

**Володимир Кальченко¹, Антоніна Кологойда², Геннадій Пасов³, Наталія Сіра⁴,
Дмитро Зюзько⁵, Дмитро Пивовар⁶**

¹ доктор технічних наук, професор, професор кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування
Національний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна)

E-mail: vykalchenko74@gmail.com. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-9072-2976>. **ResearcherID:** [G-6752-2014](https://orcid.org/0000-0002-9072-2976)

² кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування Національ-
ний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна)

E-mail: kolohoida@gmail.com. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-1742-2686>. **ResearcherID:** [I-1118-2014](https://orcid.org/0000-0002-1742-2686)

³ кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування, Наці-
ональний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна)

E-mail: genapasov@gmail.com. **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-7248-9085>. **ResearcherID:** [H-4455-2014](https://orcid.org/0000-0001-7248-9085)

⁴ кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування, Національ-
ний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна)

E-mail: nnserraya@gmail.com. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-6242-5210>. **ResearcherID:** [K-2658-2017](https://orcid.org/0000-0002-6242-5210)

⁵ здобувач вищої освіти, гр. ММБ-221

Національний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна)

E-mail: zyuzko2@gmail.com

⁶ здобувач вищої освіти, гр. ММБ-221

Національний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна)

E-mail: pppfox.god@gmail.com

СУЧАСНІ 3D-ТЕХНОЛОГІЇ В МАШИНОБУДУВАННІ ТА АВТОМОБІЛЬНОМУ ТРАНСПОРТІ

Розглянуто основні аспекти викладання дисципліни «Сучасні 3D-технології» для здобувачів вищої освіти галузей знань «Автомобільний транспорт» та «Галузеве машинобудування». Запропоновано використовувати комплексний підхід з метою формування цілісного уявлення щодо шляху проектування та виготовлення деталей і вузлів у автомобільній, машинобудівній та інших галузях. Розглянуто базові принципи створення просторових моделей. Проаналізовано послідовність побудови тіл, з метою їх подальшого використання та гнучкого редагування. Розглянуто технології 3D-друку та сканування виробів.

Ключові слова: 3D-технології; просторове моделювання; 3D-друк; 3D-сканер; зворотна інженерія.

Рис.: 7. Бібл.: 8.

Актуальність теми. Тенденції розвитку виробничих галузей спрямовані на високо-ефективне проектування та отримання кінцевого продукту за мінімально можливий період. При цьому основну роль у проектуванні виробів, розробці технічної документації та інших підготовчих етапах, а також на стадії виробництва, відіграють програмні методи САПР та 3D-технології. Отже, обов'язковою умовою якісної підготовки фахівців галузей знань «Автомобільний транспорт» та «Галузеве машинобудування» є вивчення сучасного стану та тенденцій розвитку 3D-технологій.

Постановка проблеми. Стрімкий розвиток нових технологій виготовлення деталей, зокрема адитивних, викликає необхідність зміни підходу до підготовки висококваліфікованих робітників. Таким чином, необхідно постійно корегувати та оновлювати зміст дисциплін для навчання здобувачів вищої освіти. При цьому підхід до викладу інформації повинен мати комплексний характер, висвітлюючи всі взаємозв'язки між різними стадіями проектування та виробництва. Представлена в статті інформація буде мати оглядово-методичний характер і призначена для структуризації та узагальнення змісту дисципліни «Сучасні 3D-технології» при підготовці фахівців галузей знань «Автомобільний транспорт» та «Галузеве машинобудування».

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У роботі [1] розглянуто системи просторового моделювання та базові принципи створення 3D-моделей шляхом комбінації різноманітних операцій. У посібнику [2] більш широко описано використання програмного пакета SolidWorks, при цьому детально розглянуто етапи та методи створення просторових моделей деталей. Також визначено поняття інжинірингу як невід'ємної складової сучасного виробництва. Розглянуто методи дослідження моделі та шляхи її оптимізації з метою отримання оптимальної конфігурації за критеріями міцності та кількості матеріалу. У роботах [3; 4] наведено методику моделювання деталей двигуна внутрішнього згорання з використанням

програмного забезпечення Delcam PowerShape. У світі також дуже поширене програмне забезпечення Catia, яке забезпечує більшість етапів виробництва, від створення просторових моделей до оформлення технічної документації та підготовки виробництва [5].

