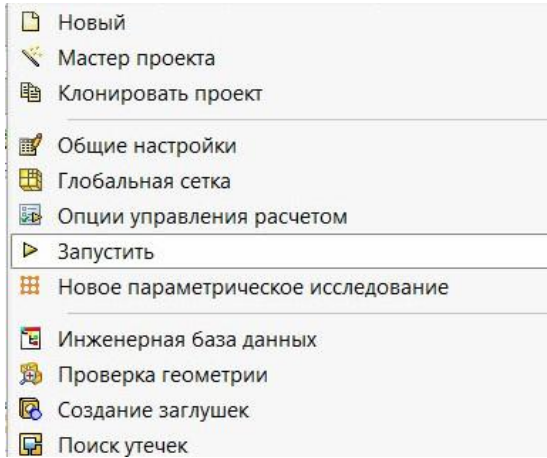


Рисунок 15.14 - Запуск розрахунків

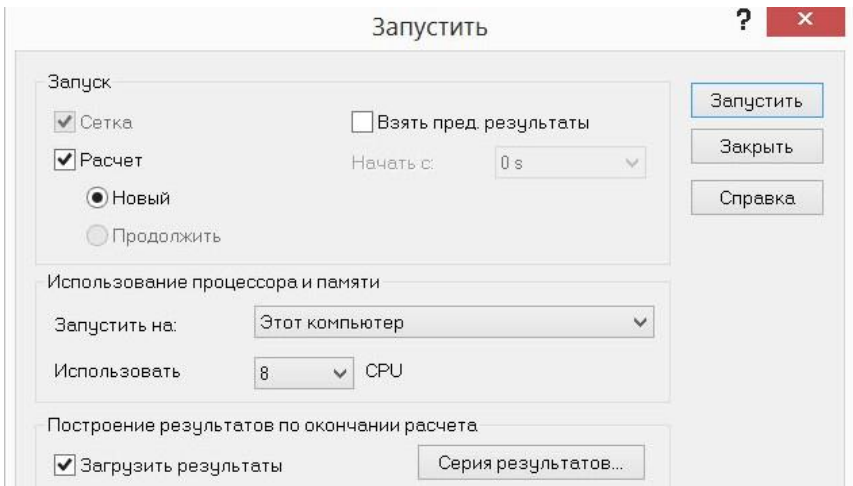


Рисунок 15.15 - Вікно настроювань запуску розрахунків

На зображенні, що з'явилося, бачимо напрямок потоку повітря, що набігає, який позначений стрілками (рис. 15.21). 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).

