

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет «Запорізька політехніка»

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

2019

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.

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

Рецензент: О.С. Слюсаров, доцент, канд.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

Вступ	4
1 Робоча програма дисципліни	6
2 Методичні вказівки.....	9
2.1 Загальні вказівки. Мета викладання дисципліни.....	9
2.2 Задачі вивчення дисципліни.....	10
2.3 Загальні рекомендації щодо вивчення дисципліни.....	11
2.4 Методичні вказівки для студентів по освоєнню дисципліни	11
2.4.1 Тема 1. Вступ до курсу	13
2.4.2 Тема 2. Функціональні можливості сучасних САПР використовуваних у машинобудуванні.....	21
2.4.3 Тема 3. Загальні принципи створення твердотільних моделей, ескізів та креслень у САПР	24
2.4.4 Тема 4. Загальні принципи проведення інженерного аналізу проєктованих конструкцій у САПР	26
2.4.5 Тема 5. Основні методи роботи у системі NX Siemens ...	28
2.4.6 Тема 6. Особливості конструкцій сучасних автомобільних бензинових ДВЗ.....	31
2.4.7 Тема 7. Загальні принципи створення деталей.....	33
2.4.8 Тема 8. Робота з конфігураціями деталей	35
2.4.9 Тема 9. Створення деталей з листового матеріалу.....	36
2.4.10 Тема 10. Робота зі зварними конструкціями	37
2.4.11 Тема 11. Створення складань деталей	39
2.4.12 Тема 12. Робота з ливарними формами.....	40
2.4.13 Тема 13. Оформлення креслень	42
2.4.14 Тема 14. Розробка зовнішніх форм кузова автомобіля....	43
2.4.15 Тема 15. Аеродинамічні дослідження моделі кузова автомобіля	47
3 Завдання на контрольні роботи.....	50
3.1 Список варіантів контрольних робіт	51
4 Контрольні заходи з перевірки якості засвоєння навчального матеріалу дисципліни	55
5 Рекомендована література	56
Базова	56
Допоміжна.....	57
6 Інформаційні ресурси	62

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.

Найбільш потужним засобом для цього 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. Системи САПР застосовувані у 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 розрахункових модулів сімейства Simulation: власне Simulation (раніше - CosmosWorks); Flow Simulation (CosmosFlowworks) і SolidWorks Motion (CosmosMotion) - які дозволяють виконувати складні розрахунки й аналіз проєктованих систем на всіх етапах створення автомобіля. А застосування 3D-моделювання вже на початковому етапі проектування, при проведенні проектно-конструкторських і дослідницьких робіт, має незаперечні переваги перед плоским моделюванням (2D). Саме сприйняття інформації із тривимірного простору не тільки більш точ-

не, але й значно полегшує розуміння студентом сутності проектної роботи.

У даному курсі лекцій також розглянуті основні можливості сучасних систем проектування й виконання розрахунків, застосовуваних у машинобудуванні. Описані методи роботи в SolidWorks у плані проектування деталей, виконання складань і креслень. У лекційному курсі спочатку розглянуте проектування простих об'єктів, потім елементів складальних одиниць, на закінчення показані 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 проектного завдання по реальній тематиці. Для "імітування" роботи конструкторського бюро, у даній курсовій роботі передбачене виконання студентами одного з двох варіантів складності розрахункових моделей:

1-й варіант складності - передбачає виконання геометричного моделювання й розрахунків простої деталі (невеличкого вузла з декількох деталей), тобто об'єм роботи розрахований на одного студента;

2-й варіант складності - об'єм роботи розрахований на одночасну спільну роботу 3-х або 4-х студентів, які працюють у команді, тобто передбачено створення 3D-геометрії моделі підвищеної складності, з її наступним розрахунком й аналізом отриманих даних.

В якості прикладу, у методичних вказівках до курсової роботи, розглянуто виконання декількох варіантів завдань "автомобільного напрямку", які є характерним об'єктом для моделювання в кінцево-елементних програмах:

- розглянута розрахункова модель трьох листової автомобільної ресори з наступним аналізом твердості й міцності в нелінійній постановці з урахуванням попереднього натягу;
- розглянута розрахункова модель гвинтової пружини;
- розглянута розрахункова модель автомобільного напівпричепи-цистерни (завдання підвищеної складності, яке потребує колективної роботи). Принциповою особливістю даного варіанта роботи є значний обсяг геометричного 3D-моделювання, а з погляду розрахунків на міцність конструкції, є труднощі поділу на вузли з наступним ізольованим аналізом.

1 РОБОЧА ПРОГРАМА ДИСЦИПЛІНИ

Наведені назви змістових модулів та найменування тем дисципліни для самостійного вивчення. Навчальним планом дисципліни, для самостійного вивчення тем лекцій, передбачено час для студентів денної форми навчання - 90 годин, заочної – 138 годин.

Далі для кожної теми вказано час самостійної роботи студентів денної форми навчання. Також наведений перелік питань, які повинні бути самостійно розглянуті студентом при вивченні обраної теми.

Змістовий модуль 1. Загальні принципи створення твердотільних моделей деталей та проведення інженерного аналізу проєктованих конструкцій у САПР.

Тема 1. Вступ до курсу (2 год.)

Процес автоматизованого проєктування автомобіля. Формування вихідних даних. Розробка дизайн-проєкта. Конструювання та розробка конструкторської документації. Випробування та серійне виробництво.

Тема 2. Функціональні можливості сучасних САПР використовуваних у машинобудуванні (2 год.)

Загальні відомості про автоматизоване проєктування. Інтегровані CAD/CAE/CAM - системи. Твердотільне моделювання. Поверхневе й гібридне моделювання. Робота зі складаннями та в режимі креслення. Обмін графічною інформацією між програмами. Спеціалізовані програми 3D-моделювання.

Тема 3. Загальні принципи створення твердотільних моделей, ескізів та креслень у САПР (2 год.)

Обмеження двомірного проєктування. Перехід на тривимірне моделювання. Керування орієнтацією деталі. Відображення моделі в декількох вікнах. Загальні принципи 3D-моделювання деталей. Ескізи й операції. Створення елементів по перетинах. Створення кінематичних елементів. Створення 3D-моделі по її плоскому кресленню.

Тема 4. Загальні принципи проведення інженерного аналізу проєктованих конструкцій у САПР (2 год.)

Методи розв'язку рівнянь фізики в механічних САПР. Структурна механіка - лінійна та нелінійна задача. Аерогідродинаміка й теплопередача. Проєктування елементів механічних систем. Кінематика й динаміка. Листовий метал - розгорнення й заготовки. Світлотехнічний аналіз і проєктування.

Тема 5. Основні методи роботи у системі NX Siemens (2 год.)

Інтерфейс. Моделювання твердих тел. Моделювання поверхонь. Моделювання в контексті. Робота з листовим металом. Синхронна технологія. Робота зі складаннями. Основи NX Advanced Simulation. Виконання креслень. Робота із шаблонами. Візуалізація.

Тема 6. Робота у системі SolidWorks. Створення ескізів (2 год.)

Основні принципи побудови ескізів. Створення простого ескізу. Використання дзеркального відображення об'єктів. Створення складного ескізу. Додавання округлень і фасок. Використання команд побудови масивів. Використання сплайнів в ескізах. Тривимірні ескізи.

Тема 7. Загальні принципи створення деталей (2 год.)

Основні способи побудови деталей. Додаткові можливості. Призматичні деталі. Деталі - тіла обертання. Деталі типу трубопроводів. Деталі складної конфігурації. Деталі на основі поверхонь.

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 діалогово-

го 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. Налаштування розмірних ліній. Налаштування відображення тексту розміру. Оформлення складального креслення. Оформлення специфікації.

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

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.

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

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.

2 МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

2.1 Загальні вказівки. Мета викладання дисципліни

Метою викладання дисципліни "Автоматизоване проектування елементів автотранспортних засобів та засобів їх діагностування" є одержання студентами спеціалізованих знань і навичок, необхідних майбутньому інженерові-конструкторові, який працює із застосуванням засобів автоматизації проектних робіт, а також навчання студентів практичній роботі із сучасною САПР середнього рівня SolidWorks.

На початку курсу студенти знайомляться з існуючими системами автоматизованого проектування, застосовуваними в машинобудуванні - від найпростіших до повнофункціональних. Розглядається місце й роль сучасних систем САПР у процесі проектування автотранспортних засобів, для чого коротко розглянутий сам сучасний процес проектування автомобіля.

У даному курсі передбачено одну оглядову лекцію, яка присвячена принципам роботи в системі САПР важкого класу NX Siemens. Оскільки сьогодні NX не тільки займає одне з лідируючих положень серед подібних систем, але й в останні роки стає основною системою проектування для підприємств автомобільної галузі. Зокрема, систему використовують такі великі компанії, як Chrysler, Bosch, Land Rover, КамАЗ, концерн Daimler AG (виробник марок Maybach, Mercedes-Benz, Smart, Mercedes-AMG, Freightliner), Mazda, Fiat, Nissan, Suzuki та найбільша американська автомобільна корпорація General Motors. Отже система NX сьогодні поступово стає стандартом для всесвітньої розробки автомобілів.

В основній частині курсу докладно розглядаються структура, функціональні можливості й особливості роботи в програмі

SolidWorks. На лабораторних заняттях передбачена безпосередня робота самих студентів у програмі SolidWorks, яка починається з базових понять, таких як налаштування інтерфейсу, системи координат, робота із шарами, методи зафарбування, масштабування, перегляду зображення, закінчуючи виконанням інженерних розрахунків і аналізу 3D-моделей у середовищі SolidWorks. А завершальним етапом освоєння даного курсу є виконання курсової роботи.

2.2 Задачі вивчення дисципліни

Задача навчальної дисципліни полягає у формуванні в студентів сукупності уявлень, знань, вмінь та навичок що до вирішення задач автоматизованого проектування елементів автотранспортних засобів.

У результаті вивчення курсу "Автоматизоване проектування елементів автотранспортних засобів та засобів їх діагностування" студент повинний **знати**:

- сучасні принципи і підходи до автоматизованого проектування транспортних засобів;
- методiku створення твердотільних моделей, ескізів та креслень у САПР;
- методи проведення розрахунків та інженерного аналізу проєктованих конструкцій у САПР;
- методи проектування елементів конструкції автомобілів засобами поверхневого моделювання.

Вміти:

- створювати ескізи різного ступеня складності;
- створювати твердотільні деталі різного типу та працювати з їхніми конфігураціями;
- працювати з деталями створеними з листового матеріалу та вміти перетворювати їх у твердотільні деталі;
- працювати зі зварними конструкціями;
- працювати зі складаннями різних типів;
- проводити розрахунки основних агрегатів автомобіля (трактора), аналізувати отриману інформацію;
- застосовувати отримані теоретичні знання при вирішенні практичних завдань у виробничій діяльності.

2.3 Загальні рекомендації щодо вивчення дисципліни

Вивчення дисципліни "Автоматизоване проектування елементів автотранспортних засобів та засобів їх діагностування" базується на знаннях наступних курсів: "Вища математика", "Фізика", "Автомобілі. Основи конструкції", "Деталі машин", "Опір матеріалів", "Теорія автоматичних систем автомобіля", "Робочі процеси автомобіля", "Теоретичні основи теплотехніки", "Основи САПР в автомобілебудуванні".

В процесі викладання дисципліни, в якості технічних засобів, використовується клас, обладнаний персональними комп'ютерами типу IBM PC, та матеріально-технічне забезпечення кафедри Автомобілі: розрізи двигунів автомобілів, дослідні стенди, вимірювальне обладнання та інструмент. Успішне вивчення дисципліни передбачає також використання сучасних інформаційних технологій (Internet).

2.4 Методичні вказівки для студентів по освоєнню дисципліни

Викладання дисципліни передбачає наступні форми організації навчального процесу: лекції, практичні заняття, самостійну роботу студента, консультації.

Робота на практичних заняттях передбачає активну участь студента в освоєнні поставлених завдань. Для підготовки до занять рекомендується звертати увагу на проблемні питання, що піднімаються викладачем під час лекцій, і групувати інформацію навколо них.

Бажано виділяти у використовуваній літературі постановки питань, на які різними авторами можуть бути дані різні оцінки. На підставі постановки таких питань слід обирати аргументи на користь різних варіантів вирішення поставлених проблем.

У текстах авторів, таким чином, слід виділяти наступні компоненти:

- постановка проблеми;
- варіанти рішень;
- аргументи на користь тих або інших варіантів рішень.

На основі виділення цих елементів простіше становити власну аргументовану позицію по розглянутому питанню. При роботі з невідомими термінами необхідно звертатися до словників, у тому числі

доступних в Інтернеті.

При написанні рефератів (контрольних робіт), у матеріалі слід виділити невелику кількість (не більш 5) проблем, що зацікавили Вас, і згрупувати матеріал навколо них. Слід домагатися чіткого розмежування окремих проблем і виділення їх часткових моментів.

При підготовці до лабораторних занять Вам може знадобитися матеріал, що вивчався раніше, тому варто звертатися до відповідних джерел (підручників, монографій, статей). Письмова домашня робота й завдання можуть бути індивідуальними й загальними.

При підготовці до іспиту необхідно опиратися насамперед на лекційні заняття, а також на джерела, які розбиралися на заняттях протягом семестру.

Самостійна робота студента виконується за завданням і при методичному керівництві викладача, але без його особистої участі. Самостійна робота підрозділяється на самостійну роботу на аудиторних заняттях і на позааудиторну самостійну роботу.