Останні десятиліття стрімкого розвитку набувають технології 3D-друку, загальні принципи їх використання та типи описані в роботі [6]. Найбільш цікавими для автомобілебудівної, машинобудівної та інших галузей є друк саме металевими матеріалами, які забезпечують високу міцність деталей. У роботі [7] описані досягнення вітчизняних учених у цьому напрямку. У роботі [8] розглянуто технології сканування об'єктів та описано наявні типи сканерів.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Однак нині відсутній комплексний методологічний підхід до вивчення сучасних 3D-технологій при підготовці фахівців технічних напрямів.

Мета статті. Головною метою роботи є дослідження стану розвитку та галузі використання сучасних 3D-технологій в автомобільному транспорті та галузевому машинобудуванні. Визначення цілісної структури викладання дисципліни «Сучасні 3D-технології» для здобувачів вищої освіти галузей знань «Автомобільний транспорт» та «Галузеве машинобудування».

Виклад основного матеріалу. У межах вивчення дисципліни «Сучасні 3D-технології» здобувачі вищої освіти повинні ознайомитись з основними етапами адитивного виробництва зокрема та виробництва загалом. Розуміти відмінність у підході до виготовлення деталей, а також виділяти загальні частини. Загалом процес виготовлення виробів включає:

- створення просторової моделі та креслення, підготовка технічної документації;
- написання коду для верстата з ЧПК або 3D-принтера;
- безпосередньо процес отримання деталі;
- контроль якості.

У традиційному виробництві процес створення деталі починається від отримання заготовки та включає відповідні металорізальні операції з поступовим зняттям матеріалу й формуванням необхідної геометрії. На відміну від цього, за адитивною технологією виробництва виключається стадія отримання заготовки та металорізальні операції. Деталь утворюють з нуля, поступовим наплавленням матеріалу у визначених геометрією місцях. Таким чином, така методика отримання деталей виключає наявність стружки, що дозволяє значно підвищити коефіцієнт корисного використання матеріалу. Часто після отримання максимально наближеної за формою заготовки здійснюють фінішні операції з метою покращення якості поверхні та підвищення точності.

Незалежно від типу обраного виробництва першим етапом є розробка концепції виробу та просторове моделювання. При цьому першочергове створення просторової моделі є пріоритетним, і тільки на її базі створюються необхідні креслення. Така послідовність дає змогу більш детально проаналізувати конструкцію деталі, за необхідності провести її оптимізацію, базові статичні та інші розрахунки й максимально автоматизувати створення креслень.

Залежно від обраного типу виробництва існує декілька підходів до послідовності створення просторових моделей та їх розташування у просторі. Наприклад, для виготовлення простої втулки (рис. 1, б) за адитивною технологією деталь буде розміщуватись на більшій опорній площині й у подальшому друкуватись з низу до гори. Таке розміщення втулки виключить необхідність створення додаткових елементів, таких як підтримка, та покращить точність деталі за рахунок відсутності навислих елементів. У цьому випадку просторову модель втулки слід створювати методом обертання її контуру навколо вертикальної осі (рис. 1, а), а потім вирізанням додавати кругові отвори. Остаточо, дерево створення моделі буде включати три базові операції (рис. 1, в).

Однак при виготовленні цієї ж деталі за традиційною схемою, тобто шляхом токарної обробки суцільної циліндричної заготовки або прутка, методика створення просторової моделі може відрізнятись. При цьому в найпростішому випадку деталь можна створити

аналогічно попередньому методу, однак при цьому ми не будемо мати ніякої інформації щодо заготовки та витрат матеріалу на виготовлення втулки. У зв'язку з цим на виробництві часто використовується метод створення просторових моделей деталей від заготовки.