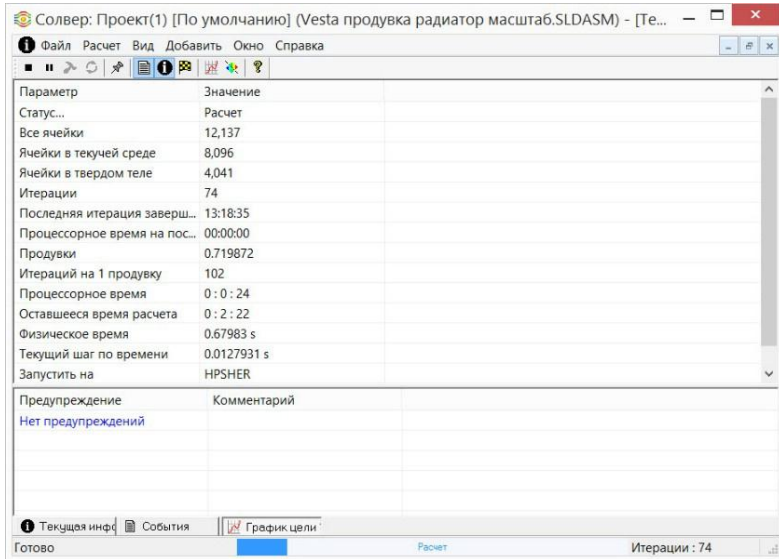


Рисунок 15.16 - Вікно з поточним станом розрахунків

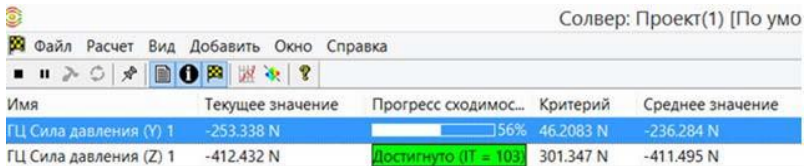


Рисунок 15.17 - Поточні результати поставлених цілей розрахунків

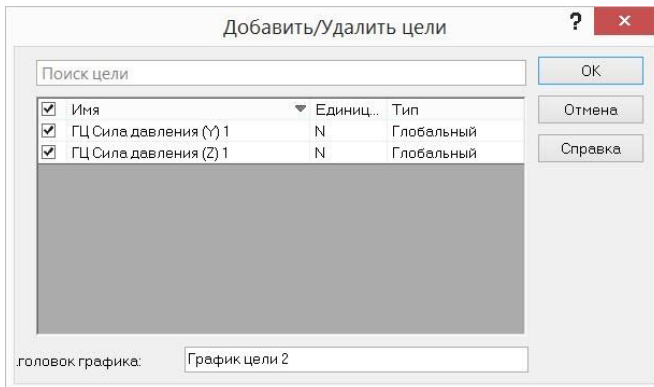


Рисунок 15.18 - Вікно виводу графіків цілей

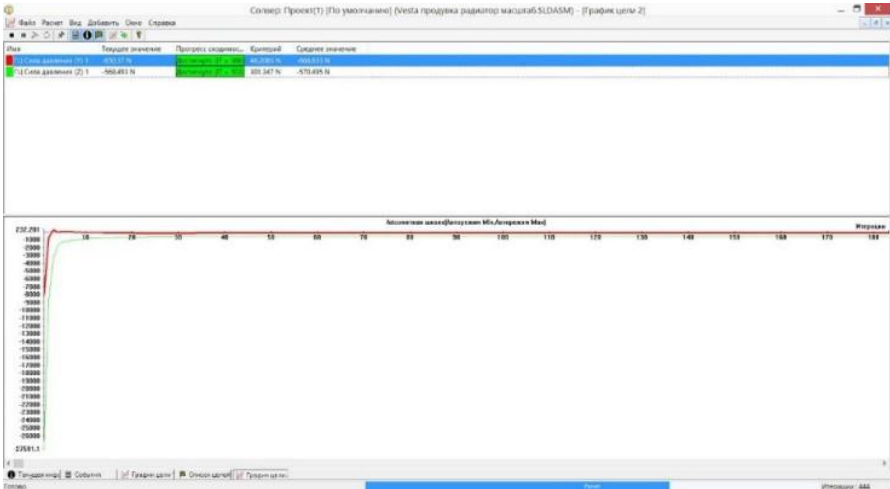


Рисунок 15.19 - Графики целей

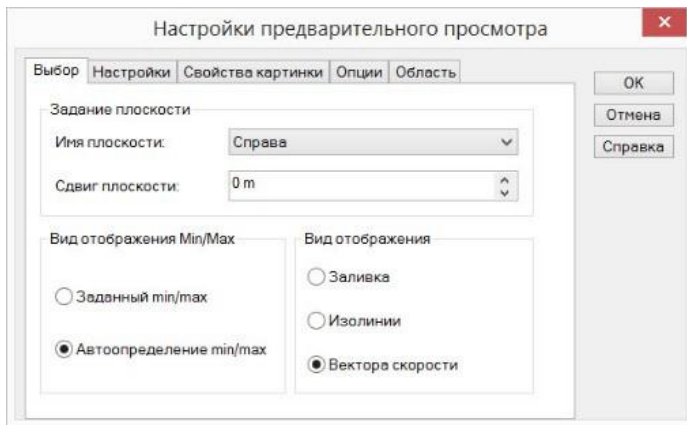


Рисунок 15.20 - Настроювання попереднього перегляду

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'явилася, 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).

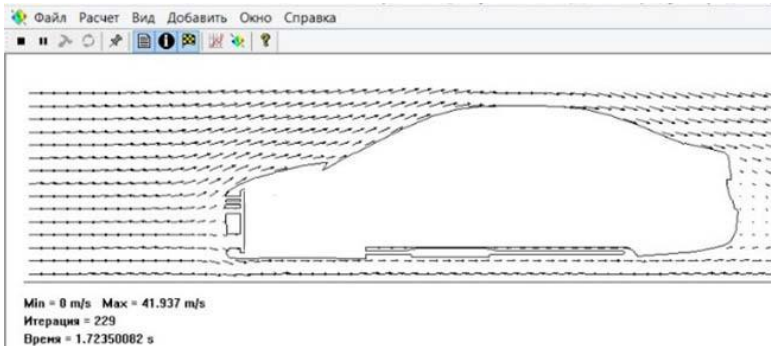


Рисунок 15.21 - Напрямок потоку повітря

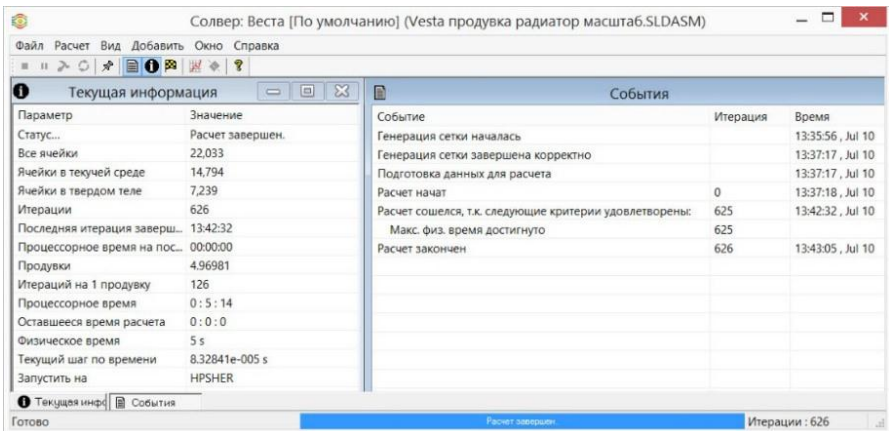


Рисунок 15.22 - Дані розрахунків

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.

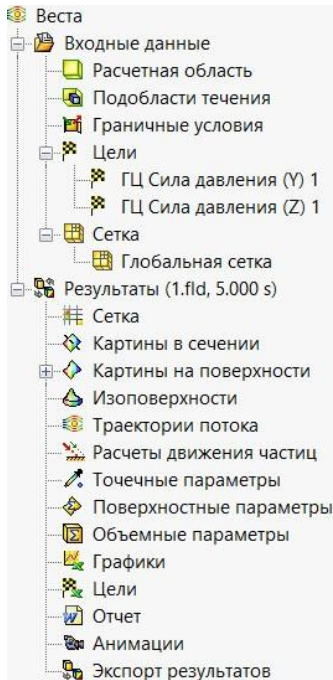
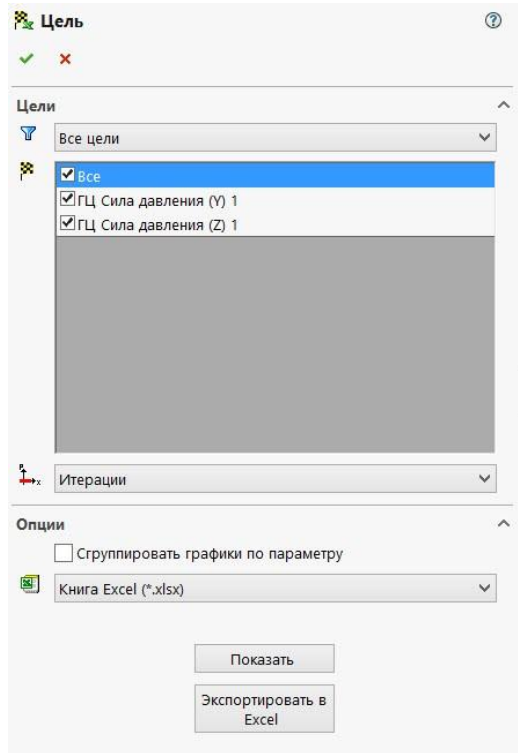
Рисунок 15.23 - Результаты
розрахунків

Рисунок 15.24 - Выбор целей

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.