Самостійна робота студента включає як повністю самостійне освоєння окремих тем (розділів) дисципліни, так і пророблення тем (розділів), освоюваних під час аудиторної роботи. Під час самостійної роботи, студенти читають і конспектують навчальну, наукову й довідкову літературу, виконують завдання, спрямовані на закріплення знань і відпрацьовування вмінь і навичок, готуються до поточного й проміжного контролю по дисципліні.

При вивченні тем курсу наведених нижче, студентові необхідно повторити лекційний навчальний матеріал, вивчити рекомендовану літературу, а також навчальний матеріал, наявний в зазначених інформаційних ресурсах.

На завершальному етапі вивчення кожного модуля необхідно, скориставшись запропонованими питаннями для самоконтролю, перевірити якість засвоєння навчального матеріалу. У випадку утруднення у відповідях на поставлені питання рекомендується повторити навчальний матеріал.

Після вивчення всіх модулів приступити до виконання контрольної роботи, керуючись методичними рекомендаціями з її виконання.

По завершенню вивчення навчальної дисципліни в семестрі студент зобов'язаний пройти проміжну атестацію. Вид проміжної атестації визначається робочим навчальним планом. До проміжної атестації допускаються студенти, що виконали вимоги робочого навчального

плану.

2.4.1 Тема 1. Вступ до курсу

Література: [7], с. 180-255.

Продукція сучасних машинобудівних підприємств характеризується високою складністю й точністю. Крім того, для виробництва конкурентоспроможних виробів необхідно забезпечити малі строки проектування й впровадження як нових виробів, так і модифікацій що вже випускаються. Подібне завдання неможливо розв'язати без застосування сучасних САПР - програмних продуктів як для конструкторської й технологічної підготовки виробництва, так і для інженерного аналізу, тобто CAD/CAM/CAE - систем.

Для розуміння місця й ролі систем САПР у процесі проектування автотранспортних засобів, необхідне цілне бачення всього комплексу завдань, які стоять перед інженерами на всіх етапах створення нового автомобіля - від ескізного проектування до етапів інженерного аналізу конструкції й виготовлення.

Процес розробки автомобіля, як і будь-якого іншого технічного засобу, складається з безлічі різних етапів, починаючи з пошуку образу автомобіля, наступного виконання проектно-конструкторських робіт, постановки розробленого автомобіля на виробництво й закінчуючи припиненням його виробництва. У процес розробки залучено безліч інженерів, які виконують певні види робіт зі своєї спеціалізації. При цьому кожний з них повинен розуміти й представляти всю значимість і відповідальність своєї діяльності. Для цього необхідно мати уявлення про всі етапи, щодо всього комплексу виконуваних робіт зі створення автомобіля.

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

Вже на етапі «Формування вихідних даних» здійснюють маркетингові дослідження, спрямовані на вивчення запитів споживачів, оцінку економічної доцільності розробки нової моделі автомобіля.

Після того як маркетологи сформували образ майбутньої машини для певного сегменту ринку, яка буде затребувана через кілька ро-

ків, наприклад, високий універсал середнього класу із приводом на передню або обидві осі - починають працювати дизайнери.

Сучасні дизайнери ведуть пошук форми нового автомобіля розроблюючи певну кількість скетчів (дизайнерських ескізів) як вручну, звичайними олівцями, так і за допомогою комп'ютерів (планшетів). Основним завданням дизайнера при цьому є забезпечення спадкоємності і впізнаваності зовнішніх форм бренда, особливо у головній частині автомобіля, таких як наприклад фірмові "ніздрі" у модельного ряду БМВ, або перевернутий трикутник у Альфа Ромео і т.п.



Рисунок 2.1 - Процес пошуку дизайнером форми нового автомобіля

Уже із цього моменту одночасно починається робота компоновщиків. Адже мало намалювати зовні привабливий кузов, зі стильним салоном і зручними кріслами, помістити під капот двигун з коробкою передач, поставити все це на колеса. Потрібно, щоб вузли й агрегати ужилися один з одним, а головне, з людьми: комфорт - найважливіший критерій при проектуванні машини.

«Примирити» дизайнерські фантазії, конструкторську думку й технологічні вимоги - це завдання бюро компонування. Це - центр, у

який сходяться шляхи безлічі більш «вузьких» фахівців заводу.



Рисунок 2.2 - Сучасні комп'ютерні програми дозволяють працювати з окремими ділянками компоувальної схеми шасі

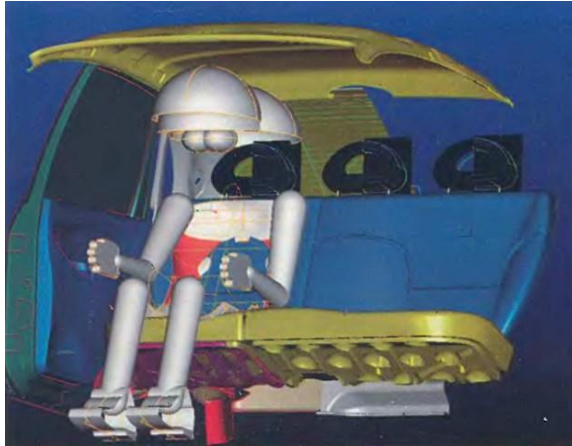
Для цього одразу підбирають аналоги. Звичайно, не забувають про конкурентів і власні моделі-попередниці. Вдалі рішення можна й повторити, а старі невдалі - обійти. До речі, у виборі компоунвання важливу роль відіграють фірмові традиції. Наприклад, більшість БМВ і «мерседесів» як і раніше побудовані за класичною схемою - із задніми ведучими колесами.

Очевидно, конструктори вважають, що нема рації відходити від перевіреної десятиліттями концепції, тим більше, що сучасні багато-важільні підвіски й електронні помічники водія значно зменшують недоліки задньоприводного компоунвання. Коли вже обрані розташування двигуна й тип привода, за допомогою комп'ютерних баз даних перебирають десятки зображень, поступово прорисовуючи контури майбутнього автомобіля, змінюючи габарити і базу автомобіля.

Тепер починається найголовніше: компоновщики починають працювати з так званою схемою місткості - це більш детально пророблене креслення з основними розмірами автомобіля й розташуванням пасажирів у салоні використовуючи спеціальні електронні модулі ергономіки із 3D-манекенами. Конструктори найчастіше використовують віртуальні 3D-манекени європейських стандартів - ростом 155, 171 і 188 см. Деякі фірми створюють власних комп'ютерних людей,

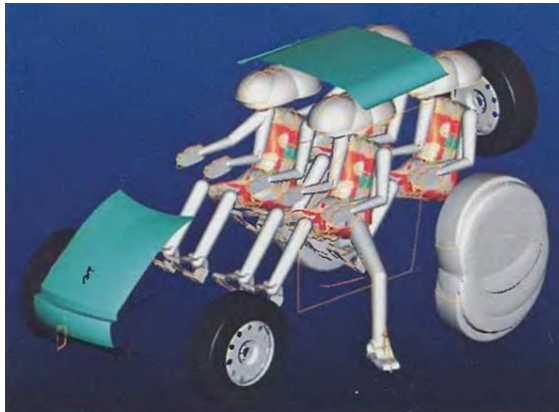
схожих по комплекції із середньостатистичними жителями конкретної країни. Наприклад, у Японії манекени невисокі й субтильні.

Комп'ютерні манекени розсаджують по місцях в салоні майбутнього автомобіля. При цьому посадку контролюють по антропометричних кутах (у суглобах кінцівок).



«Віртуальний купол» показує положення голови пасажирів різного зросту

Рисунок 2.3 - Комп'ютерний манекен на задньому сидінні автомобіля



Щоб визначити розміри колісних ніш, комп'ютер повинен «прокачати» підвіску

Рисунок 2.4 - Тривимірна схема місткості автомобіля

Спочатку розміщують водія, підганяючи сидіння й кермову колонку, потім пасажирів, але їх теж не можна стискувати, навіть якщо автомобіль невеликий, а спереду рослий водій. Звичайно, конструктори йдуть на компроміси. Щоб не забирати корисне місце в багажнику, манекени намагаються посадити більш вертикально (якщо, звичайно, дозволяє висота салону), мудрують із подушкою сидіння. Адже чим глибше сидить пасажир, тем менше йому потрібно простору для ніг.

До речі, нині в моді універсальність, тому багажнику приділяється особлива увага. Часто заради його місткості навіть геометрію задньої підвіски коректують.

В процесі роботи на моніторі комп'ютера видно віртуальний купол - він дозволяє відстежити переміщення самої верхньої частини тіла майбутнього пасажирів. Природно, необхідно залишити зазор між головними уборами й елементами салону (стелею, поручнями тощо).

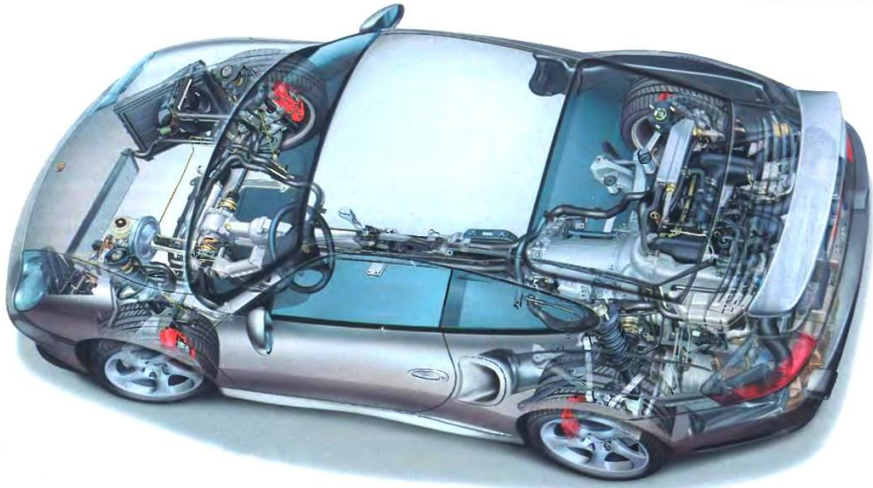


Рисунок 2.5 - Приклад складності розташування багатьох вузлів при заднемоторному компонованні «Порше-ГТЗ»

Далі за допомогою манекенів перевіряється зручність входу-виходу з салону автомобіля і в разі необхідності одразу вносять зміни в схему місткості, коректують дверні прорізи.

Далі відпрацьовану схему компоновки передають у дизайн-центр. Дизайнери створюють 3D-модель майбутнього автомобіля, прив'язуючись до готових розмірів. Іноді строгі технарі йдуть на пос-

тупки творчим особистостям - на догоду ефектному дизайну вносять у компонування невеликі зміни.

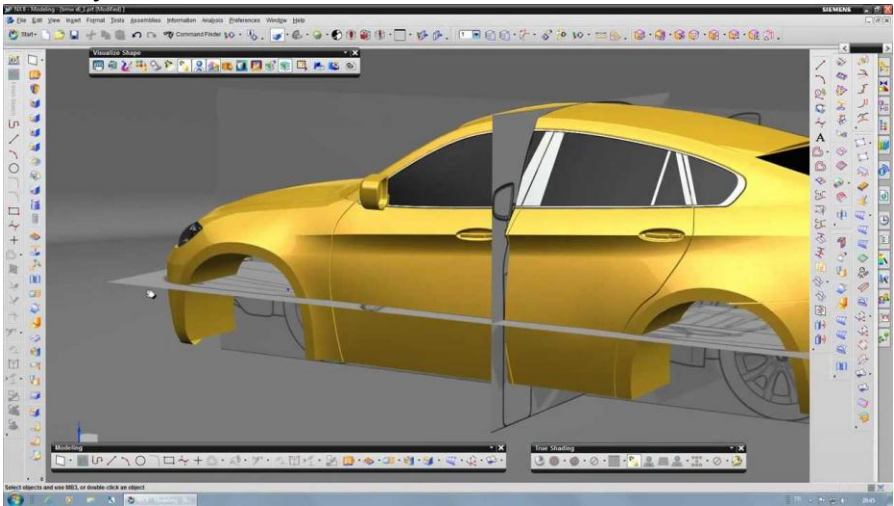


Рисунок 2.6 - Побудова 3D-моделі автомобіля BMW X6 по дизайнерським ескізам в середовищі системи NX



Рисунок 2.7 - Високо-полігональна 3D-модель автомобіля BMW X6 підготовлена до візуалізації



Рисунок 2.8 - Остаточна візуалізація 3D-моделі автомобіля BMW X6 з додаванням фону середовища

Далі збирається платформа. Тобто коли форми й розміри кузова вже визначені, планування салону пророблене - починають розміщувати основні агрегати й вузли автомобіля.

З відділів, що працюють над двигунами, коробками передач, підвіскою, у бюро компоновання надходять креслення агрегатів і вузлів. Сучасні методи проектування дозволяють звести до мінімуму паперову тяганину. Заводські комп'ютери об'єднані в мережу. Допустимо, моторист, домовившись із компоновщиком, переніс генератор - отже одночасно прилад «переїде» і на загальній схемі.

Тепер завдання компоновщика - розмістити всі агрегати й системи усередині кузова. Звичайно, схему місткості знову коректують, але намагаються не вносити серйозних змін, а головне - не защемляти майбутніх мешканців салону. Часом доводиться помітно рухати мотор, щоб умістити коробку передач, яку по тим або іншим причинам не можна зробити більш компактною. Правда, іноді простіше втрутитися в конструкцію агрегату, щоб не сильно міняти компоновання.

До речі, з ростом надійності вузлів і агрегатів необхідність у їхньому частому обслуговуванні, тим більше ремонті, відпадає. Тому,

уцільнюючи «залізо» заради комфорту, усе частіше поступаються ремонтпридатністю.

