

УДК 004.925.84:004.94:621.8

**Піонткевич О.В., Лозінський Д.О., Сердюк О.В., Савуляк В.В.** (Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна)

## **ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИВЧЕННЯ CAD/CAE/CAM СИСТЕМ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ ІЗ СПЕЦІАЛЬНОСТІ «ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА»**

**Анотація:** Стаття розкриває наповнення навчальних дисциплін для забезпечення результатів вивчення CAD/CAE/CAM систем на кафедрі технологій та автоматизації машинобудування. Розглянуто можливості CAD системи SOLIDWORKS, CAE системи SOLIDWORKS Simulation та CAM системи SolidCAM для підготовки фахівців з основ комп'ютерного проєктування, інженерного аналізу та виробництва, відповідно. Запропоновано комплекс навчальних дисциплін для надання здобувачам теоретичних знань та практичних навичок, які стосуються забезпечення високих показників точності та ефективності виготовлення продукції під час виробництва, що, в свою чергу, суттєво підвищує конкурентоспроможність випускникам на ринку праці.

**Ключові слова:** CAD, CAE, CAM, SOLIDWORKS, інженерний аналіз, навчальні дисципліни, підготовка фахівців, конкурентоспроможність.

**Abstract:** The article reveals the content of educational disciplines to ensure the results of studying CAD/CAE/CAM systems at the Department of Technologies and Automation of Mechanical Engineering. The possibilities of CAD system SOLIDWORKS, CAE system SOLIDWORKS Simulation and CAM system SolidCAM for training specialists in the basics of computer-aided design, engineering analysis and manufacturing, respectively, are considered. A set of educational disciplines is offered to provide students with theoretical knowledge and practical skills related to ensuring high levels of accuracy and efficiency in the production of products, which, in turn, significantly increases the competitiveness of graduates on the labor market.

**Keywords:** CAD, CAE, CAM, SOLIDWORKS, engineering analysis, educational disciplines, training of specialists, competitiveness.

В стандарті вищої освіти України [1] для спеціальності «Прикладна механіка» передбачено результат навчання РН12: навички практичного використання комп'ютеризованих систем проєктування (CAD), підготовки виробництва (CAM) та інженерних досліджень (CAE). Опанування цього результату навчання є досить складною задачею, яка потребує комплексного підходу до підготовки здобувача та впровадження в навчання комплексу навчальних дисциплін відповідного змісту. При цьому, навчальні дисципліни повинні не повторювати вивчений матеріал та мати послідовний розвиток. Головною метою стає огляд і впровадження сучасних новинок в CAD/CAE/CAM системах, забезпечення якості навчального процесу на кафедрі технологій та автоматизації машинобудування, підготовка висококваліфікованих фахівців із спеціальності «Прикладна механіка».

В якості досліджень для напрямку CAD/CAE/CAM систем необхідно враховувати сучасні потреби ринку та виробництва. Досить потужними програмними продуктами, які широко застосовуються фахівцями в Україні є такі інженерні програми як SOLIDWORKS та Autodesk Inventor. Вони широко використовуються за кордоном і швидко впроваджуються на вітчизняних підприємствах оскільки мають досить широкий функціонал та дозволяють вирішувати багато задач інженерного характеру. Орієнтованість на підготовку кваліфікованих фахівців, які будуть затребуваними на ринку праці нашої держави та інших держав має передбачати забезпечення сучасних вимог до результатів вивчення CAD/CAE/CAM систем в розглянутих вище інженерних програмах.

Питаннями практичного застосування CAD/CAE/CAM систем на основі SOLIDWORKS та Autodesk Inventor займаються значна кількість авторів [2-10]. Однак, для забезпечення концепції комплексності розробленого курсу навчальних дисциплін та результатів вивчення CAD/CAE/CAM систем на кафедрі технологій та автоматизації машинобудування необхідно розробляти власні напрацювання у відповідності до

освітнього процесу в університеті та регіональних потреб. Вирішення цієї проблеми супроводжується потребою комунікації між викладачами, регулярного підвищення їх кваліфікації та покращення матеріально-технічного забезпечення.

Метою даного дослідження є забезпечення результатів вивчення CAD/CAE/CAM систем для підготовки фахівців із спеціальності «Прикладна механіка» на кафедрі технологій та автоматизації машинобудування за рахунок вирішення вищезазначених проблем. Дослідження передбачає створення сприятливих умов для набуття професійних навичок здобувачів та забезпечення високого рівня їх конкурентоспроможності на ринку праці.