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.

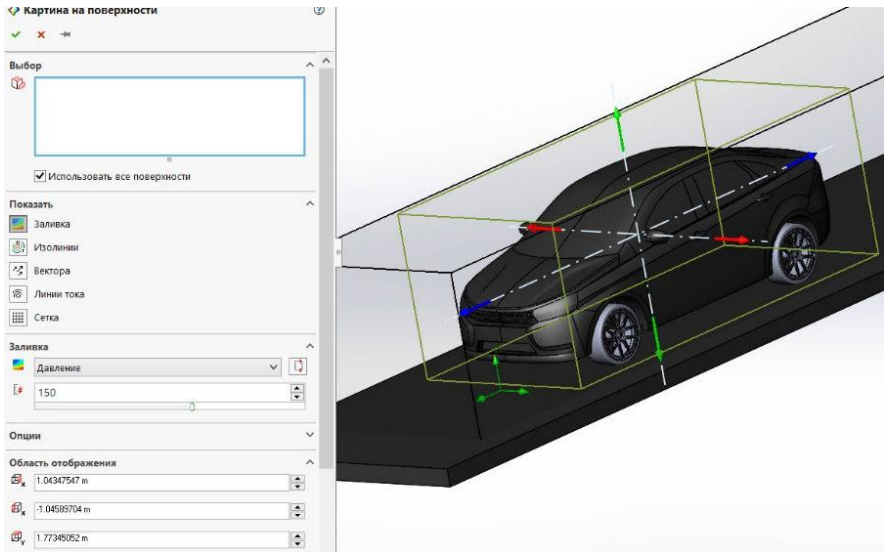


Рисунок 15.26 - Настроювання графічного представлення картини тисків

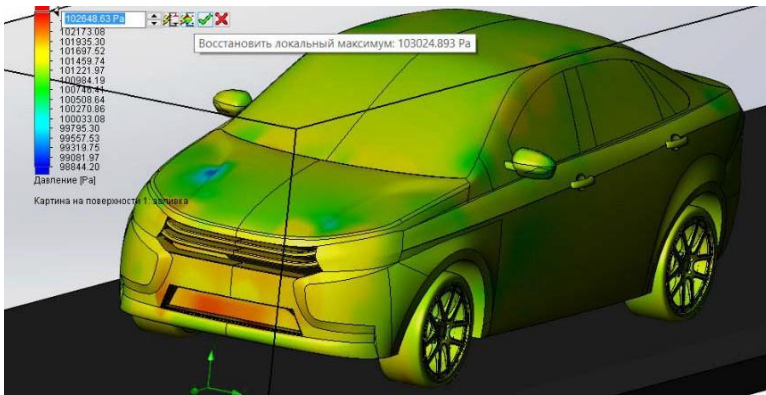


Рисунок 15.27 - Редагування шкали значень

В «Изоповерхности» можна вивести картину зниженого тиску. У вікні параметр вибираємо «Давление». У значенні 1 устанавлюємо 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).

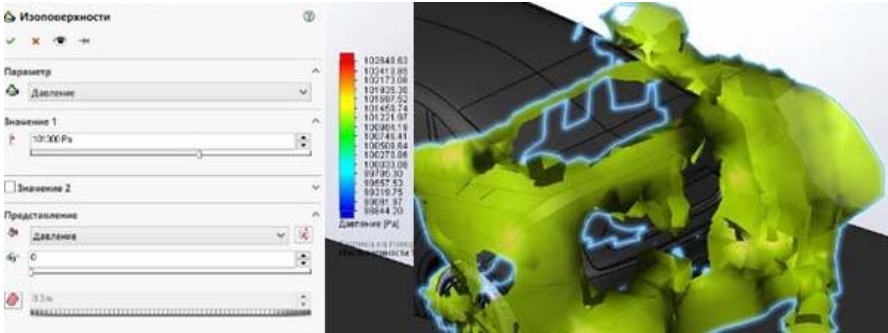


Рисунок 15.28 - Картина зниженого тиску

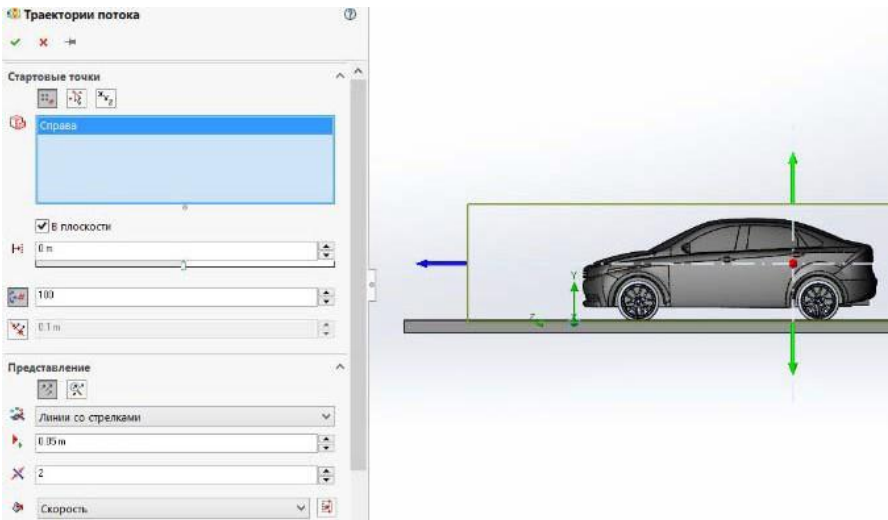


Рисунок 15.29 - Зміна області відображення

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, тов-

щина - 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.