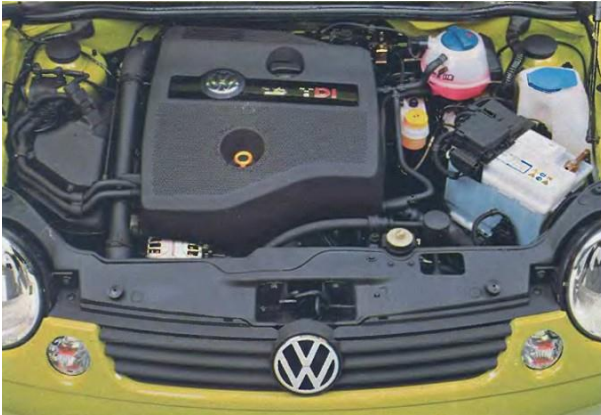


Рисунок 2.9 - Приклад щільності компонування підкапотного простору

Робота компоновщиків завжди займала багато часу. Але комп'ютери здорово полегшили життя: вони дозволяють не тільки переставляти вузли й агрегати, крутити на екрані тривимірне зображення. Комп'ютер звільнив конструкторів від зайвих розрахунків: він, знаючи хід підвіски, прорахує її кінематику, визначить розміри колісних ніш, перевірить параметри рульового керування.

Платформу (шасі) створюють спочатку для базової комплектації, але компоновщик одразу передбачає й модифікації. Якщо буде версія з кондиціонером, треба визначити місце під компресор, шланги й радіатор. У перспективі можливий і повноприводний варіант моделі - тому одразу розраховують установку відповідних агрегатів.

Компоновщик завжди в центрі роботи. Поруч дизайнер і моторист, агрегатник і електронщик. Підказують і випробувачі, адже в них самий багатий досвід спілкування з живим, а не віртуальним автомобілем.

Далі мають бути проведені випробування на безпеку для пасажирів і пішоходів. Краш-тест на цьому етапі поки комп'ютерний, але й він може показати, що, наприклад, капот недостатньо «м'який». Провиною тому радіатор, у який упирається деталь.

Тому компоновщику прийдеся почати переговори з колегами, які працюють над системою охолодження. Якщо вони не поступлять-

ся, прийдеться змінювати кузов і т.д.

Потім йде виготовлення дослідних зразків автомобілів та їх дорожні випробування, коректування й доробка деталей, остаточне доведення конструкції, сертифікація, і вже нарешті серійний випуск нової моделі. А вже після офіційної презентації, нарешті, починається продаж розробленого автомобіля в автосалонах.

Питання для самоперевірки

1. Назвіть функціональні етапи розробки нового автомобіля.
2. В чому полягає основне завдання дизайнера при розробці зовнішньої форми нового автомобіля?
3. Які функції бюро компоновання?
4. Навіщо потрібна база даних автомобілів - аналогів?
5. Які роботи виконуються на етапі доведення конструкції?

2.4.2 Тема 2. Функціональні можливості сучасних САПР використовуваних у машинобудуванні

Література: [4], [5], [11], [16] - [22], [32], [75]-[82].

Основна мета систем САПР - це підвищення ефективності праці інженерів, за рахунок автоматизації робіт на стадіях проектування і підготовки виробництва. Так, завдяки САПР, вдається добитися:

- скорочення трудомісткості проектування і планування;
- скорочення термінів проектування;
- скорочення собівартості проектування і виготовлення, зменшення витрат на експлуатацію;
- підвищення якості і техніко-економічного рівня результатів проектування;
- скорочення витрат на натурне моделювання та випробування.

В якості вхідної інформації САПР використовує технічні знання фахівців, які вводять проектні вимоги, уточнюють результати, перевіряють отриману конструкцію, змінюють її тощо. Система автоматизованого проектування реалізується у вигляді комплексу прикладних програм, що забезпечують проектування, креслення, тривимірне моделювання конструкцій, плоских або об'ємних деталей.

Класифікація САПР.

Прийняте у вітчизняній інженерній практиці поняття САПР но-

сить загальний характер. Воно включає в себе всі можливості програмного проектування. Однак зручніше користуватися англomовними версіями, що описують види і технології виконуваних робіт більш детально. Найбільш популярні такі терміни:

CAD системи - означає комп'ютерну підтримку проектування (Computer Aided Design). Програми з пакетом модулів для будівлі тривимірних об'єктів з деталізацією їх особливостей і можливістю отримання повного комплексу конструкторсько-проектної документації.

CAM системи - перекладається як комп'ютерна підтримка виробництва (Computer Aided Manufacturing). Прикладні програми для реалізації проектів. З їх допомогою прописують алгоритм роботи верстатів з ЧПУ. В якості основи використовується тривимірна модель, зроблена за стандартами CAD.

CAE системи - клас продуктів для комп'ютерної підтримки розрахунків та інженерного аналізу (Computer Aided Engineering). Поява можливості створювати твердотільну модель вимагало детального її опису, прогнозування експлуатаційних навантажень, включаючи вплив температури, опору середовища.

Функції CAD-систем в машинобудуванні підрозділяють на функції двовимірного (2D) і тривимірного (3D) проектування. До функцій 2D відносяться креслення, оформлення конструкторської документації, до функцій 3D - отримання тривимірних моделей, математичні розрахунки, реалістична візуалізація, взаємне перетворення 2D і 3D моделей.

Серед CAD-систем розрізняють "легкі", "середні" та "важкі" системи. Перші з них орієнтовані переважно на 2D графіку, порівняно дешеві і менш вимогливі щодо обчислювальних ресурсів. Другі орієнтовані на геометричне моделювання (3D), більш універсальні, вартісні, оформлення креслярської документації в них зазвичай здійснюється за допомогою попередньої розробки тривимірних геометричних моделей.

Останнім часом активно почали розвиватися "хмарні" САПР, які працюють у віртуальному обчислювальному середовищі, а не на локальному комп'ютері. Доступ до цих САПР здійснюється або через спеціальний додаток, або через звичайний браузер. Незаперечна перевага таких систем - можливість їх використання на слабких комп'ютерах, так як вся робота відбувається в "хмарі".

Хмарні САПР активно розвиваються, і якщо кілька років тому їх

можна було віднести до легких САПР, то тепер вони міцно влаштувалися в категорії середніх САПР. Отже назвемо приклади систем:

- **базові САПР ("легкі" системи):** AutoCAD (Autodesk); АДЕМ; bCAD (Новосибірськ); Caddy (Ziegler Informatics); Компас (Аскон, С.Петербург); Спрут (Sprut Technology, Набережні Челни); Кредо (НИВЦ АСК, Москва);
- **САПР середнього рівня:** Autodesk Inventor, SolidWorks, SolidEdge, Компас-3D, T-FLEX;
- **"важкі" САПР:** PTC Creo, NX, CATIA;
- **хмарні САПР:** Fusion 360, Onshape.

Основні функції САМ-систем: розробка технологічних процесів, синтез керуючих програм для технологічного устаткування з числовим програмним управлінням (ЧПУ), що моделюють процеси обробки, в тому числі побудову траєкторій руху інструменту і заготовки в процесі обробки, генерація постпроцесорів для конкретних типів устаткування з ЧПУ (NC- Numerical Control), розрахунок норм часу обробки.

Функції САЕ-систем досить різноманітні, так як пов'язані з проектними процедурами аналізу, моделювання, оптимізації проектних рішень. До складу машинобудівних САЕ-систем перш за все включають програми для наступних процедур:

- моделювання полів фізичних величин, в тому числі аналіз міцності, який найчастіше виконується методом скінченних елементів (МСЕ);
- розрахунок станів і перехідних процесів на макрорівні;
- імітаційне моделювання складних виробничих систем на основі моделей масового обслуговування та мереж Петрі.

Приклади систем моделювання полів фізичних величин відповідно до МСЕ: Nastran, Ansys, Cosmos, Nisa, Moldflow.

Приклади систем моделювання динамічних процесів на макрорівні: Adams і Дупа - в механічних системах, Spice - в електронних схемах, ПА9 - для багатоаспектного моделювання, тобто для моделювання систем, принципи дії яких засновані на взаємному впливі фізичних процесів різної природи.

Питання для самоперевірки

1. Яка основна мета використання систем САПР?

2. Як класифікуються системи САПР?
3. Які основні функції САМ-систем?
4. Що таке хмарні САПР і які переваги їхнього використання?
5. Що таке твердотільне моделювання?

2.4.3 Тема 3. Загальні принципи створення твердотільних моделей, ескізів та креслень у САПР

Література: [4], [5], [6], [10], [11], [16] - [22], [81], [82].

Існують кілька варіантів геометричного представлення деталі в САД-системі. Вибір того чи іншого варіанту залежить від можливостей системи і від необхідності його застосування для створення керуючої програми у САМ-системі для конкретного станка із ЧПУ.

Ще не так давно основним інструментом інженера-конструктора був кульман. З появою перших персональних комп'ютерів почалася справжня революція в області автоматизації проектування. Інженери-конструктори відразу ж оцінили переваги 2D-систем («плоских чертілок»). Навіть найпростіша САД система для двовимірного проектування дозволяє швидко створювати різні геометричні елементи, копіювати фрагменти, автоматично наносити штрихування і проставляти розміри.

Основними інструментами при плоскому проектуванні є лінії, дуги і криві. За допомогою операцій продовження, обрізання та з'єднання геометричних елементів, відбувається створення «електронного креслення». Для подальшої повноцінної роботи з плоскою графікою в САМ-системах, при технологічній підготовці виробництва, необхідна додаткова інформація про глибину геометрії «електронної деталі».

Каркасна модель являє геометрію деталі в тривимірному просторі, описуючи положення її контурів і граней. Каркасна модель, на відміну від плоского електронного креслення, надає САМ-системі часткову інформацію про глибину геометрії.

З розвитком автомобільної і авіаційної промисловості і необхідністю аналітичного опису деталей складної форми на ПК, сформувався основні передумови для переходу від плоского до об'ємного моделювання. Об'ємна, або 3D-модель, призначена для однозначного визначення геометрії всієї деталі.

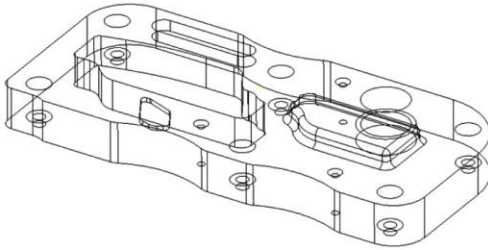


Рисунок 2.10 - Каркасна модель

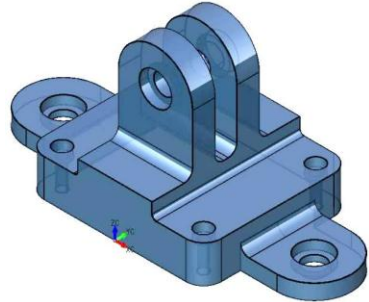


Рисунок 2.11 - Твердотільна модель 3D-модель

Системи об'ємного моделювання базуються на методах побудови поверхонь і твердотільних моделей на основі плоских і неплоских ескізів. Ескіз, в свою чергу, складається з простих геометричних елементів - ліній, дуг і кривих. Інженер-конструктор в якості ескізів створює перетини, види і осьові лінії деталей.

Поверхнева модель дуже схожа на каркасну. Уявіть собі, що між гранями каркасної моделі натягнута тонка тканина. Це і буде поверхневою моделлю. Таким чином, будь-який виріб може бути представлений у вигляді набору обмежуючих поверхонь.

В даний час поверхневі моделі широко використовуються для роботи з САМ-системами, особливо коли мова йде про інструментальне виробництво.

При **твердотільному способі моделювання** основними інструментами є тіла, створені на основі ескізів. Для побудови твердого тіла використовуються такі операції, як видавлювання, вирізання і обертання ескізу. Булеві операції дозволяють додавати, віднімати і об'єднувати різні тверді тіла для створення 3D-моделі деталі.

На відміну від поверхневих моделей, твердотільна модель не є порожньою всередині. Вона володіє деякою математичною щільністю і масою, в залежності від того який тип матеріалу (сталь, пластик тощо) призначений цій 3D-моделі. Призначення типу матеріалу створюваної 3D-моделі - це один із неодмінних кроків при сучасному конструюванні. Оскільки всі ці дані по використаних матеріалах, одразу не тільки використовуються системою проектування при розрахунках на міцність, визначенні масо-центрових характеристик деталі, а й одночасно зводяться в одну заводську базу даних, і використовуються різ-

ними службами заводу, від постачальників до економістів.

На сьогоднішній день твердотільні 3D-моделі - це найпопулярніша основа для розрахунку майбутніх траєкторій інструментів станків з ЧПУ в САМ-системах.

Одною з головних переваг цього способу є так звана параметризація. **Параметризація** означає, що в будь-який момент ви можете змінити розміри і характеристики твердого тіла проектованої деталі, просто змінивши числові значення відповідних параметрів. Тому сучасна CAD / САМ-система повинна володіти інструментами для створення як поверхневих, так і твердотільних моделей.

Питання для самоперевірки

1. Які основні обмеження двомірного проектування?
2. Розкажіть загальні принципи створення 3D-деталей.
3. Що таке каркасна модель деталі?
4. В чому полягає особливість поверхневого моделювання?
5. Що таке параметризація?

2.4.4 Тема 4. Загальні принципи проведення інженерного аналізу проєктованих конструкцій у САПР

Література: [8], [12] - [15], [23] - [30], [41] - [43], [49] - [55].

CAE (Computer Aided Engineering) - це загальна назва для програм і програмних пакетів, призначених для вирішення різних інженерних завдань: розрахунків, аналізу та симуляції фізичних процесів під час проєктування. Розрахункова частина CAE-програм найчастіше заснована на чисельних методах вирішення систем диференціальних рівнянь різними методами.