Підготовку фахівців із спеціальності «Прикладна механіка» для здобуття результатів по CAD системах передбачено за трьома навчальними дисциплінами «Інформаційно-комп'ютерні технології в машинобудуванні», «Комп'ютеризовані системи проектування» та «Автоматизовані системи технологічної підготовки виробництва». Відбувається послідовне навчання на 1-ому, 2-ому та 4-ому курсах, відповідно, заявленого списку навчальних дисциплін. Здобувачі оволодівають навичками роботи в CAD системі SOLIDWORKS. Отриманий досвід дозволяє здобувачам проходити стажування, навчально-виробничі практики та виконувати не складні замовлення пов'язані з моделювання деталей та складальних вузлів. Виділимо важливіші лабораторні роботи (див. рис. 1):

- налаштування інтерфейсу в SOLIDWORKS;
- побудова ескізів із використанням спряжень;
- створення твердотільних тривимірних моделей деталей;
- використання бібліотек в тривимірному моделюванні;
- створення асоціативних креслеників із тривимірних моделей деталей;
- листове тривимірне моделювання деталей та їх кресленики;
- побудова складальної моделі вузла.

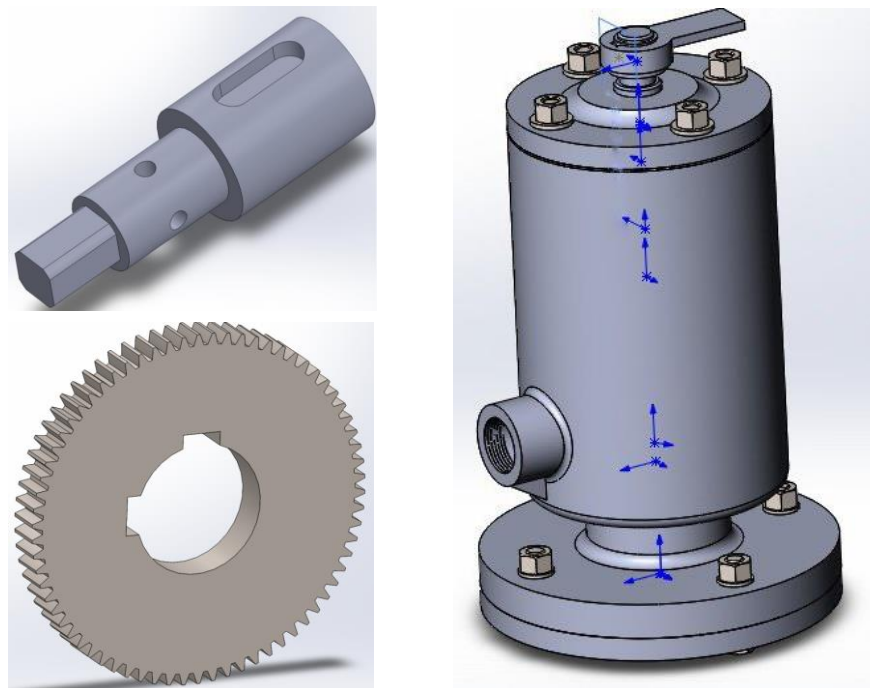
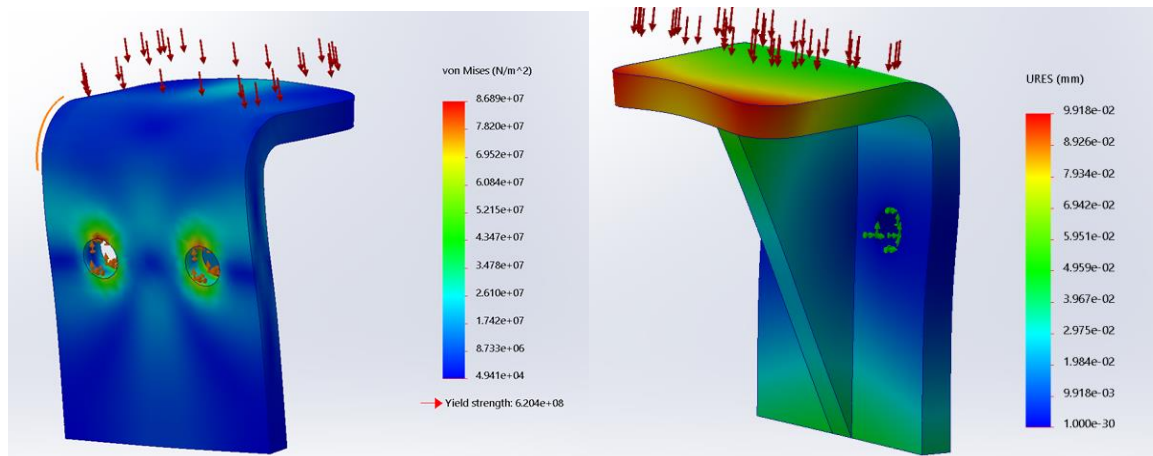