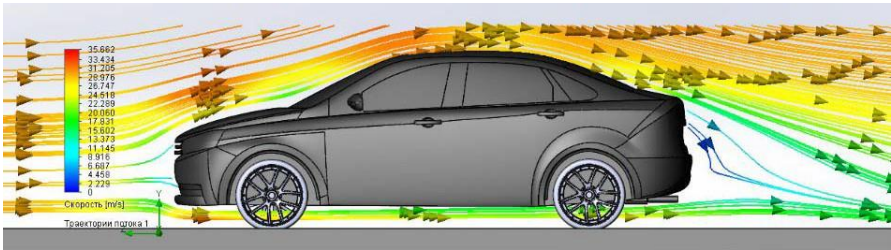


Рисунок 15.30 - Наочне подання результатів

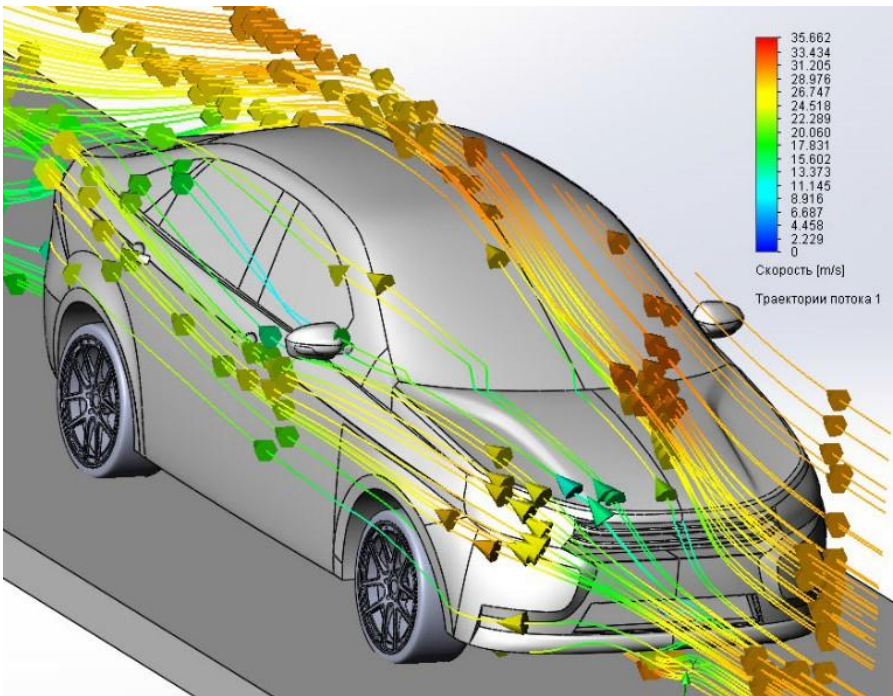


Рисунок 15.31 - Розподіл траєкторій швидкостей потоку

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», площа «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).

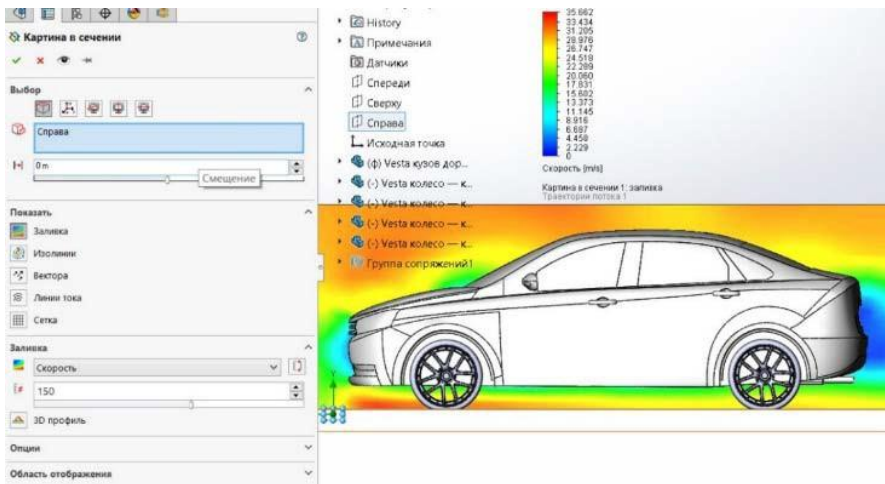


Рисунок 15.32 - Настроювання параметрів розрахунку

Розрахунки коефіцієнта аеродинамічного опору C_x .

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 C_x – безрозмірний коефіцієнт, що характеризує

відношення сили лобового опору до швидкості й поперечному перерізу автомобіля.