Сучасні системи інженерного аналізу CAE (або системи автоматизації інженерних розрахунків) застосовуються спільно з CAD-системами (найчастіше інтегруються в них, і в цьому випадку виходять гібридні CAD / CAE-системи).

CAE-системи можуть використовувати в своїй роботі такі математичні методи:

- **метод кінцевих елементів** (МСЕ) - це чисельний метод рішення диференціальних рівнянь з частковими похідними, а

- також інтегральних рівнянь, що виникають при вирішенні завдань прикладної фізики. Цей метод широко використовується для вирішення завдань механіки деформованого твердого тіла, теплообміну, гідродинаміки і електродинаміки;
- **метод кінцевих різниць** - чисельний метод рішення диференціальних рівнянь, заснований на заміні похідних різницеви-ми схемами. Цей метод є сітковим методом;
 - **метод кінцевих об'ємів** (метод контрольних обсягів) - це чисельний метод інтегрування систем диференціальних рівнянь в приватних похідних.

Вирішення типової інженерної задачі в МСЕ починається з підготовки 3D-моделі - віртуального аналога реальної механічної конструкції, технологічного виробу, деталі механізму тощо.

З геометричної точки зору, розрахункова модель являє собою поле точок, пов'язаних між собою примітивами (відрізками прямих ліній, трикутниками, прямокутниками та ін.). Так утворюється деяка сігчаста структура - геометрія вихідної конструкції апроксимується накладеною на неї сіткою і подальша робота здійснюється вже не з вихідною системою, а з отриманої сіткою.

Крім геометрії, примітиви, що з'єднують вузлові точки моделі, мають також певні механічні властивості. Це означає, що зв'язавши жорсткості всіх елементів сітки в єдине ціле (в рамках прийнятих в моделі припущень), можна встановити напружено-деформований стан всієї системи. Так розраховувач може отримати будь-які необхідні йому чинники - поздовжні і поперечні сили, згинальні і крутильні моменти, напруги, деформації та ін.

Кількість вузлів і елементів, з яких складається розрахункова модель, заздалегідь відома. Для деяких складних систем вона може вимірюватися тисячами і навіть мільйонами, але кількість, так чи інакше, кінцева. Ця обставина, а також те, що заздалегідь відомий принцип "роботи" кожного окремого елемента системи й породило таку назву - **метод кінцевих елементів**. А саму сітку називають, як правило, кінцево-елементною.

У науковій і технічній літературі теорія методу кінцевих елементів викладається через матричне числення. Враховуючи складність застосовуваних розрахункових методів, для більш глибокого розуміння математичного апарата й розрахункових процесів, варто звернутися до спеціалізованої літератури, можливий перелік якої наведений у да-

них методичних вказівках.

Питання для самоперевірки

1. Які математичні методи використовуються в програмах інженерного аналізу?
2. В яких галузях застосовуються САЕ-системи?
3. На чому заснований метод кінцево-елементного аналізу?
4. Для вирішення якого типу задач застосовують метод кінцевих об'ємів?
5. Для вирішення якого типу задач застосовують метод кінцевих різниць?

2.4.5 Тема 5. Основні методи роботи у системі NX Siemens

Література: [1], [8], [9], [64]-[72].

Дана тема є всього лише коротким допоміжним методичним матеріалом до вступного курсу по системі NX Siemens. Потрібно розуміти й пам'ятати, що найціннішими й вичерпними посібниками по системі NX, на сьогоднішній день є тільки англomовна література, короткий перелік якої наведений у даних методичних вказівках.

Для одержання загальної уяви про можливості системи NX можливо використовувати й перевідну літературу російською мовою, хоча більша частина її на сьогоднішній день є вже застарілою. Українською мовою літератури по NX на сьогоднішній день поки немає.

Слід зазначити гарну методичну підтримку з боку самої компанії Siemens. На сайті Siemens у вільному доступі є підручники по всіх розділах конструкторської підготовки, технологічної підготовки й інженерному аналізу англійською та німецькою мовами.

У системі NX, так само як і в будь-якій сучасній САПР, ви можете створювати геометричні моделі окремих деталей і складних складань; креслення деталей і складальних вузлів; генерувати програми для верстатів з ЧПУ; здійснювати кінематичний і динамічний аналізи механізмів, що рухаються; оцінювати механічну міцність виробів; проектувати системи трубопроводів і електричного монтажу й багато чого іншого.

Своїм корінням NX іде в 1970-ті роки, коли спочатку система

звалася «Unigraphics». З 1976-го року розвитком системи займалася компанія McDonnell Douglas (сьогодні Boeing). Згодом в 2001-м році продукт Unigraphics був об'єднаний із САПР I-DEAS. Що привело до додавання функціональних можливостей I-DEAS в основний код системи «Unigraphics», а сьогодні все це стало основою існуючої лінійки продуктів NX.

24 січня 2007 року концерн Siemens AG придбав Unigraphics і перейменував систему в NX. Фінансові можливості концерну Siemens дозволяють додавати в кожній версії системи усе більше нових інновацій, незважаючи на вже досягнуту високу досконалість програмного комплексу. У результаті система NX здатна вирішувати завдання, до яких інші засоби проектування навіть не підступаються. Серед них варто відзначити появу методики об'єднаного моделювання, вбудованої в ядро Parasolid, яке тепер належить компанії Siemens і розбудовується силами її фахівців.

Хоча спільна робота із сітками, поверхневими й твердотільними моделями не є абсолютно новою концепцією, а в деяких системах це було реалізовано роки (якщо не десятиліття) назад, поява подібного функціонала в такому популярному середовищі як NX, ясно показує, чого можна досягти навіть на ранніх етапах розробки.

Інші нововведення - це засоби оптимізації топології, які викликають усе більший інтерес. Це пов'язано з ростом застосування технологій 3D-друку з металу, хоча оптимізація топології застосовна й у багатьох інших областях.

До складу конструкторських додатків NX (CAD), входять інструменти для проектування деталей, роботи зі складаннями, створення користувацьких конструктивних елементів, проектування трубопроводів, креслення, проектування листових тіл, проектування друкованих плат.

Пакет засобів інженерного аналізу NX Digital Lifecycle Simulation - основа системи аналізу в NX, що працює під керуванням Teamcenter. Даний пакет інтегрований з додатком NX Design і використовує можливості й ресурси як NX, так і Teamcenter.

NX Nastran є інструментом для проведення комп'ютерного інженерного аналізу (CAE) проєктованих виробів, який дозволяє вирішувати більшість розрахункових завдань при створенні виробу. NX Nastran забезпечує аналіз напруг і руйнувань, вібрацій, втоми й довговічності, передачі тепла, шуму/акустики й аеропружності. Система

забезпечує інтеграцію з більшим числом САЕ додатків.

NX Tooling - це середовище проектування технологічного оснащення, застосовується на етапі технологічної підготовки виробництва. Оснащення автоматично зв'язується з моделями деталей, що дозволяє швидко й точно забезпечити проектування штампів і різноманітних інструментів, включаючи ливарні форми й верстатні пристосування.

Рішення NX для автоматизації підготовки виробництва містять у собі інструменти для налаштування й розширення функціональності NX під конкретні потреби замовника: створення керованих додатків (Knowledge Fusion); протоколювання, API-інтерфейси, засоби налаштування користувацького інтерфейсу. Для програмування верстатів зі ЧПУ, призначене інтегроване рішення NX CAM.

В 2016-м року, в NX 11 з'явився новий варіант уже існуючого модуля візуалізації Ray Traced Studio. Тепер модуль побудований на сучасному візуалізаторі Iray компанії Lightwork Design Iray, що створює високоякісні зображення відповідно до законів оптики.

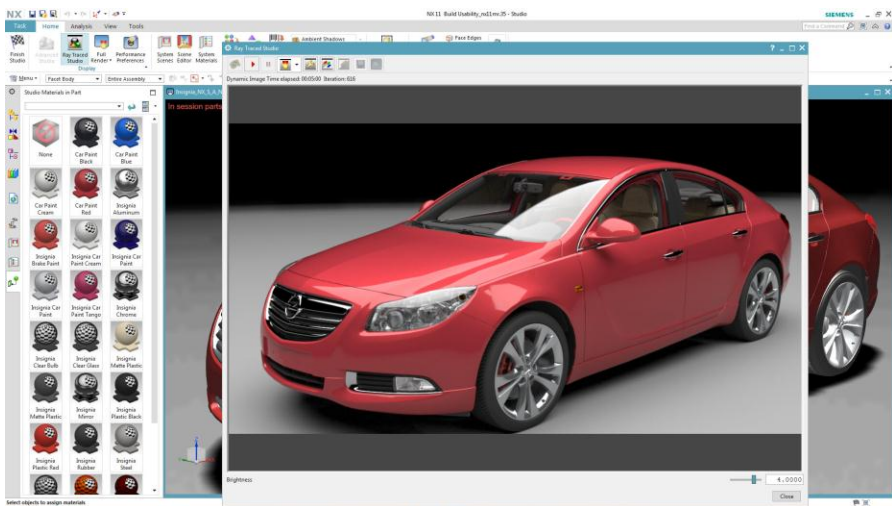


Рисунок 2.12 - Модуль візуалізації Ray Traced Studio в NX 11

Як уже говорилося раніше, усі сучасні САПР умовно діляться на легкі системи, середнього класу (Inventor, SolidWorks, Solid Edge, Microstation, T-Flex, КОМПАС-3D і т.д.), і важкого класу (NX, CATIA, Creo Elements/Pro (колишній ProEngineer)).

Але потрібно сказати, що система NX займає одне з лідируючих положень серед усіх перерахованих. Багато фахівців сходяться в думці, що єдиним конкурентом системі NX в останні роки можна назвати тільки систему CATIA, але вона є стандартом в області авіабудування й кораблебудування. В NX проектують ряд самих складних у світі виробів зі складними формами, з високою щільністю компонування й великим числом деталей (енергомашинобудування, газотурбінні двигуни, транспортне машинобудування тощо).

Головна перевага важких графічних систем у порівнянні із системами середнього класу (крім численних додатків) – це можливість проектувати складні проекти, великі складання. Тому вивчення загальних принципів роботи та інструментів для створення складань у системах САПР - є дуже важливим у всьому курсі.

Питання для самоперевірки

1. Розкажіть порядок створення твердотільної моделі деталі в NX.
2. Як здійснюється побудова поверхні по кривим?
3. Як створюються міжмодельні зв'язки та їхнє подальше оновлення при моделюванні в контексті?
4. Як створити розгортку листового металу?
5. В чому полягає суть синхронного моделювання геометрії деталей?

2.4.6 Тема 6. Робота у системі SolidWorks. Створення ескізів

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

Ескізи є основою для створення тривимірних твердотільних моделей деталей. Тому створення будь-якої деталі в SolidWorks, якою би простою або складною вона не була, починається з малювання ескізу.

Ескіз може бути двовимірним або тривимірним. Зазвичай використовується двовимірний ескіз (тобто плоский), приблизно такий, який люди малюють олівцем на аркуші паперу.

В SolidWorks такі ескізи рисуються на площині. За замовчуванням, при створенні нової деталі, в SolidWorks подається три взаємно ортогональні площини, що проходять через початок координат. Далі при конструюванні, у разі необхідності, можна додавати будь-яку кількість площин, що мають необхідну орієнтацію в просторі. Зазвичай

такі площини називаються допоміжними.

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

Всі ескізи, як двовимірні, так і тривимірні, будуються на трьох взаємно ортогональних площинах, які в SolidWorks мають службові назви **"Спереди, Сверху, Сбоку"** (рис. 2.13). Первісний вибір тієї або іншої площини не має істотного значення. Звичайно процес малювання ескізу починається з площини **"Спереди"**. Крім того, можна створювати свої власні площини (навіть не ортогональні) і побудову ескізу починати з них.

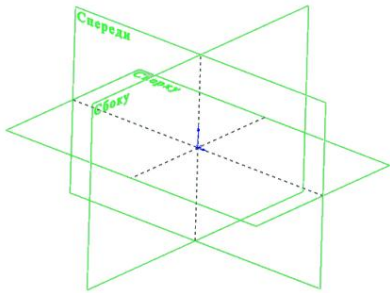


Рисунок 2.13 - Ортогональні площини **"Спереди, Сверху, Сбоку"** у системі SolidWorks

При побудові ескізу необхідно стежити, щоб він мав замкнений контур. SolidWorks допускає в одному ескізі наявність декількох замкнених контурів, при цьому формується багатотільна деталь. У цьому випадку при витягуванні ескізу програма попросить вказати розташування контуру. Якщо контур не замкнений, то при витягуванні програма буде інтерпретувати ескіз як тонкостінний елемент, і попросить вказати його товщину.

При створенні ескізів можна вирізати або копіювати й вставляти об'єкти ескізу, як з одного ескізу в інший, так і усередині одного ескізу. У процесі малювання ескізу з'являються лінії формування, які працюють разом з покажчиками, прив'язками й взаємозв'язками, щоб графічно відобразити, як об'єкти ескізу впливають один на одного.

Лінії формування - це пунктирні лінії, які з'являються по ходу створення ескізу. Коли покажчик наближається до висвітлених міток, наприклад середніх крапок, лінії формування використовуються як орієнтира залежно від існуючих об'єктів ескізу.

Питання для самоперевірки

1. Що таке ескіз і навіщо він потрібний?
2. Навіщо потрібні ортогональні площини?

3. З якої площини можна починати побудову ескізу?
4. Чи допускає SolidWorks в одному ескізі наявність декількох замкнених контурів?
5. Що таке лінія формування?