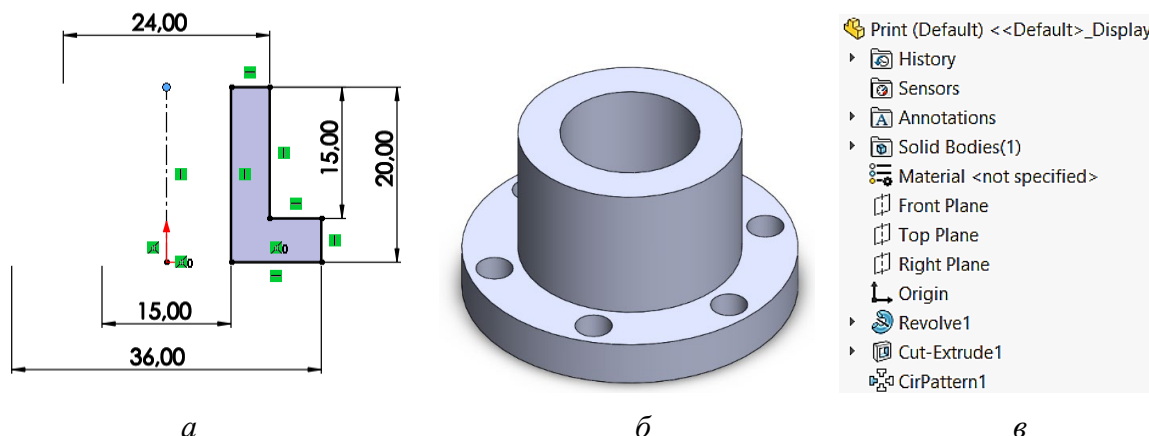


Рис. 1. Просторова модель втулки для 3D друку:
a – основний ескіз; *б* – загальний вигляд; *в* – дерево побудови

Таким чином, при побудові 3D-моделі втулки перша операція буде відповідати за отримання циліндричної заготовки, ескіз операції наведено на рис. 2, *a*. Друга операція – повернутий виріз (рис. 2, *б*) відображає форму деталі після токарної обробки зовнішнього контуру. Далі аналогічно створюються центральний та кругові отвори (рис. 2, *в*). Вісь обертання втулки в цьому випадку буде горизонтальною. Дерево побудови наведено на рис. 2, *г*. Отже, при створенні просторової моделі за цією методикою можна отримати дані про загальну масу заготовки та кінцевого виробу, це дасть змогу визначити коефіцієнт корисного використання матеріалу, більш точно розрахувати собівартість виробу. Крім того, можна спостерігати за зміною деталі в процесі обробки, та визначати її проміжні характеристики.

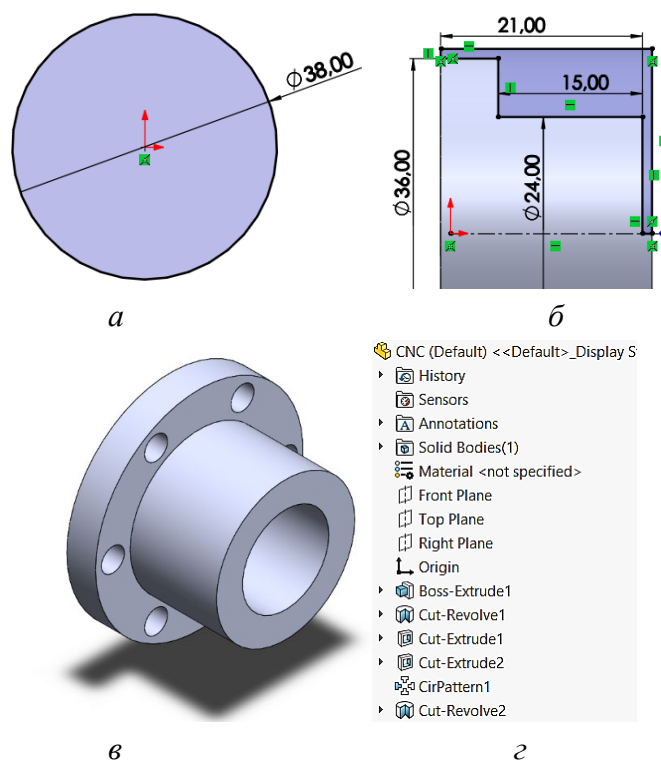


Рис. 2. Просторова модель втулки для виготовлення на верстаті з ЧПК:
a – основний ескіз; *б* – перша операція: підрізання торця і точіння зовнішнього профілю; *в* – загальний вигляд; *г* – дерево побудови