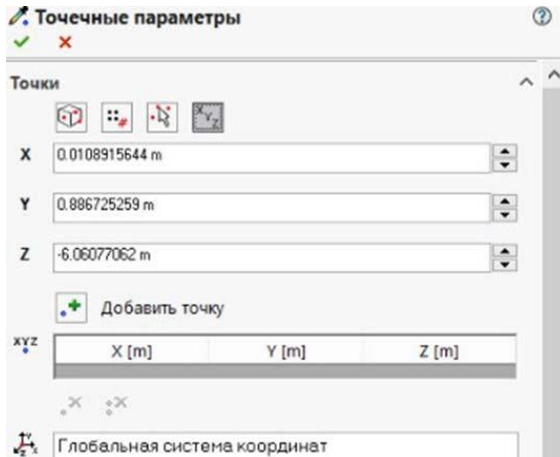


Рисунок 15.33 - Задаємо координати точки на поверхні кузова

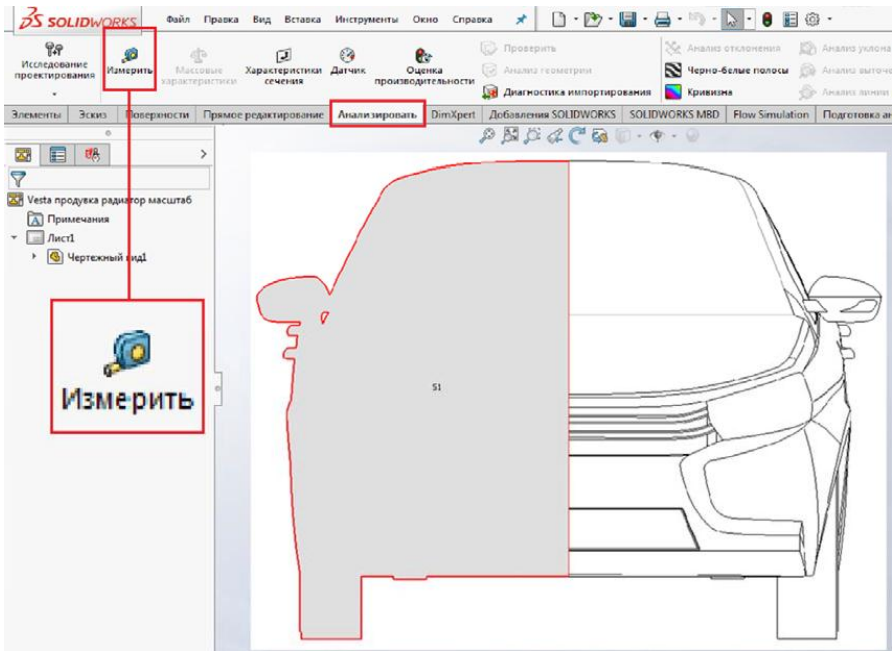


Рисунок 15.34 - Обчислення площі автомобіля по моделю

Коефіцієнт лобового опору розраховується по формулі:

$$C_x = \frac{2F_{\text{л}}}{\rho_{\text{в}} \cdot A \cdot V^2}, \quad (15.1)$$

де $F_{\text{л}}$ – сила лобового опору, 411 Н;

$\rho_{\text{в}}$ – щільність повітря, 1,21 кг/м³;

A – лобова площа автомобіля (мідель), 2,22 м²;

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 «**Аналізувати**» і за допомогою інструмента «**Измерить**» обчислити площу (рис. 15.34).

Коефіцієнт аеродинамічного опору C_x створеної моделі автомобіля в результаті розрахунків складає 0,34. У реально існуючого автомобіля LADA Vesta $C_x = 0,38$. Автомобілями одного класу з LADA Vesta є автомобілі показані на рис. 15.35, там же одразу вказані значення коефіцієнтів аеродинамічного опору C_x для цих моделей.

На рис. 15.36 показана сітка елементів з різним рівнем дроблення. Розрахунки коефіцієнта аеродинамічного опору C_x при настроюваннях рівня дроблення сітки 2, 4 і 8 показали, що збільшення рівня дроблення сітки з 4 до 8 незначно впливає на зміну коефіцієнта C_x , але приводить до збільшення часу розрахунків з 0,8 год до 60 год.

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.

Дослідження впливу елементів дизайну автомобіля на величину коефіцієнта аеродинамічного опору C_x .

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.



Hyundai Solaris ($C_x = 0,30$)



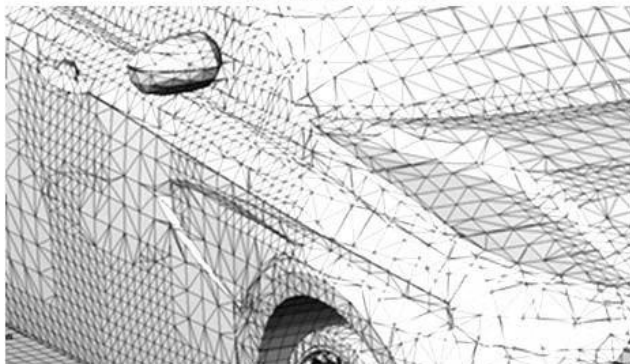
Kia Rio ($C_x = 0,32$)



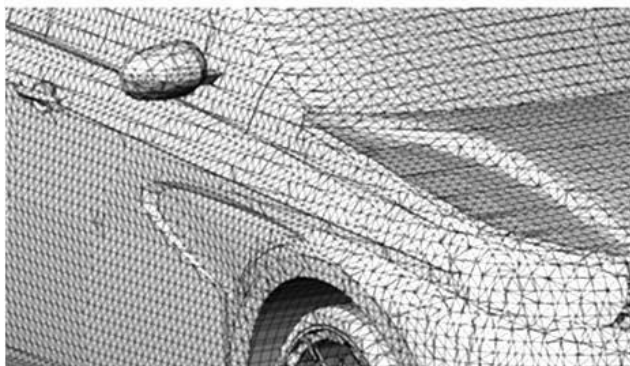
Volkswagen Polo ($C_x = 0,30$)