2.4.7 Тема 7. Загальні принципи створення деталей

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

Деталлю в SolidWorks називається окремий тривимірний об'єкт, що складається з елементів. Деталь може бути компонентом складання, а також може бути представлена видами на плоскому кресленні. Усі деталі в SolidWorks проєктуються у шаблоні "**Деталь**" і зберігаються в окремих файлах з розширенням "**sldprt**". В "**Дерево Конструювання**" можна задати матеріал, а також оцінити масові характеристики деталі.

В SolidWorks існує кілька базових прийомів, використовуючи які можна створити тривимірні деталі. Ці прийоми можуть бути альтернативними або доповнювати один одного в процесі проєктування складної деталі. Програма SolidWorks надає конструкторові практично необмежені можливості для втілення своїх задумів.

Ми розглянемо основні (загальні) способи побудови тривимірних моделей деталей, які до речі однакові для будь якої САПР, а вирішувати, яким з них користуватися під час проєктування, в кожному конкретному випадку, повинні ви самі, в залежності від ситуації.

В SolidWorks існують наступні способи конструювання тривимірних деталей:

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

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

Обертання - це інший дуже розповсюджений спосіб побудови твердого тіла, виконується натисканням кнопки - **"Повернутая бобышка/основание"** панелі інструментів **"Элементы"**. При виконанні команди ескіз повертається навколо заданої осі, а простір, описуваний контуром ескізу в результаті обертання, заповнюється матеріалом твердого тіла. При цьому ескіз деталі, формованої методом обертання, обов'язково повинен складатися з контуру деталі й осі повороту. Обертання контуру навколо осі може здійснюватися на будь-яку бажану величину кута аж до 360° .

SolidWorks пропонує також кілька способів створення деталей складної конфігурації: трубопроводів, пружин, деталей зі змінними перетинами, деталей із криволінійними гранями. Можливості SolidWorks великі й дозволяють спроектувати деталь практично будь-якої складності, втілюючи в реальність самі сміливі фантазії конструктора за умови, що такі деталі можна виготовити в дійсності.

Витягування елемента по траєкторії. Суть цього методу полягає в тому, що формування твердого тіла відбувається в результаті заповнення віртуальною речовиною (матеріалом) обсягу, який утворюється при переміщенні профілю по деякій траєкторії. Команда для витягування елемента по траєкторії запускається натисканням кнопки - **"Бобышка/основание по траектории"** панелі інструментів **"Элементы"**. Для проектування деталей по траєкторії необхідно створити мінімум два ескізи - ескіз профілю та ескіз траєкторії. В якості профілю зазвичай виступає контур ескізу, який повинен бути замкнутим. А в якості траєкторії - контур ескізу, який може бути як замкнутим, так і незамкнутим. В процесі переміщення профіль може залишатися паралельним самому собі, або ж зберігати незмінним початковий кут з траєкторією.

Витягування елемента по перетинах. Команда витягування твердих тіл на основі перетинів активізується кнопкою - **"Бобышка/основание по сечениям"** на панелі інструментів **"Элементы"** й дозволяє проектувати деталі шляхом створення плавних переходів між профілями (перетинами). Профілі являють собою ескізи, розташовані на різних площинах. Ці площини можуть розташовуватися як паралельно одна одній, так і під кутом.

В SolidWorks існує цілий набір прийомів для створення допоміжних площин. При проектуванні деталей за допомогою команди **"Бобышка/основание по сечениям"** можна також використовувати в

якості допоміжного елемента напрямну криву, у цьому випадку плавні переходи між профілями будуть будуватися згідно з формою цієї напрямної.

Питання для самоперевірки

1. Які є загальні способи створення тривимірних деталей?
2. Розкажіть про метод створення деталі "Витягування".
3. Як створити деталь способом "Обертання"?
4. Як створити деталь типу трубопроводу?
5. Розкажіть про створення деталей складної конфігурації.

2.4.8 Тема 8. Робота з конфігураціями деталей

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

У процесі конструювання механізмів і машин досить часто доводиться створювати кілька варіантів однієї деталі або складання. Між собою ці варіанти можуть різнитися розмірами, наявністю або відсутністю деяких елементів деталі та іншими параметрами. Такі варіанти однієї деталі або складання в SolidWorks можуть зберігатися в одному документі й називаються конфігураціями.

Для створення, вибору й перегляду різних конфігурацій деталі або складання, в SolidWorks призначений **"Менеджер конфігурації"**. За допомогою менеджера конфігурації можна виконувати наступні процедури:

- створювати (додавати) нові конфігурації;
- редагувати властивості існуючих конфігурацій;
- вибирати й переглядати конфігурації;
- видаляти непотрібні конфігурації.

Завдяки таблиці параметрів можна створювати кілька конфігурацій деталей або складань шляхом завдання параметрів у вбудованій таблиці Microsoft Excel. Для цього на комп'ютері повинна бути встановлена програма Microsoft Excel. Таблиця параметрів зберігається в документі моделі, при цьому в неї губиться зв'язок з вихідним файлом Excel. У таблицях параметрів можна управляти розмірами, станом погашення деяких елементів деталі, параметрами конфігурації. Існує два способи створення таблиць параметрів: автоматично й вручну.

В SolidWorks існує можливість розміщення таблиці параметрів

на листі креслення, що досить зручно при оформленні комплексного креслення деталі. Конфігурації складань створюються аналогічно конфігураціям деталей і відрізняються відсутністю або наявністю будь-яких деталей, а також умовами сполучення між деталями.

Питання для самоперевірки

1. Що таке конфігурація деталі?
2. Як створити нову конфігурацію деталі?
3. Як відредагувати конфігурацію деталі?
4. Розкажіть як створити конфігурацію деталі за допомогою таблиці параметрів?
5. Як видалити конфігурацію деталі?

2.4.9 Тема 9. Створення деталей з листового матеріалу

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

У даній темі розглядаються основні принципи й способи побудови деталей з листового матеріалу в системі SolidWorks. Звичайне створення конструкції з листових матеріалів супроводжується побудовою її розгорнення (плоского стану деталі), до того ж і деталь, і її розгорнення, згідно ЄСКД, повинні розташовуватися на кресленні деталі - усі ці вимоги легко реалізуються при проектуванні деталей з листових матеріалів в SolidWorks.

В SolidWorks існує два основні способи створення деталей з листового матеріалу:

- проектування деталей безпосередньо з листового матеріалу;
- конструювання тривимірної деталі як твердого тіла, а потім перетворення її в деталь із листового матеріалу.

Перед проектуванням деталей з листового матеріалу необхідно активізувати панель інструментів **"Листо́вой ме́талл"** у меню **"Інструменти | Налаштування | Панелі інструментів"**, встановивши прапорець **"Листо́вой ме́талл"**.

Створення деталей із плоского стану. Такий спосіб створення листового матеріалу зручно використовувати, коли основною є конфігурація розгорнення, і саме її розміри найбільш важливі при конструюванні деталі.

На основі ескізу розгорнення будується тверде тіло - твердоті-

льне розгорнення. У загальному випадку це тіло має вигляд фігурного тривимірного листа. Потім на плоскій поверхні твердотілого розгорнення створюється ескіз, у якому рисуються лінії згину. При виході з ескізу, розгорнення згинається згідно із цими лініями.

Створення деталей з листового металу в зігнутому стані.

Такий спосіб проектування використовується, коли відомо, як повинна виглядати деталь у зігнутому стані. Розгорнення в цьому випадку має другорядне значення. Незалежно від зовнішнього вигляду деталі її побудова починається зі створення ескізу базової крайки.

Цей ескіз являє собою певний контур, який перетворюється в базову крайку деталі після натискання кнопки **"Базовая кромка/выступ"**. При виконанні цієї команди деталь позначається як деталь із листового металу, при цьому у вікні **"Базовая кромка"** задається товщина листа, допуск згину й спосіб зняття напруг. Базова крайка повинна бути першим елементом при створенні нової деталі з листового металу. До того ж у деталі з листового металу в SolidWorks може бути тільки один елемент, позначений як базова крайка.

Питання для самоперевірки

1. Які способи створення деталей з листового матеріалу можливі в SolidWorks?
2. Розкажіть про створення розгорнення на основі ескізу.
3. Як перетворити твердотісну деталь в деталь з листового металу?
4. На якому листі креслення повинне бути розміщене розгорнення деталі?
5. На основі яких даних створюється таблиця згинів?

2.4.10 Тема 10. Робота зі зварними конструкціями

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

За допомогою інструментів зварених деталей в SolidWorks можливе проектування рамних або фермових конструкцій по довільному набору плоских або тривимірних ескізів у файлі деталі, а також використання специфічних конструкційних елементів, таких як оброблення під зварювання, кінцеві заглушки, косинки й елементи зварювального шва.

Основні принципи створення зварених конструкцій. У цей час

зварені з'єднання є найпоширенішими в порівнянні з іншими типами нероз'ємних з'єднань. Цьому сприяє висока міцність з'єднань, технологічність і економічність. Розроблена технологія зварювання конструкційних сталей, чавуну, мідних, алюмінієвих, титанових та інших сплавів кольорових металів, а також деяких пластмас.

При проектуванні зварених з'єднань слід враховувати їхні недоліки:

- зварювання приводить до зміни механічних властивостей основного металу убік погіршення через нагрівання місця шва;
- через неоднорідність нагрівання виникають залишкові напруги і як наслідок цього, виникають залишкові деформації;
- зварені з'єднання можуть мати істотну анізотропію властивостей у зварному шві;
- у зварених з'єднаннях виникають місцеві напруження, які суттєво впливають на міцність, особливо в умовах змінного навантаження;
- висока концентрація напруг та інші несприятливі фактори приводять до малої довговічності зварених з'єднань, особливо в умовах ударного навантаження;
- контроль якості зварного шва досить складний і не завжди економічно виправданий.

Конструкція деталей що зварюються, залежить від способу стикування деталей і звареного шва. Особливість зварених конструкцій така, що вони складаються начебто б з окремих деталей, але, проте, усі деталі з'єднані в одне ціле за допомогою зварювання. І розглядати таку деталь із погляду розрахунків на міцність і твердість необхідно як єдине ціле, з урахуванням ослаблення зварених швів.

В SolidWorks зварені конструкції можна створювати двома способами:

- використовуючи тривимірні ескізи, створюється зварений виріб із профілів, обраних з бібліотечної бази або створених самостійно. При цьому можливе відсікання зайвих частин профілів і установка торцевих пробок;
- зварена деталь створюється з декількох твердих тіл, як багатотільний об'єкт. При цьому можливе округлення кутів, підготовка крайок для зварювального шва, формування зварювального шва й установка кутових з'єднань.

У SolidWorks зварні деталі можна створювати не тільки на ос-

нові програмних профілів. Користувач програми може створити свій власний профіль як деталь бібліотечного елемента, потім помістити його в певну папку, щоб потім його можна було вибрати в подальшій роботі. При створенні ескізів власних профілів потрібно враховувати наступне:

- при створенні елемента конструкції зварної деталі за допомогою створюваного профілю за замовчуванням вихідна точка ескізу стає точкою протикання;
- при створенні елемента конструкції зварної деталі можна вибрати будь-яку вершину на ескізі в якості альтернативної точки протикання;
- при створенні елемента конструкції зварної деталі можна додати точки ескізу в ескіз і вибрати їх в якості альтернативних точок протикання.

За замовчуванням, **точка протикання** - це вихідна точка ескізу в деталі бібліотечного елемента профілю. В якості точки протикання можна також використовувати будь-яку вершину або точку ескізу, зазначену в профілі. Точка протикання визначає місце розташування профілю щодо сегмента ескізу, який використовується для створення елемента конструкції.

Питання для самоперевірки

1. Розкажіть як створити зварну конструкцію на основі тривимірного ескізу.
2. Назвіть недоліки зварних з'єднань?
3. Від чого залежить конструкція зварюваних деталей?
4. Що таке точка протикання?
5. Що необхідно враховувати при створенні ескізів власних профілів зварювання?

2.4.11 Тема 11. Створення складань деталей

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

В SolidWorks, як і в будь-який сучасний САПР, можна будувати складання двох типів: складання типу "знизу-вгору" і складання "зверху-вниз".

Складання "знизу-вгору" являє собою складання конструкції з

готових деталей. Для побудови такого складання деталі повинні бути заздалегідь спроектовані й збережені в окремих файлах. Конструкція або вузол збираються із цих деталей аналогічно реальному складанню. У процесі складання необхідно деталі помістити в тривимірний складальний простір і вказати умови їх сполучення один з одним.

При проектуванні складання "зверху-вниз" спочатку створюється компоновальний ескіз складання, а вже на його основі будуються окремі деталі. Ці деталі відразу є вбудованими в загальне складання. Такий тип складання зручний тим, що при зміні компоновального ескізу складання, автоматично змінюються розміри й конфігурації його складових деталей.

Питання для самоперевірки

1. Що є компонентами складання?
2. Назвіть основні види складань.
3. Розкажіть принцип побудови складання методом "зверху-вниз".
4. Розкажіть принцип побудови складання методом "знизу-вгору".
5. Яка основна перевага побудови складання методом "зверху-вниз"?

2.4.12 Тема 12. Робота з ливарними формами

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

В SolidWorks є можливість використання інструментів роботи з ливарними формами, і не тільки для створення деталей, але й у наступних випадках:

- для створення двох половинок ливарної форми з вирізом порожнини під ливарну деталь;
- для створення штампа з поверхнею штампувальної деталі;
- для створення в деталі порожнини складної форми, коли цю порожнину складно одержати простим або поверненим вирізом, а також їх комбінацією.

Основні принципи створення ливарних форм.