Незалежно від обраної методики створення деталей, усі просторові моделі повинні відповідати певним вимогам:

– Модель повинна бути максимально простою для розуміння стороннім користувачем. Тобто повинна чітко прослідковуватись логіка побудови, не допускається наявність зайвих елементів, які були створені помилково.

– Створення будь-якої допоміжної геометрії повинно бути зумовлено конструкцією і, за можливістю, не використовуватись.

– Не допускається дублювати розміри деталі в різних ескізах, замість цього повинні використовуватись взаємозв'язки між елементами моделі, це розвантажить ескізи та в разі потреби редагування, зменшить кількість необхідних правок.

– Бажано створювати визначені ескізи, це також полегшить подальше редагування моделі та дозволить контролювати необхідні розміри, при цьому перевага також віддається взаємозв'язкам в моделі, а не розмірам елементів.

Створення деталі за адитивною технологією здійснюється за допомогою 3D-принтерів. Перша деталь була створена Чарльзом В. Халлом у 1983 році, з використанням стереолітографічного апарата SLA-1, який він сам створив. Загальними перевагами адитивної технології є:

- швидке виготовлення прототипу або деталі;
- можливість виготовлення виробів зі складною геометрією;
- зменшення кількості операцій, які необхідні для отримання продукції;
- підвищення ефективності виробів;
- зменшення відсотка відходів при виготовленні деталей.

Існує значна кількість різновидів 3D-принтерів (рис. 3). Їх розрізняють за типом матеріалу, що використовується, формою у якій він подається та джерелом формування деталі.

Нині в 3D-друці широко використовують різноманітні матеріали: пластик, метал та композитні матеріали. Вони можуть використовуватись у вигляді нитки, порошку або рідини. Для отримання готового виробу використовують: сопло нагріву, лазер, електронний промінь та інші.



Рис. 3. 3D-принтер

У машинобудівній та автомобільній промисловості 3D-друк використовують для виготовлення прототипів та готових виробів. За реальною моделлю більш просто виявити недоліки деталі та вузла загалом. Також значно зменшується час виготовлення прототипу та готової продукції.

З метою забезпечення 3D-друку просторову модель, за допомогою спеціальних програм, умовно розрізають на тонкі шари, які по чергово формуються принтером. При цьому робочий елемент принтера рухається по заданій траєкторії, що визначає конфігурацію певного шару. Програма керування принтером містить спеціальний G-код аналогічний коду, який використовується на верстатах з ЧПК. При цьому в програмі задається товщина шару, швидкість та траєкторія руху.

При роботі з пластиком найбільш поширеним методом друку є пошарове наплавлення, що належить до напряму створення деталей екструзією. Більш цікавим для машинобудівної та автомобільної промисловості є технологія друку металевих деталей. Виготовлення металевих деталей може здійснюватися за методом лазерного спікання, електронно-променевою плавкою та ін. В інституті електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України [7] запропоновано технологію електронно-променевого 3D-друку з використанням порошкових металів для отримання виробів визначеної форми. Процес формування деталі відбувається у вакуумній камері. На принтері було створено лопатку газотурбінного двигуна (рис. 4). Отримана деталь відповідає всім технічним вимогам і може бути використана за призначенням.