Рисунок 15.35 - Автомобілі одного класу з LADA Vesta

Уровень дробления 2



Уровень дробления 4



Уровень дробления 8



Рисунок 15.36 - Сетка элементов с разным уровнем дробления

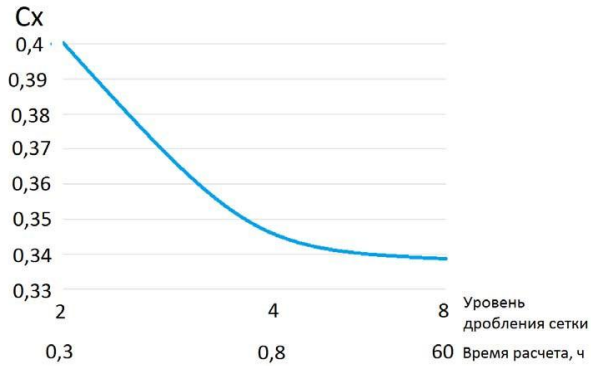


Рисунок 15.37 - Графік залежності коефіцієнта C_x від рівня дроблення сітки

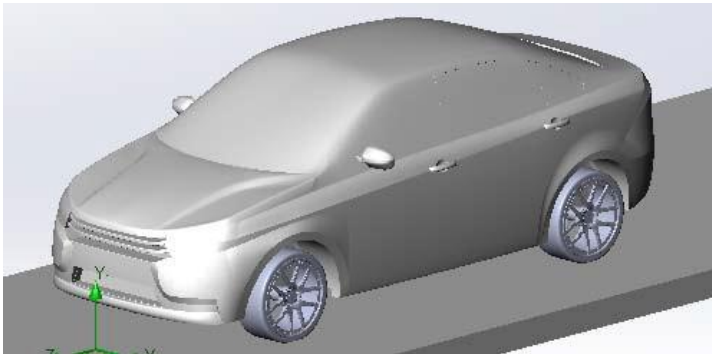


Рисунок 15.38 - Розрахункова модель

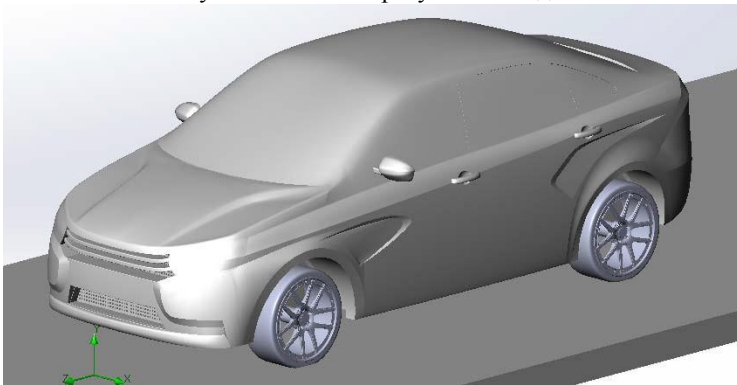


Рисунок 15.39 - Прототип LADA Vesta

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.

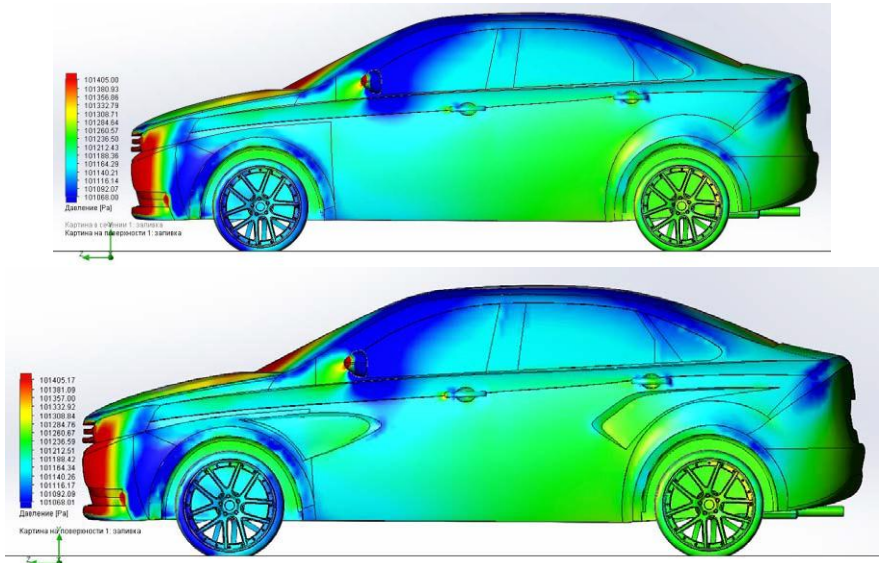


Рисунок 15.40 - Розподіл тисків на поверхні кузова моделі

Наявність елементів дизайну на поверхні кузова моделі приводить до збільшення коефіцієнта аеродинамічного опору C_x з 0,34 до 0,345.

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).

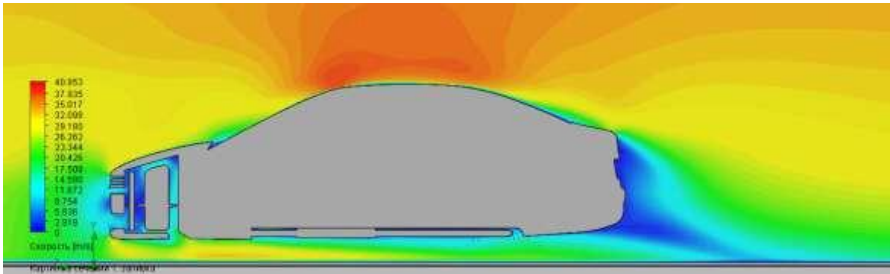


Рисунок 15.41 - Розподіл швидкостей на поздовжній площині

За результатами розрахунків сила лобового опору склала 436 Н, у результаті чого коефіцієнт аеродинамічного опору C_x 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 проєктованого автомобіля. При цьому вихідним для аеродинамічної обробки є дизайнерський проєкт 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 $C_x = 0,36$ з результатами при дослідженні автомобіля Lada Vesta в аеродинамічній трубі ($C_x = 0,38$).

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?

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Базова

1. Sham Tickoo. SOLIDWORKS 2018 for Designers, 16th Edition. Schererville : CAD/CIM 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.