За допомогою інструментів для створення ливарних форм в SolidWorks можна вирішувати наступні категорії завдань:

- **процедурні** - створити ливарну форму або відобразити модель;
- **діагностичні** - у моделі виділяються області із проблемами,

які можуть перешкоджати відділенню серцевини й порожнини;

- **виправлення** - виправляються дефекти, наприклад розриви поверхні виявлені за допомогою діагностичних інструментів;
- **адміністративні** - керування моделями, яке полегшує передачу інформації між проектувальниками, інженерами, виробниками й менеджерами.

У загальному випадку при проектуванні ливарних форм необхідно виконати наступний комплекс операцій:

- створення тривимірної моделі проектованої деталі, тобто тієї деталі, з якої необхідно надалі створити ливарну форму або порожнину;
- створення тривимірної моделі основи ливарної форми, тобто деталі, яка буде містити порожнину для проектованої ливарної деталі або мати форму штампувальної деталі;
- створення проміжного складання, у якому буде відбуватися відносне розміщення проектованої деталі й основи ливарної форми;
- створення похідних деталей компонента, тобто тих деталей, які будуть половинами ливарної форми після розрізу основи. Причому кожна половина ливарної форми може зберігатися як окрема деталь, для якої надалі можна зробити робочі креслення.

Усі перераховані процедури можна виконати за допомогою набору інтегрованих інструментів створення ливарної форми. Завершивши модель, можна скористатися цими інструментами для аналізу й виправлення недоліків моделей.

Інструменти ливарної форми охоплюють усі процеси, від вихідного аналізу до створення поділу інструментів. Результатом поділу інструментів буде багатотільна деталь, яка містить окремі тіла деталі що відливається, серцевину, порожнину та інші додаткові тіла, наприклад, базові сторони. Зміни деталі що відливається, автоматично відображаються в тілах інструментів.

Питання для самоперевірки

1. Окрім створення деталей, в яких ще випадках використовують інструменти для роботи з ливарними формами?
2. Розкажіть основні принципи створення ливарних форм у системі

SolidWorks.

3. Які операції виконують при проектуванні ливарних форм?
4. Чи є необхідність у створенні проміжних складань?
5. Як створити ливарну напівформу?

2.4.13 Тема 13. Оформлення креслень

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

У даній темі будуть розглянуті основні принципи створення креслень в SolidWorks відповідно до вимог стандартів на прикладі побудови елементів креслень, використовуваних в оформленні конструкторської документації.

SolidWorks дозволяє досить просто генерувати креслення створених у ньому деталей і складань. Креслення підтримують двосторонній асоціативний зв'язок із тривимірними моделями. Це означає що при внесенні змін у модель її креслення автоматично модифікується відповідно до них. І навпаки, якщо користувач змінює який-небудь розмір на кресленні, це відразу ж відображається в тривимірній моделі. У країнах СНД усі креслення виконуються відповідно до ЄСКД (Єдина Система Конструкторської Документації). Щоб швидко виконувати креслення відповідно до ДСТУ, користувачеві рекомендується встановити в SolidWorks шаблони форматів з основними написами, розмірами від А0 до А4, а також бланки специфікацій.

Усю роботу зі створення й оформлення креслень в SolidWorks можна розділити на наступні етапи:

- вибір креслярського шаблону формату з основним написом;
- створення необхідних видів на кресленні й операції з видами;
- нанесення розмірів і настроювання параметрів їх відображення;
- додавання приміток інших типів: шорсткостей, відхилень форми, баз і т.д.;
- друк креслення;
- оформлення специфікації.

Питання для самоперевірки

1. Назвіть основні етапи створення креслень у SolidWorks.
2. Як налаштувати шрифти та шаблони в SolidWorks?

3. Як створити нове креслення в SolidWorks?
4. Як створити проекційні види в SolidWorks?
5. Як види розмірів є в SolidWorks і як вони налаштовуються?

2.4.14 Тема 14. Розробка зовнішніх форм кузова автомобіля

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

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 у Photoshop. 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.

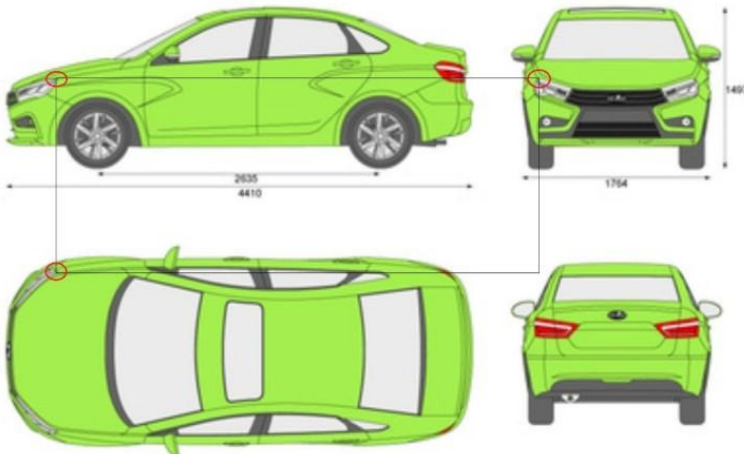


Рисунок 2.14 - Підготовка вихідних матеріалів для майбутньої моделі

Далі треба розмістити ескізи майбутньої моделі по площинах SolidWorks. У вікні налаштувань, у пункті "**Прозрачність**", параметр "**Полное изображение**" задати значення 0.40. Розмір картинки залишити за замовчуванням, щоб якість картини не погіршилася.

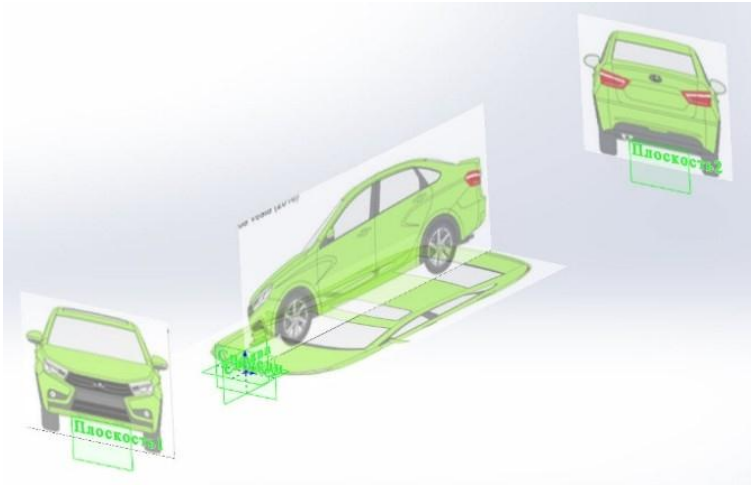


Рисунок 2.15 - Розташування видових ескізів

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 створення поверхні називається **поверхневим моделюванням**. Поверхня у SolidWorks являє собою оболонку з нульовою товщиною. Основною перевагою поверхневого моделювання є його сумісність із елементами, отриманими методами твердотілого моделювання.

Після настроювання ескізів можна розпочинати процес моделювання. Одразу необхідно визначитися, з якої частини почати створення першої поверхні. Звичайно це деталі, що мають велику поверхню або прості за формою, такі як боковина або капот. У даному прикладі почнемо з боковини. Основним елементом моделювання при цьому є 3D-ескіз і 3D-сплайн, побудований у просторі тривимірного ескізу.

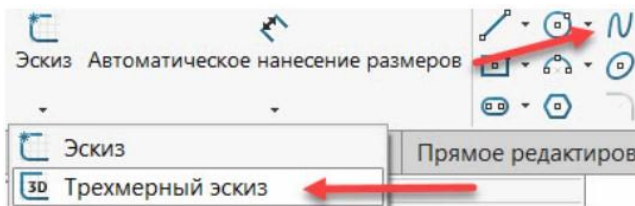


Рисунок 2.16 - Панель інструментів для 3D-моделювання у SolidWorks

3D-ескізи створюються за допомогою команди сплайн. У кожній точці сплайна є керуючі вектори, за допомогою яких задається необхідна кривизна. Після побудови необхідних сплайнів можна створювати поверхні. Створення першої поверхні починається з виклику вкладки **"Поверхности"**, у якій є усі інструменти для роботи з поверхнями. Отже правою кнопкою миші натискаємо на вкладку **"Эскиз"** і вибираємо пункт програмного меню **"Поверхности"**. За допомогою команди **"Поверхность границы"** вибираємо ескізи в поздовжньому напрямку (уздовж кузова), а у поперечному напрямку - ескізи вертикально кузову. Перевіряємо параметри й погоджуємося з налаштуваннями. Після цього буде створена поверхня.

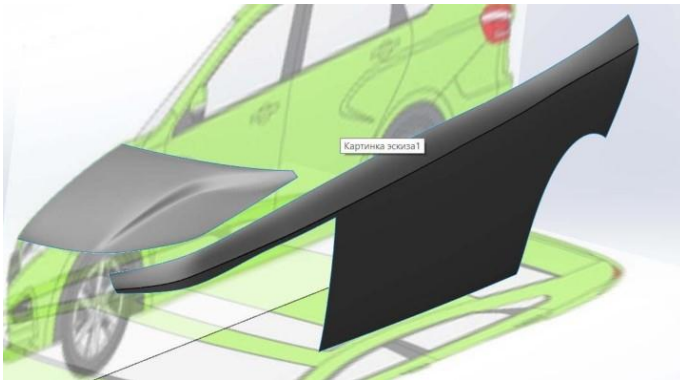


Рисунок 2.17 - Процес створення поверхні моделі кузова автомобіля

Для створення 3D-моделі диска автомобільного колеса методом твердотільного моделювання можна використовувати різні першоджерела: по кресленню, ескізі або фото. Для того щоб зробити більш точну геометрію, під час моделювання, там де є необхідність, створюємо допоміжні площини для ескізів.

Далі необхідно зшити створені поверхні за допомогою команди **"Поверхность сшить"**, у вкладці меню **"Поверхности"**. 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. Останній крок - це створення складання моделі "кузов-колеса-дорога". Для цього необхідно створити новий документ типу "скла-

дання", додати в нього всі змодельовані компоненти і відцентрувати їх за допомогою сполучень.

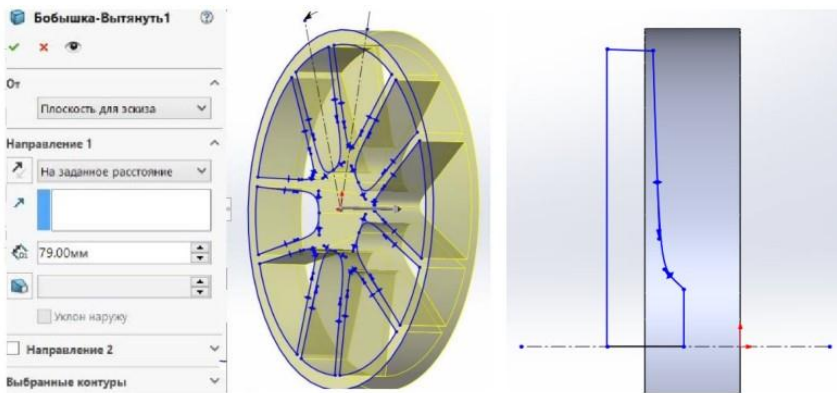


Рисунок 2.18 - Моделювання колеса автомобіля

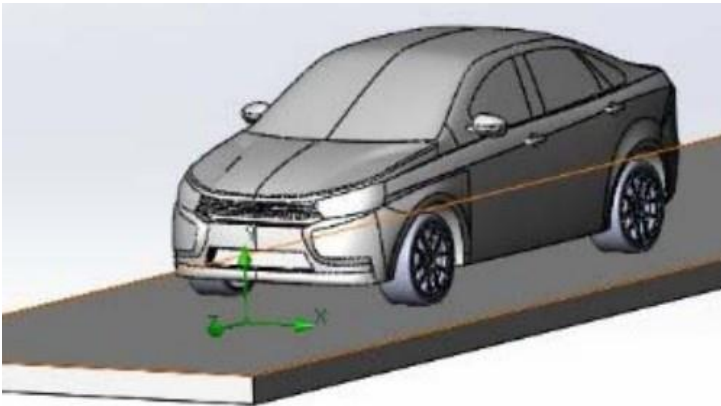


Рисунок 2.19 - Остаточний вигляд змодельованої моделі автомобіля

Питання для самоперевірки

1. Які вимоги висуваються до ескізів майбутньої моделі автомобіля?
2. У чому суть гібридного моделювання?
3. Які переваги поверхневого моделювання?
4. Назвіть основні інструменти для поверхневого моделювання в SolidWorks.
5. Як можна створити витягнуті поверхні?

2.4.15 Тема 15. Аеродинамічні дослідження моделі кузова автомобіля

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

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) а також вплив цих потоків на тверді тіла. Для завантаження додатку Flow Simulation, необхідно на верхній панелі вибрати вкладку "**Добавлення SolidWorks**" і зверху, в панелі що розкрилася, вибрати пункт "**SolidWorks Flow Simulation**".

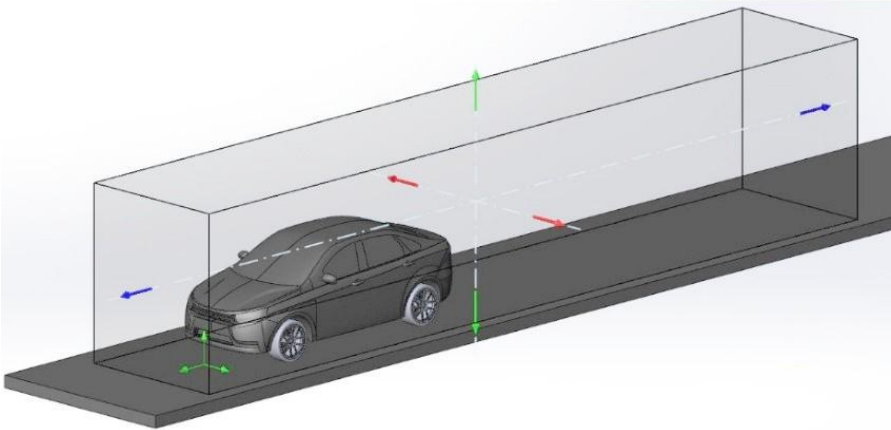


Рисунок 2.20 - Завдання розрахункової області моделі

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**".