Рис. 4. Лопатка газотурбінного двигуна створена 3D-друком

Окрім базового формування деталей, адитивні технології також дозволяють оптимізувати геометрію виробів. Так, наприклад, при формуванні титанового кронштейна (рис. 5, а), за рахунок виконання оптимізації в CAD/CAE програмі (рис. 5, б) була змінена його геометрія, шляхом видалення матеріалу в ненавантажених частинах (рис. 5, в). За рахунок цього масу виробу з 230 г зменшено до 138 г. При виготовленні даної деталі використовувався метод лазерного сплавлення металевого порошку.

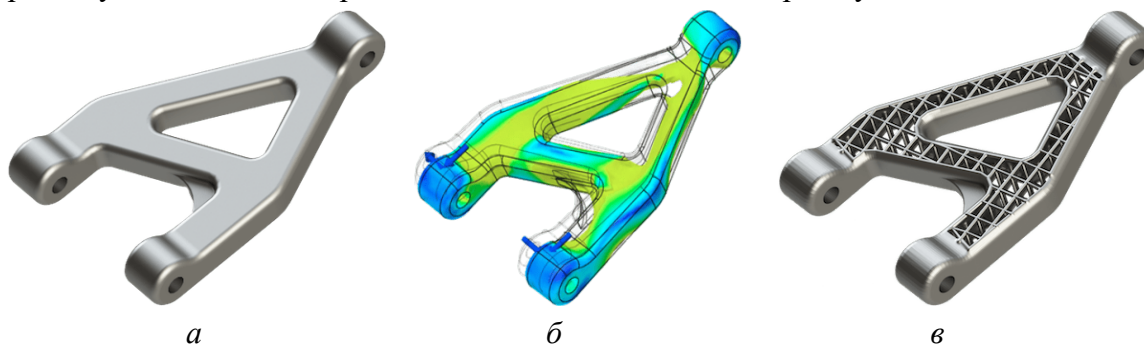


Рис. 5. Титановий кронштейн рами:

а – традиційна конструкція; б – оптимізація моделі; в – кінцева конфігурація

Досить часто виникає задача створення просторової моделі за вже наявною деталлю. Наприклад, коли в разі поломки вузла необхідно замінити його частини новими, при цьому документація не збереглась. Для простих деталей ця проблема не є складною, і при вимірюванні базових розмірів виконують її просторову модель та необхідні креслення. Однак у випадку деталей складної конфігурації точне відтворення всіх елементів є проблематичним.

Цю проблему вирішують шляхом використання 3D-сканерів [8]. Перші просторові сканери з'явилися ще у 80-х роках ХХІ ст. Звичайно, на той період вони мали не велику точність та багато інших недоліків. У сучасному світі використовуються більш прогресивні технології сканування топографії об'єктів. Загалом розрізняють контактні та безконтактні сканери. Крім машинобудівної та автомобільної галузей, вони також поширені в медицині при протезуванні, при створенні комп'ютерних ігор, в авіакосмічній та інших галузях.

У контактних сканерах (рис. 6) основним робочим елементом є щуп, який послідовно переміщуючись по поверхні деталі визначає її загальну конфігурацію. Такі сканери мають високу точність, однак через необхідність контакту з досліджуваною поверхнею можливе псування деталі. Також сканування можливе тільки для нерухомих об'єктів і є досить повільним у порівнянні з іншими видами.



Рис. 6. Контактний 3D-сканер

Безконтактні сканери, на відміну від контактних, жодним чином не вносять зміни в геометрію деталі й розрізняються залежно від типу робочого проміння і технічного виконання. Розрізняють лазерні, оптичні, ультразвукові та інші сканери. При цьому найбільшою точністю вирізняються лазерні сканери, однак вони погано працюють для дослідження рухомих об'єктів. Оптичні сканери в роботі використовують більш безпечний лазер другого типу та добре відтворюють навіть рухомі тіла, можуть використовуватись для сканування людей. Однак для таких сканерів поверхня не може бути дзеркальною, прозорою або блискучою. Для сканування таких тіл їх попередньо покривають спеціальним матовим розчином. Ультразвукові сканери найбільш поширені в медичній галузі.