Допоміжна

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.
Дударева Н. Ю., Загайко С. А. SolidWorks. Оформление проектной документации. СПб. : БХВ-Петербург, 2009. 384 с.
10. Ловыгин А. А., Твердовский Л. В. Современный станок с ЧПУ и CAD/CAM-система. М. : ДМК Пресс, 2015. 280 с.
11. Алямовский А. А. SolidWorks Simulation. Инженерный анализ для профессионалов : задачи, методы, рекомендации. М. : ДМК Пресс, 2015. 562 с.
12. Алямовский А. А. SolidWorks Simulation. Как решать практические задачи СПб. : БХВ-Петербург, 2012. 448 с.
13. Алямовский А. А. COSMOSWorks. Основы расчета конструкций на прочность в среде SolidWorks. М. : ДМК Пресс, 2010. 784 с.
14. Алямовский А. А., Собачкин А. А., Одинцов Е. В. SolidWorks 2007/2008. Компьютерное моделирование в инженерной практике. СПб. : БХВ-Петербург, 2008. 1040 с.

15. Потемкин А. Е. Трёхмерное твердотельное моделирование. М. : КомпьютерПресс, 2002. 296 с.
16. Потемкин А. Е. Инженерная графика. Просто и доступно. М. : Лори, 2000. 480 с.
17. Большаков В. П., Тозик В. Т., Чагина А. В. Инженерная и компьютерная графика: учеб. пособие. СПб. : БХВ-Петербург, 2013. 288 с.
18. Большаков В. П., Бочков А. Л. Основы 3D-моделирования. Изучаем работу в AutoCAD, КОМПАС-3D, SolidWorks, Inventor. СПб. : Питер, 2013. 304 с.
19. Большаков В. П. Инженерная и компьютерная графика. Практикум. СПб. : БХВ-Петербург, 2004. 592 с.
20. 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.
21. Nikola Vukašinović, Jože Duhovnik. Advanced CAD modeling. Explicit, parametric, free-form CAD and Re-engineering. Cham : Springer Nature Switzerland AG, 2019. 260 p.
22. Агапов В. П. Метод конечных элементов в статике, динамике и устойчивости пространственных тонкостенных подкрепленных конструкций. М : АСВ, 2000. 152 с.
23. Большаков В. И., Яценко Е. А., Соссу Г. Основы метода конечных элементов. Днепропетровск : ПГАСиА, 2000. 255 с.
24. Галлагер Р. Метод конечных элементов. Основы. М. : Мир, 1984. 428 с.
25. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. М. : Мир, 1975. 540 с.
26. Образцов И. Ф., Савельев Л. М., Хазанов Х. С. Метод конечных элементов в задачах строительной механики летательных аппаратов. М. : Высш. шк., 1985. 392 с.
27. Сабоннадьер Ж. К., Кулон Ж. Л. Метод конечных элементов и САПР. М. : Мир, 1989. 190 с.
28. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов. М. : Мир, 1979. 395 с.
29. Стренг Г., Фикс Дж. Теория метода конечных элементов. М. : Мир, 1977. 351 с.
30. Алиева Н. П., Журбенко П. А., Сенченкова Л.С. Построение моделей и создание чертежей деталей в системе Autodesk Inventor. Саратов : Профобразование, 2017. 112 с.

31. Каменев С. В. Моделирование станка-гексапода в CAD-системе Autodesk Inventor. Оренбург : ОГУ, 2017. 142 с.
32. Kishore T. Learn Autodesk Inventor 2018 Basics: 3D Modeling, 2D Graphics, and Assembly Design. Hyderabad : Apress, 2017. 542 p.
33. Bob McFarlane. Autodesk Inventor exercises for Autodesk Inventor and other feature-based modelling software. New York : Routledge, 2017. 432 p.
34. Randy H. Shih. Autodesk Inventor 2019 and engineering graphics. Mission, KS : SDC Publications, 2018. 705 p.
35. Randy H. Shih. Parametric modeling with Autodesk Inventor 2018. Mission, KS : SDC Publications, 2017. 618 p.
36. Autodesk Inventor 2018 basics tutorial. Tutorial Books, 2017. 189 p.
37. T-FLEX CAD. Основы. 2D проектирование и черчение. Руководство пользователя. М. : Топ Системы, 2019. 1407 с.
38. T-FLEX CAD. Трёхмерное моделирование. Руководство пользователя. М. : Топ Системы, 2019. 1415 с.
39. Потемкин А. Е. Твердотельное моделирование в системе КОМПАС-3D. М. : БХВ-Петербург, 2004. 512 с.
40. АРМ FEM. Система прочностного анализа для КОМПАС-3D. Королёв : Научно-технический центр "Автоматизированное Проектирование Машин", 2014. 26 с.
41. Ганин Н. Б. Проектирование и прочностной расчет в системе КОМПАС-3D V13. Саратов : Профобразование, 2017. 320 с.
42. Денисов М. А. Автоматизированное проектирование в ANSYS и КОМПАС-3D. Екатеринбург, Изд-во Урал. ун-та, 2015. 264 с.
43. Жарков Н. В., Минеев М. А., Финков М. В. КОМПАС-3D. Полное руководство. От новичка до профессионала. Спб. : Наука и техника, 2016. 672 с.
44. Зиновьев Д. В. Основы проектирования в КОМПАС-3D V16. Павлоград : Студия Vertex, 2017. 327 с.
45. Конакова И. П. Шероховатости поверхностей и их практическое применение в программе КОМПАС. Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2014. 104 с.
46. 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.
47. Савченко Н. В. Автоматизация построения чертежей. Лабораторный практикум по инженерной и компьютерной графике в системе