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. Вибираємо систему SI.

Натискаємо кнопку "**Далее**", з'являється вікно "**Тип задачи**": "**Внутренняя**" – для розрахунків замкнених просторів і "**Внешняя**" – для розрахунків відкритих просторів. У нашому випадку тип завдання

"Внешняя". Також виключаємо внутрішній простір і порожнини, де плин потоку не передбачений. Вибираємо фізичну модель завдання. У випадку симуляції продувок в аеродинамічній трубі – це тип **"Нестационарность"**. У розкритому списку **"Нестационарность"** вибирається загальний час завдання. У цьому ж вікні вибирається базова вісь – та вісь, уздовж якої буде здійснюватися плин потоку. У нашому випадку – це вісь Z.

Після натискання кнопки **"Завершить"** з'являється тривимірна модель із розрахунковою областю (рис. 2.19). Для прискорення аеродинамічних розрахунків, розрахункову область можна зменшити, присунувши її ближче до моделі за відповідні стрілки.

Далі необхідно задати цілі проекту, які нас цікавлять. Натискаємо правою кнопкою миші **"Цели" | "Добавить глобальные цели"**. У списку вибираємо **"Сила давления (Y)"** і **"Сила давления (Z)"**. У нашому випадку це будуть притискна сила й сила лобового опору відповідно. Змінюємо розмір сітки на 4. Рівень дозволу сітки впливає як на точність результатів, так і на швидкість самого процесу розрахунків. Після всіх перерахованих вище операцій проект готовий до запуску й розрахунків. Для запуску розрахунків натискаємо кнопку **"Запустить"**.

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"**. На зображенні, що з'явилося, бачимо напрямок потоку повітря, яке позначене стрілками (рис. 2.20).

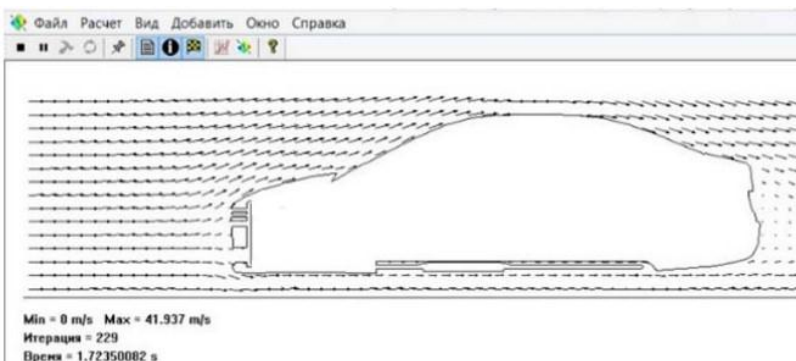


Рисунок 2.21 - Перевірка правильності напрямку повітряного потоку

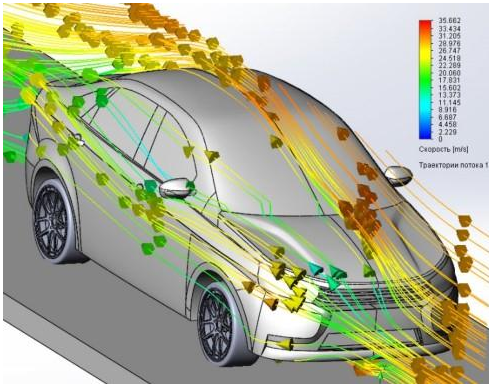


Рисунок 2.22 - Графічне представлення швидкостей набігаючого повітряного потоку

Для виводу графічної картини тисків на поверхні автомобіля натискаємо **"Картини на поверхності"**.

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"**. На поверхні автомобіля кольором показані відповідні значення тисків. Для більшої наочності потрібно відредагувати шкалу значень.

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 **"Восстановит локальный максимум"** і **"Ок"**. Аналогічні операції проводимо з нижньою границею. Для графічного відображення швидкостей повітряного потоку, натискаємо **"Траектории потока"**. Отже можна вивести картини потоків у будь-якій площині, яка цікавить. Параметр **"Количество точек"** ставимо 100.

Далі проводимо дослідження впливу елементів дизайну автомобіля на величину коефіцієнта аеродинамічного опору.

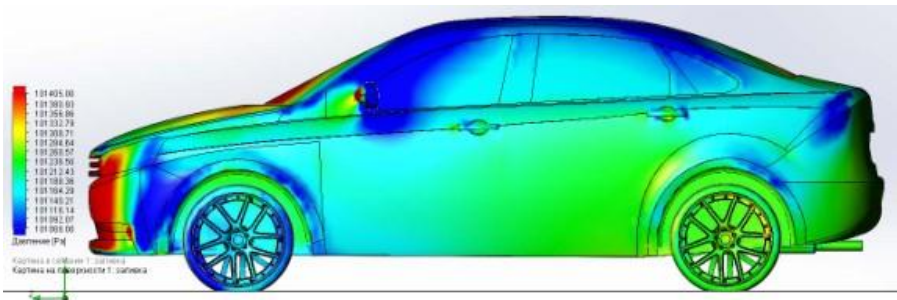


Рисунок 2.23 - Дослідження впливу елементів дизайну автомобіля на його аеродинаміку

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 поперечного перерізу автомобіля.

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?

3 ЗАВДАННЯ НА КОНТРОЛЬНІ РОБОТИ

Студенти заочної форми навчання відповідно до програми курсу "Автоматизоване проектування елементів автотранспортних засобів та засобів їх діагностування" самостійно вивчають літературу, що рекомендується, і виконують одну контрольну роботу, яка складається з трьох питань.

Залік по контрольній роботі студент одержує при особистій співбесіді з викладачем. Оформляти роботу рекомендується на аркушах формату А4 (210x297), зброшурованих і закріплених у швидкозшивачі. При оформленні роботи слід керуватися вимогами ДСТУ 3008-95 - "Документація. Звіти в сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення" і СТП 15-96 "Пояснювальна записка до курсових і дипломних проектів. Вимоги і правила оформлення".

При виконанні контрольної роботи необхідно пояснювати текст схемами і рисунками в масштабі. На обкладинці роботи треба вказати: назву предмета; прізвище, ім'я, по батькові студента; шифр; спеціальність; номер залікової книжки; домашню адресу (для іногородніх) з поштовим індексом; дату виконання. Контрольна робота повинна бути підписана студентом.

Матеріал контрольної роботи розташовується в наступному порядку:

- титульний лист;
- теоретична частина;
- графічна частина;
- висновки;
- перелік посилань.

Наприкінці роботи обов'язково необхідно привести список використаної літератури та електронних джерел, на які наведені посилання в контрольній роботі, з обов'язковим зазначенням по кожному літературному джерелу прізвища та ініціалів автора, назви книги, місця видання, видавництва і року видання, URL електронного ресурсу.

Контрольна робота повинна бути особисто підписана студентом. Залік по контрольній роботі студент одержує при особистій співбесіді з викладачем.

3.1 Список варіантів контрольних робіт

ВАРІАНТ 1

1. Загальні положення розробки нового автомобіля.
2. Функціональні можливості системи AutoCAD.
3. Основи методу кінцевих елементів.

ВАРІАНТ 2

1. Етап розробки автомобіля «Формування вихідних даних».
2. Функціональні можливості системи BricsCAD.
3. Основи методу кінцевих об'ємів.

ВАРІАНТ 3

1. Етап розробки автомобіля «Технічний опис продукту».
2. Функціональні можливості системи Autodesk Inventor.
3. Основи методу кінцевих різниць.

ВАРІАНТ 4

1. Етап розробки автомобіля «Розробка дизайн-проекту».

2. Функціональні можливості системи SolidWorks.
3. Моделювання вузлів за допомогою гібридних сіток кінцевих елементів.

ВАРІАНТ 5

1. Етап розробки автомобіля «Формування детально-вузлового складу конструкції».
2. Функціональні можливості системи Solid Edge.
3. Методи оптимізації в інженерному аналізі.

ВАРІАНТ 6

1. Етап розробки автомобіля «Розробка конструкторської документації».
2. Функціональні можливості системи Компас-3D.
3. Функціональні можливості системи T-FLEX.

ВАРІАНТ 7

1. Етап розробки автомобіля «Випробування конструкції».
2. Функціональні можливості системи PTC Creo.
3. Моделювання конструкцій за допомогою гібридних сіток кінцевих елементів.

ВАРІАНТ 8

1. Етап розробки автомобіля «Затвердження конструкції».
2. Функціональні можливості системи NX.
3. Розрахунки рам за допомогою гібридних, поверхневих і балкових моделей.

ВАРІАНТ 9

1. Етап розробки автомобіля «Серійне виробництво».
2. Функціональні можливості системи CATIA.
3. Світлотехнічний аналіз і проектування (Optisworks).

ВАРІАНТ 10

1. Етап розробки автомобіля «Припинення виробництва».
2. Функціональні можливості системи Fusion 360.
3. Функціональні можливості модуля COSMOSMotion.

ВАРІАНТ 11

1. Функціональні можливості системи Onshape.
2. Загальні положення розробки нового автомобіля.
3. Основні принципи створення складань.

ВАРІАНТ 12

1. Функціональні можливості системи CADMECH.
2. Етап розробки автомобіля «Формування вихідних даних».
3. Побудова складання "знизу-нагору".

ВАРІАНТ 13

1. Функціональні можливості системи RhinoCeros.
2. Етап розробки автомобіля «Технічний опис продукту».
3. Побудова складання "зверху-униз".

ВАРІАНТ 14

1. Функціональні можливості системи Cimatron.
2. Етап розробки автомобіля «Розробка дизайн-проекту».
3. Основні принципи побудови ескізів в SolidWorks.

ВАРІАНТ 15

1. Функціональні можливості системи ABAQUS.
2. Етап розробки автомобіля «Формування детально-вузлового складу конструкції».
3. Основні принципи побудови деталей в SolidWorks.

ВАРІАНТ 16

1. Функціональні можливості системи ADAMS.

2. Етап розробки автомобіля «Розробка конструкторської документації».
3. Конфігурації деталей в SolidWorks.

ВАРІАНТ 17

1. Функціональні можливості системи ANSYS.
2. Етап розробки автомобіля «Випробування конструкцій».
3. Основні способи побудови деталей з листового матеріалу в SolidWorks.

ВАРІАНТ 18

1. Функціональні можливості системи Autodesk Simulation.
2. Етап розробки автомобіля «Затвердження конструкцій».
3. Основні принципи створення зварених конструкцій в SolidWorks.

ВАРІАНТ 19

1. Функціональні можливості системи ESAComp.
2. Етап розробки автомобіля «Серійне виробництво».
3. Створення деталі з листового матеріалу в SolidWorks.

ВАРІАНТ 20

1. Функціональні можливості системи EULER.
2. Етап розробки автомобіля «Припинення виробництва».
3. Перетворення твердого тіла в деталь із листового матеріалу в SolidWorks.

ВАРІАНТ 21

1. Функціональні можливості системи FEM-models.
2. Загальні положення розробки нового автомобіля.
3. Конструювання деталі із твердого тіла й перетворення в деталь із листового матеріалу в SolidWorks.

ВАРІАНТ 22

1. Функціональні можливості системи ADAMS.

2. Етап розробки автомобіля «Формування вихідних даних».
3. Основні принципи створення зварених конструкцій в SolidWorks.

ВАРІАНТ 23

1. Функціональні можливості системи MSC.Nastran.
2. Етап розробки автомобіля «Технічний опис продукту».
3. Створення звареної конструкції із тривимірною ескізу в SolidWorks.

ВАРІАНТ 24

1. Функціональні можливості системи CATIA.
2. Етап розробки автомобіля «Розробка дизайн-проекту».
3. Створення власних профілів зварених конструкцій в SolidWorks.

ВАРІАНТ 25

1. Функціональні можливості системи PTC Creo.
2. Етап розробки автомобіля «Формування детально-вузлового складу конструкції».
3. Основні принципи створення ливарних форм в SolidWorks.

4 КОНТРОЛЬНІ ЗАХОДИ З ПЕРЕВІРКИ ЯКОСТІ ЗАСВОЄННЯ НАВЧАЛЬНОГО МАТЕРІАЛУ ДИСЦИПЛІНИ

На підставі робочої програми дисципліни та вимог організації навчального процесу, кафедра розробляє контрольні заходи з перевірки якості засвоєння студентом навчального матеріалу дисципліни. Контрольні заходи з дисципліни "Автоматизоване проектування елементів автотранспортних засобів та засобів їх діагностування" передбачають наступне:

- опитування за окремими темами лекційного курсу;
- виконання тестових письмових робіт на рубіжному контролі;
- виконання та захист практичних робіт;
- виконання та захист контрольних робіт;
- складання заліку.

Для закріплення поточних знань протягом семестру, до прове-

дення підсумкового модульного контролю, проводяться контрольні заходи (письмове опитування студентів за матеріалами лекцій, що були прочитані), на підставі яких студент отримує загальну оцінку.

При виконанні письмової роботи, студенти одержують завдання по висвітленню певних теоретичних питань або розв'язку завдань. Робота виконується студентом письмово й здається викладачеві. При цьому оцінюються володіння матеріалом по темі роботи, аналітичні здатності студента, його володіння методами, уміння й навички, необхідні для виконання завдань.