За технічним виконанням безконтактні сканери можуть бути портативні (рис. 7, а) або стаціонарні (рис. 7, б). Портативні сканери мають меншу вартість та легші у використанні, немає прив'язки до робочого столу. Проте вони мають нижчу точність у порівнянні зі стаціонарними. Крім того, вимагають застосування спеціальних маркерів. Ці маркери перед скануванням необхідно розмістити на досліджуваній поверхні, за ними система буде визначати положення сканера в просторі. Однак маркери залишають сліди на отриманій моделі, чим зменшують її якість. Стаціонарні сканери мають масивну основу, найчастіше у вигляді триноги та оснащені маніпулятором. При цьому орієнтація в просторі сканованої голівки визначається положенням маніпулятора, і тому маркувати деталі на поверхні не треба. До того ж такі сканери мають значно більшу точність.

3D-сканер використовує спеціальні програми, які аналізують отриману інформацію та перетворюють її полігональну поверхню, формуючи контур деталі. У подальшому отримана полігональна модель потребує редагування та правки, іноді перетворення в параметричну твердотільну модель.



Рис. 7. Безконтактні сканери:
а – портативний, б – стаціонарний

Важливим напрямом використання 3D-сканерів є перевірка точності виготовлення деталі. Для цього так само сканують поверхню деталі, проте на відміну від попереднього випадку, де за набором точок будували просторову модель, у цьому варіанті набір точок накладають на вже наявну вихідну поверхню моделі деталі та визначають ступінь відхилення реальних точок від базових, тим самим визначаючи точність виробу.

Висновки. Розглянуто основні аспекти викладання дисципліни «Сучасні 3D-технології» для здобувачів вищої освіти галузей знань «Автомобільний транспорт» та «Галузеве машинобудування». Пропонується використовувати комплексний підхід з метою формування цілісного уявлення щодо шляху створення та виготовлення деталей та вузлів у автомобільній, машинобудівній та інших галузях.

Розглянуто методи створення просторових моделей на прикладі простої деталі в системі SolidWorks. Визначено необхідність створення параметричних моделей. Визначено базові методики та принципи створення просторових моделей з урахуванням геометрії деталей. Проаналізовано послідовність побудови тіл з метою їх подальшого використання та гнучкого редагування.

Описано найбільш поширені технології 3D-друку та матеріали, які при цьому використовуються. Розглянуто галузі їх використання та переваги стосовно наявних технологій виготовлення деталей. Розглянуто принцип дії та типи 3D-сканерів та методи роботи з отриманою інформацією.

Список використаних джерел

1. Пальчевський Б. О. Системи 3D моделювання : навч. посіб. / Б. О. Пальчевський, Б. П. Валецький, Т. Л. Вараніцький. – Луцьк, 2016 – 176 с. – Електронна копія існує. – Режим доступу: https://lib.lntu.edu.ua/sites/default/files/2021-03/3D%20pidruchnik_2016.pdf.
2. Ворошук В. Я. Solidworks у завданнях 3D моделювання та інжинірингу технічних систем : навч. посіб. / В. Я. Ворошук, Т. М. Вітенко. – Тернопіль : ФОП Паляниця В.А., 2021. –164 с. – Електронна копія існує. – Режим доступу: <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/40547>.
3. Носов П. С. 3D параметричне моделювання прототипу двигуна внутрішнього згоряння засобами Delcam PowerSHAPE / П. С. Носов // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – № 5 (7). – С. 11-14. – Електронна копія існує. – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vejpte_2013_5\(7\)_3](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vejpte_2013_5(7)_3).
4. Якушенко С. О. Проектні розрахунки та 3D моделювання двигунів внутрішнього згоряння у САПР Delcam PowerShape 2013 / С. О. Якушенко, П. С. Носов // Інформаційні технології в освіті, науці та виробництві. – Одеса, 2013. – Вип. 4 (5). – С. 165-179. – Електронна копія існує. – Режим доступу: <http://dspace.opu.ua/jspui/handle/123456789/2687>.