- КОМПАС-3D. Самара : Изд-во СГАУ, 2015. 216 с.
48. Басов К. А. ANSYS : справочник пользователя. Саратов : Профобразование, 2017. 640 с.
 49. Chen Xiaolin, Liu Yijun. Finite Element Modeling and Simulation with ANSYS Workbench. Boca Raton : CRC Press, 2015. 408 p.
 50. David Moratal. Finite element analysis from biomedical applications. Valencia : Polytechnic University of Valencia, 2016. 507 p.
 51. Erdogan Madenci, Ibrahim Guven. The Finite element method and applications in engineering using ANSYS. New York : Springer International Publishing, 2015. 663 p.
 52. Farzad Ebrahimi. Finite element analysis new trends and developments. Iran : International University of Imam Khomeini, 2016. 408 p.
 53. Mary Kathryn Thompson, John M. Thompson. ANSYS Mechanical APDL for finite element analysis Oxford : Butterworth-Heinemann, 2017. 438 p.
 54. Saeed Moaveni. Finite element analysis. Theory and application with ANSYS. Essex : Pearson Education Limited, 2015. 929 p.
 55. Sham Tickoo. CATIA V5-6R2015 for designers. Hammond : CAD/CIM Technologies, 2016. 1630 p.
 56. CATIA v6 essentials. Sudbury : Jones and Bartlett Publishers, 2011. 305 p.
 57. Gaurav Verma, Matt Weber. Creo Parametric 4.0 Black Book. USA : CAD/CAM/CAE Works, 2017. 737 p.
 58. Paul Obiora Kanife. Computer aided virtual manufacturing using Creo Parametric. Notting Hill : Springer, 2016. 678 p.
 59. Creo Parametric 4.0 Basics. Tutorial Books, 2017. 311 p.
 60. Jouni Ahola. Creo Parametric Modeling for Manufacturing v3. Helsinki : Klaava Media, 2015. 750 p.
 61. Jouni Ahola. Creo Parametric Basic Turning. Helsinki : Klaava Media, 2015. 520 p.
 62. Jouni Ahola. Creo Parametric Milling. Helsinki: Klaava Media, 2015. 589 p.
 63. NX для конструктора-машиностроителя / П. С. Гончаров и др. Москва : ДМК Пресс, 2010. 504 с.
 64. 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.
 65. Почекуев Е. Н., Путеев П. А., Шенбергер П. Н. Проектирование

- штампов для последовательной листовой штамповки в системе NX. М. : ДМК Пресс, 2012. 336 с.
66. Федоров А. Л., Сафонов М. В. Основы проектирования сборочно-сварочной оснастки с помощью пакета NX. Тольятти : Изд-во ТГУ, 2016. 68 с.
 67. Поляков А. Н. Разработка управляющих программ для станков с ЧПУ. Система NX. Фрезерование. Оренбург : Оренбургский гос. ун-т., 2016. 171 с.
 68. Поляков А. Н. Разработка управляющих программ для станков с ЧПУ. Система NX. Часть II. Оренбург : Оренбургский гос. ун-т., 2016. 118 с.
 69. 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.
 70. Sham Tickoo. Siemens NX 12.0 for Designers, 11th Edition. Schererville : CAD/CIM Technologies, 2018. 1140 p.
 71. Jože Duhovnik, Ivan Demšar, Primož Drešar. Space Modeling with SolidWorks and NX. Ljubljana : University of Ljubljana, 2015. 500 p.
 72. Рычков С. П. Моделирование конструкций в среде Femap with NX Nastran. М. : ДМК Пресс, 2013. 784 с.
 73. Бражникова О. И. Компьютерный дизайн художественных изделий в программах Autodesk 3DS Max и Rhinoceros. Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2016. 100 с.
 74. Фомин Б. Rhinoceros. NURBS моделирование для Windows. USA : Robert McNeel & Associates, 2006. 290 с.
 75. Andre Kutscherauer. 3D Car Modeling with Rhinoceros. Munich : AK3D, 2011. 624 p.
 76. Fletcher Dunn, Ian Parberry. 3D Math Primer for Graphics and Game Development. Plano, Texas : Word ware Publishing, Inc., 2002. 440 p.
 77. Joseph Richard Saltzman. Supermodels Professional 3D Training Tools. Buckinghamshire : Cinemagic Productions Limited, 1999. 970 p.
 78. Ron K.C. Cheng. Inside Rhinoceros 5. Stamford : Cengage Learning, 2014. 658 p.
 79. Ali K. Kamrani, Emad Abouel Nasr. Engineering Design and Rapid Prototyping. London : Springer Science+Business Media, LLC, 2010. 460 p.
 80. Ian Gibson, David Rosen, Brent Stucker. Additive manufacturing tech-

nologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing. New York : Springer Science + Business Media New York, 2015. 510 p.

81. Kuang-Hua Chang. Product design modeling using CAD/CAE. The computer aided engineering design series. Waltham : Elsevier Inc., 2014. 421 p.
82. Осипов В. И. Компьютерные технологии при проектировании и аэродинамических исследованиях легкового автомобиля. М. : МАДИ, 2018. 100 с.

Інформаційні ресурси

83. 3D-моделирование: тонкости CAD-дизайна для 3D-печати. <https://3dtoday.ru/category/3d-modelirovanie> (дата звернення: 27.10.2019)
84. АСКОН - комплексные решения для автоматизации инженерной деятельности и управления производством. CAD/AEC/PLM. URL: <https://ascon.ru/products/7/review/>. (дата звернення: 10.10.2019)
85. Система NX (колишня назва - Unigraphics) компанії Siemens. URL: <https://www.plm.automation.siemens.com/global/ru/products/nx/>. (дата звернення: 10.10.2019)
86. Система CATIA. URL: <https://www.3ds.com/products-services/catia/>. (дата звернення: 10.10.2019)
87. Система SolidWorks. URL: <https://www.solidworks.com>. (дата звернення: 10.10.2019)
88. Welcom to ANSYS, Inc. – Corporate Homepage. URL: <https://www.ansys.com>. (дата звернення: 10.10.2019)
89. Система PTC Creo Elements/Pro (колишня назва Pro/ENGINEER) компанії PTC (Parametric Technology Corporation). URL: <https://www.ptc.com/en/industries/automotive>. (дата звернення: 10.10.2019)
90. Система Solidedge компанії Siemens. URL: <https://solidedge.siemens.com/ru/>. (дата звернення: 10.10.2019)
91. Система T-FLEX. URL: <http://www.tfex.ru/>. (дата звернення: 27.10.2019)
92. Система Autodesk Inventor. URL: <https://www.autodesk.com/products/inventor/overview>. (дата звернення: 27.10.2019)