Залік націлений на комплексну перевірку освоєння дисципліни. Залік проводиться в усній або письмовій формі по білетах, у яких наводяться питання (завдання) по всіх темах курсу. Студенту дається час на підготовку. Оцінюється володіння матеріалом, його системне освоєння, здатність застосовувати потрібні знання, навички й уміння при аналізі проблемних ситуацій і вирішенні практичних завдань.

Слід зазначити, що всі заплановані заходи мають бути складені позитивно. Негативна оцінка з будь якого контрольного заходу свідчить про незасвоєння студентом навчального матеріалу.

Студент, який одержав за результатами модульного контролю позитивні оцінки, виконав всі завдання, що передбачені робочим навчальним планом дисципліни допускається до складання заліку.

Студент, який отримав на модульному контролі незадовільну оцінку або не з'явився на нього, має можливість повторного складання протягом одного-двох тижнів.

5 РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Надається перелік навчальної та довідникової літератури, що рекомендується при вивченні дисципліни "Автоматизоване проектування елементів автотранспортних засобів та засобів їх діагностування". Слід мати на увазі, що джерела, які можуть бути використані студентом для самопідготовки при вивченні дисципліни, не обмежуються тільки цим, наведеним нижче переліком літератури.

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.
10. Дударева Н. Ю., Загайко С. А. SolidWorks. Оформление проектной документации. СПб. : БХВ-Петербург, 2009. 384 с.
11. Ловыгин А. А., Твердовский Л. В. Современный станок с ЧПУ и CAD/CAM-система. М. : ДМК Пресс, 2015. 280 с.
12. Алямовский А. А. SolidWorks Simulation. Инженерный анализ для профессионалов : задачи, методы, рекомендации. М. : ДМК Пресс, 2015. 562 с.
13. Алямовский А. А. SolidWorks Simulation. Как решать практические задачи СПб. : БХВ-Петербург, 2012. 448 с.
14. Алямовский А. А. COSMOSWorks. Основы расчета конструкций на прочность в среде SolidWorks. М. : ДМК Пресс, 2010. 784 с.
15. Алямовский А. А., Собачкин А. А., Одинцов Е. В. SolidWorks 2007/2008. Компьютерное моделирование в инженерной практике. СПб. : БХВ-Петербург, 2008. 1040 с.
16. Потемкин А. Е. Трёхмерное твердотельное моделирование. М. : КомпьютерПресс, 2002. 296 с.
17. Потемкин А. Е. Инженерная графика. Просто и доступно. М. : Лори, 2000. 480 с.
18. Большаков В. П., Тозик В. Т., Чагина А. В. Инженерная и компьютерная графика: учеб. пособие. СПб. : БХВ-Петербург, 2013. 288 с.

19. Большаков В. П., Бочков А. Л. Основы 3D-моделирования. Изучаем работу в AutoCAD, КОМПАС-3D, SolidWorks, Inventor. СПб. : Питер, 2013. 304 с.
20. Большаков В. П. Инженерная и компьютерная графика. Практикум. СПб. : БХВ-Петербург, 2004. 592 с.
21. Gahan A. 3D automotive modeling : an insider's guide to 3D car modeling and design for games and film. Burlington : Elsevier Inc., 2011. 468 p.
22. Nikola Vukašinović, Jože Duhovnik. Advanced CAD modeling. Explicit, parametric, free-form CAD and Re-engineering. Cham : Springer Nature Switzerland AG, 2019. 260 p.
23. Агапов В. П. Метод конечных элементов в статике, динамике и устойчивости пространственных тонкостенных подкрепленных конструкций. М : АСВ, 2000. 152 с.
24. Большаков В. И., Яценко Е. А., Соссу Г. Основы метода конечных элементов. Днепропетровск : ПГАСиА, 2000. 255 с.
25. Галлагер Р. Метод конечных элементов. Основы. М. : Мир, 1984. 428 с.
26. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. М. : Мир, 1975. 540 с.
27. Образцов И. Ф., Савельев Л. М., Хазанов Х. С. Метод конечных элементов в задачах строительной механики летательных аппаратов. М. : Высш. шк., 1985. 392 с.
28. Сабоннадьер Ж. К., Кулон Ж. Л. Метод конечных элементов и САПР. М. : Мир, 1989. 190 с.
29. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов. М. : Мир, 1979. 395 с.
30. Стренг Г., Фикс Дж. Теория метода конечных элементов. М. : Мир, 1977. 351 с.
31. Алиева Н. П., Журбенко П. А., Сенченкова Л. С. Построение моделей и создание чертежей деталей в системе Autodesk Inventor. Саратов : Профобразование, 2017. 112 с.
32. Каменев С. В. Моделирование станка-гексапода в CAD-системе Autodesk Inventor. Оренбург : ОГУ, 2017. 142 с.
33. Kishore T. Learn Autodesk Inventor 2018 Basics: 3D Modeling, 2D Graphics, and Assembly Design. Hyderabad : Apress, 2017. 542 p.
34. Bob McFarlane. Autodesk Inventor exercises for Autodesk Inventor and other feature-based modelling software. New York : Routledge,

2017. 432 p.
35. Randy H. Shih. Autodesk Inventor 2019 and engineering graphics. Mission, KS : SDC Publications, 2018. 705 p.
36. Randy H. Shih. Parametric modeling with Autodesk Inventor 2018. Mission, KS : SDC Publications, 2017. 618 p.
37. Autodesk Inventor 2018 basics tutorial. Tutorial Books, 2017. 189 p.
38. T-FLEX CAD. Основы. 2D проектирование и черчение. Руководство пользователя. М. : Топ Системы, 2019. 1407 с.
39. T-FLEX CAD. Трёхмерное моделирование. Руководство пользователя. М. : Топ Системы, 2019. 1415 с.
40. Потемкин А. Е. Твердотельное моделирование в системе КОМПАС-3D. М. : БХВ-Петербург, 2004. 512 с.
41. АРМ FEM. Система прочностного анализа для КОМПАС-3D. Королёв : Научно-технический центр "Автоматизированное Проектирование Машин", 2014. 26 с.
42. Ганин Н. Б. Проектирование и прочностной расчет в системе КОМПАС-3D V13. Саратов : Профобразование, 2017. 320 с.
43. Денисов М. А. Автоматизированное проектирование в ANSYS и КОМПАС-3D. Екатеринбург, Изд-во Урал. ун-та, 2015. 264 с.
44. Жарков Н. В., Минеев М. А., Финков М. В. КОМПАС-3D. Полное руководство. От новичка до профессионала. Спб. : Наука и техника, 2016. 672 с.
45. Зиновьев Д. В. Основы проектирования в КОМПАС-3D V16. Павлоград : Студия Vertex, 2017. 327 с.
46. Конакова И. П. Шероховатости поверхностей и их практическое применение в программе КОМПАС. Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2014. 104 с.
47. Корнеев В.Р., Жарков Н. В., Минеев М. А. Компас-3D на примерах. Для студентов, инженеров и не только. Спб. : Наука и техника, 2017. 272 с.
48. Савченко Н. В. Автоматизация построения чертежей. Лабораторный практикум по инженерной и компьютерной графике в системе КОМПАС-3D. Самара : Изд-во СГАУ, 2015. 216 с.
49. Басов К. А. ANSYS : справочник пользователя. Саратов : Профобразование, 2017. 640 с.
50. Chen Xiaolin, Liu Yijun. Finite Element Modeling and Simulation with ANSYS Workbench. Boca Raton : CRC Press, 2015. 408 p.
51. David Moratal. Finite element analysis from biomedical applications.

- Valencia : Polytechnic University of Valencia, 2016. 507 p.
52. Erdogan Madenci, Ibrahim Guven. The Finite element method and applications in engineering using ANSYS. New York : Springer International Publishing, 2015. 663 p.
 53. Farzad Ebrahimi. Finite element analysis new trends and developments. Iran : International University of Imam Khomeini, 2016. 408 p.
 54. Mary Kathryn Thompson, John M. Thompson. ANSYS Mechanical APDL for finite element analysis Oxford : Butterworth-Heinemann, 2017. 438 p.
 55. Saeed Moaveni. Finite element analysis. Theory and application with ANSYS. Essex : Pearson Education Limited, 2015. 929 p.
 56. Sham Tickoo. CATIA V5-6R2015 for designers. Hammond : CADCIM Technologies, 2016. 1630 p.
 57. CATIA v6 essentials. Sudbury : Jones and Bartlett Publishers, 2011. 305 p.
 58. Gaurav Verma, Matt Weber. Creo Parametric 4.0 Black Book. USA : CADCAMCAE Works, 2017. 737 p.
 59. Paul Obiora Kanife. Computer aided virtual manufacturing using Creo Parametric. Notting Hill : Springer, 2016. 678 p.
 60. Creo Parametric 4.0 Basics. Tutorial Books, 2017. 311 p.
 61. Jouni Ahola. Creo Parametric Modeling for Manufacturing v3. Helsinki : Klaava Media, 2015. 750 p.
 62. Jouni Ahola. Creo Parametric Basic Turning. Helsinki : Klaava Media, 2015. 520 p.
 63. Jouni Ahola. Creo Parametric Milling. Helsinki: Klaava Media, 2015. 589 p.
 64. NX для конструктора-машиностроителя / П. С. Гончаров и др. Москва : ДМК Пресс, 2010. 504 с.
 65. Почекуев Е. Н., Путеев П. А., Шенбергер П. Н. Проектирование в Siemens NX технологических процессов изготовления деталей листовой штамповкой. Тольятти : Изд-во ТГУ, 2014. 230 с.
 66. Почекуев Е. Н., Путеев П. А., Шенбергер П. Н. Проектирование штампов для последовательной листовой штамповки в системе NX. М. : ДМК Пресс, 2012. 336 с.
 67. Федоров А. Л., Сафонов М. В. Основы проектирования сборочно-сварочной оснастки с помощью пакета NX. Тольятти : Изд-во ТГУ, 2016. 68 с.
 68. Поляков А. Н. Разработка управляющих программ для станков с

- ЧПУ. Система NX. Фрезерование. Оренбург : Оренбургский гос. ун-т., 2016. 171 с.
69. Поляков А. Н. Разработка управляющих программ для станков с ЧПУ. Система NX. Часть II. Оренбург : Оренбургский гос. ун-т., 2016. 118 с.
 70. Reiner Anderl, Peter Binde. Simulations with NX. Kinematics, FEA, CFD, EM and Data Management. With numerous examples of NX 9. Munich : Carl Hanser Verlag, 2014. 390 p.
 71. Sham Tickoo. Siemens NX 12.0 for Designers, 11th Edition. Schererville : CAD/CIM Technologies, 2018. 1140 p.
 72. Jože Duhovnik, Ivan Demšar, Primož Drešar. Space Modeling with SolidWorks and NX. Ljubljana : University of Ljubljana, 2015. 500 p.
 73. Рычков С. П. Моделирование конструкций в среде Femap with NX Nastran. М. : ДМК Пресс, 2013. 784 с.
 74. Бражникова О. И. Компьютерный дизайн художественных изделий в программах Autodesk 3DS Max и Rhinoceros. Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2016. 100 с.
 75. Фомин Б. Rhinoceros. NURBS моделирование для Windows. USA : Robert McNeel & Associates, 2006. 290 с.
 76. Andre Kutscherauer. 3D Car Modeling with Rhinoceros. Munich : AK3D, 2011. 624 p.
 77. Fletcher Dunn, Ian Parberry. 3D Math Primer for Graphics and Game Development. Plano, Texas : Word ware Publishing, Inc., 2002. 440 p.
 78. Joseph Richard Saltzman. Supermodels Professional 3D Training Tools. Buckinghamshire : Cinemagic Productions Limited, 1999. 970 p.
 79. Ron K.C. Cheng. Inside Rhinoceros 5. Stamford : Cengage Learning, 2014. 658 p.
 80. Ali K. Kamrani, Emad Abouel Nasr. Engineering Design and Rapid Prototyping. London : Springer Science+Business Media, LLC, 2010. 460 p.
 81. Ian Gibson, David Rosen, Brent Stucker. Additive manufacturing technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing. New York : Springer Science + Business Media New York, 2015. 510 p.
 82. Kuang-Hua Chang. Product design modeling using CAD/CAE. The computer aided engineering design series. Waltham : Elsevier Inc., 2014. 421 p.

83. Осипов В. И. Компьютерные технологии при проектировании и аэродинамических исследованиях легкового автомобиля. М. : МАДИ, 2018. 100 с.

6 ІНФОРМАЦІЙНІ РЕСУРСИ

1. 3D-моделирование: тонкости CAD-дизайна для 3D-печати. <https://3dtoday.ru/category/3d-modelirovanie> (дата звернення: 27.10.2019)
2. 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)
3. Система NX (колишня назва - Unigraphics) компанії Siemens. URL: <https://www.plm.automation.siemens.com/global/ru/products/nx/>. (дата звернення: 10.10.2019)
4. Система CATIA. URL: <https://www.3ds.com/products-services/catia/>. (дата звернення: 10.10.2019)
5. Система SolidWorks. URL: <https://www.solidworks.com>. (дата звернення: 10.10.2019)
6. Welcom to ANSYS, Inc. – Corporate Homepage. URL: <https://www.ansys.com>. (дата звернення: 10.10.2019)
7. 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)
8. Система Solidedge компанії Siemens. URL: <https://solidedge.siemens.com/ru/>. (дата звернення: 10.10.2019)
9. Система T-FLEX. URL: <http://www.tflex.ru/>. (дата звернення: 27.10.2019)
10. Система Autodesk Inventor. URL: <https://www.autodesk.com/products/inventor/overview>. (дата звернення: 27.10.2019)