5. Робота в програмному продукті САТІА. Загальні відомості. – Ч. 1: Методичні вказівки до виконання комп'ютерного практикуму / М. Г. Кришук, А. В. Трубін, Н. Ф. Тертишна, В. О. Єщенко. – Київ : НТУУ “КПІ імені Ігоря Сікорського”, 2017. – 78 с. – Електронна копія існує. Режим доступу: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/20081/1/001_CATIA.pdf.

6. Additive Manufacturing Technologies: An Overview about 3D Printing Methods and Future Prospects [Electronic resource] / M. Jiménez, L. Romero, I. A. Domínguez, M. del Mar Espinosa, M. Domínguez // *Complexity*. – Vol. 2019, Article ID 9656938. – Access mode: <https://doi.org/10.1155/2019/9656938>.

7. Науковці Академії розробили нове обладнання для виробництва комплектуючих до турбін та авіадвигунів [Електронний ресурс] / Прес-служба НАН України. – Режим доступу: <https://www.nas.gov.ua/UA/Messages/Pages/View.aspx?MessageID=8027&fbclid=IwAR118vkhOLB79VhQ-j5aeJvdBIsZMjGuqZU-3IVYECzTcGtJ5BBMgONaYcG>.

8. 3D сканер: 3D-сканування об'єктів та тривимірне моделювання від компанії KOLORO [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://koloro.ua/ua/3D-skaner-3D-skanirovanie-obektov-i-trehmernoje-modelirovanie.html>.

References

1. Palchevskiy, B.O., Valetskiy, B.P., Varanitskiy, T.L. (2016). *Systemy 3D modeliuvannia [3D modeling systems]*. https://lib.lntu.edu.ua/sites/default/files/2021-03/3D%20pidruchnik_2016.pdf.

2. Voroshchuk, V.Ia., & Vitenko, T.M. (2021). *Solidworks u zavdanniakh 3D modeliuvannia ta inzhynirynhu tekhnichnykh system [Solidworks in tasks of 3D modeling and engineering of technical systems]*. FOP Palianytsia V.A. <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/40547>.

3. Nosov, P.S. (2013). 3D parametrychne modeliuvannia prototypu dvyhuna vnutrishnoho zghoriannia zasobamy Delcam PowerSHAPE [3D parametric modeling of the internal combustion engine prototype using Delcam PowerSHAPE]. *Vostochno-Evropeiskii zhurnal peredovykh tekhnologii – Eastern European Journal of Advanced Technologies*, 5(7), 11-14. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vejpte_2013_5\(7\)_3](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vejpte_2013_5(7)_3).

4. Yakushenko, S.O., & Nosov, P.S. (2013). Proektni rozrakhunky ta 3D modeliuvannia dvyhuniv vnutrishnoho zghoriannia u SAPR Delcam PowerShape 2013 [Design calculations and 3D modeling of internal combustion engines in CAD Delcam PowerShape 2013]. *Inform. tekhnolohii v osviti, nauksi ta vyr-vi. – Information technologies in education, science and production*, 4(5), 165-179. <http://dSPACE.opu.ua/jspui/handle/123456789/2687>.

5. Kryshchuk, M.H., Trubin, A.V., Tertyshna, N.F., & Yeshchenko, V.O. (2017). *Robota v prohramnomu produkti SATIA. Zahalni vidomosti. Chastyna 1: metodychni vkazivky do vykonannia kompiuternoho praktykumu [Work in the software product CATIA. General Information. Part 1: Methodological instructions for conducting a computer workshop]*. NTUU “KPI imeni Ihoria Sikorskoho”. https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/20081/1/001_CATIA.pdf.

6. Mariano Jiménez, Luis Romero, Iris A. Domínguez, María del Mar Espinosa, Manuel Domínguez. (2019). Additive Manufacturing Technologies: An Overview about 3D Printing Methods and Future Prospects. *Complexity*, ID 9656938. <https://doi.org/10.1155/2019/9656938>.

7. *Pres-sluzhba NAN Ukrainy [Press Service of the National Academy of Sciences of Ukraine]*. (16.07.2021). Naukovtsi Akademii rozrobyly nove obladdannia dlia vyrobnytstva komplektuiuchykh do turbin ta aviadvihuniv [Scientists of the Academy developed new equipment for the production of components for turbines and aircraft engines]. <https://www.nas.gov.ua/UA/Messages/Pages/View.aspx?MessageID=8027&fbclid=IwAR118vkhOLB79VhQ-j5aeJvdBIsZMjGuqZU-3IVYECzTcGtJ5BBMgONaYcG>.

8. KOLORO. (n.d.). 3D skaner: 3D-skanuvannia obiektiv ta tryvymirne modeliuvannia vid kompanii KOLORO [3D scanner: 3D scanning of objects and three-dimensional modeling from the KOLORO company]. <https://koloro.ua/ua/3D-skaner-3D-skanirovanie-obektov-i-trehmernoje-modelirovanie.html>.

Отримано 01.05.23

**Volodymyr Kalchenko¹, Antonina Kolohoida², Gennadiy Pasov³, Nataliia Sira⁴,
Dmytro Zyuzko⁵, Dmytro Pivovar⁶**

¹ Doctor in Technical Sciences, Professor Department of Road Transport and Industrial Engineering
Chernihiv Polytechnic National University (Chernihiv, Ukraine)

E-mail: vkalchenko74@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9072-2976>. ResearcherID: [G-6752-2014](https://orcid.org/G-6752-2014)

² PhD in Technical Sciences, Department of Road Transport and Industrial Engineering
Chernihiv Polytechnic National University (Chernihiv, Ukraine)

E-mail: kolohoida@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1742-2686>. ResearcherID [I-1118-2014](https://orcid.org/I-1118-2014)

³ PhD in Technical Sciences, Department of Road Transport and Industrial Engineering
Chernihiv Polytechnic National University (Chernihiv, Ukraine)

E-mail: genapasov@gmail.com. ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7248-9085>. ResearcherID: [H-4455-2014](https://orcid.org/H-4455-2014)

⁴ PhD in Technical Sciences, Department of Road Transport and Industrial Engineering
Chernihiv Polytechnic National University (Chernihiv, Ukraine)

E-mail: nnserya@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6242-5210>. ResearcherID: [K-2658-2017](https://orcid.org/K-2658-2017)

⁵ student of higher education, gr. MMB-221

Chernihiv Polytechnic National University (Chernihiv, Ukraine)

E-mail: zyuzko2@gmail.com

⁶ student of higher education, gr. MMB-221

Chernihiv Polytechnic National University (Chernihiv, Ukraine)

E-mail: pppfox.god@gmail.com

MODERN 3D TECHNOLOGIES IN ENGINEERING AND ROAD TRANSPORT

The trends in the development of manufacturing industries are aimed at highly efficient design. 3D technologies play the main role in product design. Therefore, a mandatory condition for the high-quality training of specialists in the fields of knowledge "Road transport" and "Industrial engineering" is the study of the current state and trends in the development of 3D technologies.

The rapid development of new technologies for the production of parts, in particular additive ones, makes it necessary to change the approach to the training of highly qualified workers. The approach to the presentation of information should be comprehensive, highlighting all the interrelationships between the stages of design and production.

A significant number of works are devoted to spatial modeling in SolidWorks, Delcam PowerShape, Catia, etc. The main principles of creating models are described, the advantages of the program and the scope of application are defined. 3D printing and scanning technologies are developing rapidly.

However, there is currently no comprehensive methodological approach to the study of modern 3D technologies, when training specialists in technical areas.

The main goal is to study the state of development and the field of use of modern 3D technologies in automobile transport and industrial engineering.

The types and scope of use of 3D printers and scanners are analyzed. Positive and negative features of representatives of each type are determined.

The main aspects of teaching the discipline "Modern 3D technologies" are considered. The methods of creating spatial models in the SolidWorks system are considered. The most advanced 3D printing technologies and materials used are described. The principle of operation and types of 3D scanners are reviewed.

Keywords: 3D technologies; spatial modeling; 3D printing; 3D scanner; reverse engineering.

Fig.: 7. References: 8.