Рис. 1 – Результати виконання лабораторних робіт в CAD системі SOLIDWORKS

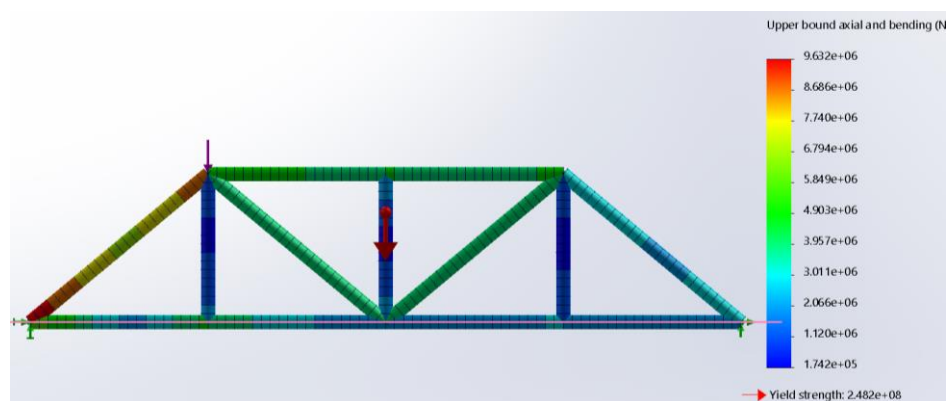
На кафедрі технологій та автоматизації машинобудування за отримання знань та навичок з CAE систем відповідає навчальна дисципліна «Комп'ютеризовані системи інженерного аналізу». Основна її мета – розширення світогляду здобувачів та прищеплення

їм навичок користування CAD/CAE системами, які необхідні під час інженерного аналізу та проектування деталей, оцінки різних механічних характеристик деталей та вузлів машин в машинобудуванні. Застосування таких систем дозволяє суттєво зменшити час та витрати коштів на проведення інженерних досліджень та дозволяє ефективно оптимізувати конструкції виробів. Передбачено наступні лабораторні роботи (див. рис. 2):

- основні принципи, поняття та критерії інженерного аналізу;
- ознайомлення з інтерфейсом CAD/CAE систем програми SOLIDWORKS Simulation;
- аналіз геометричних характеристик складних перерізів;
- статичний аналіз деталей редукторів в SOLIDWORKS Simulation;
- інженерний аналіз зварних конструкцій в SOLIDWORKS Simulation;
- частотний аналіз деталей машин в SOLIDWORKS Simulation;
- термічний аналіз радіаторів в SOLIDWORKS Simulation;
- інженерний аналіз виробів під час падіння.



a)



б)

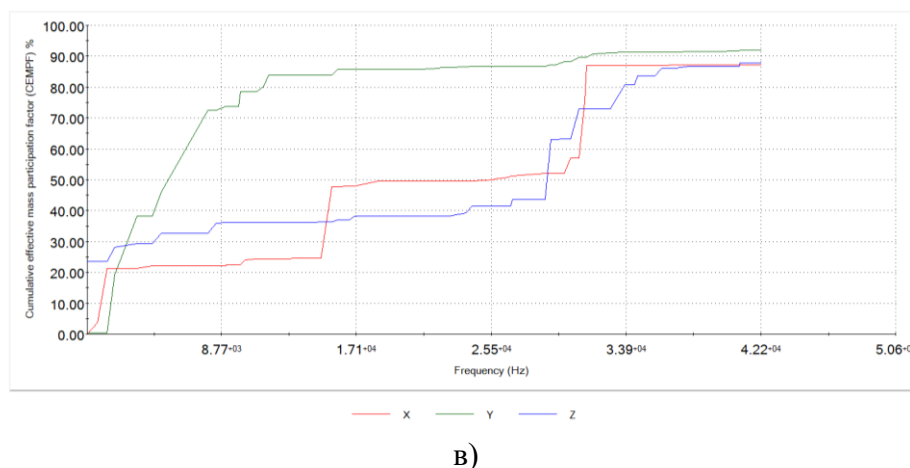


Рис. 2 - Результати виконання лабораторних робіт в САЕ системі SOLIDWORKS Simulation: а) статичний аналіз деталі; б) інженерний аналіз зварної конструкції; в) частотний аналіз деталі

Заключний модуль інженерної програми SOLIDWORKS із комплексу навчальних дисциплін по напрямку CAD/CAE/CAM систем займає SolidCAM. Опановуючи навчальну дисципліну «Системи автоматизованого програмування верстатів з числовим програмним керуванням» здобувачі використовують комп'ютерні засоби для створення керувальних програм для верстатів з числовим програмним керування, які визначають набір необхідних дій верстату для обробки виробу на токарних, фрезерних, свердильних верстатах тощо. Це дозволяє підготувати здобувачів до виробництва складних деталей та забезпечувати високою точністю та ефективністю виготовлення продукції. Перелік лабораторних робіт для навчальної дисципліни «Системи автоматизованого програмування верстатів з числовим програмним керуванням»:

- розробка керуючих програм в CAD/CAM системі SolidCAM для токарних операцій (див. рис. 3);
- розробка керуючих програм в CAD/CAM системі SolidCAM для свердильних операцій;
- розробка керуючих програм в CAD/CAM системі SolidCAM для фрезерних операцій (2-2,5D обробка);
- розробка керуючих програм в CAD/CAM системі SolidCAM для фрезерних операцій (3D обробка);
- розробка керуючих програм в CAD/CAM системі SolidCAM для фрезерних операцій (4-6D обробка).

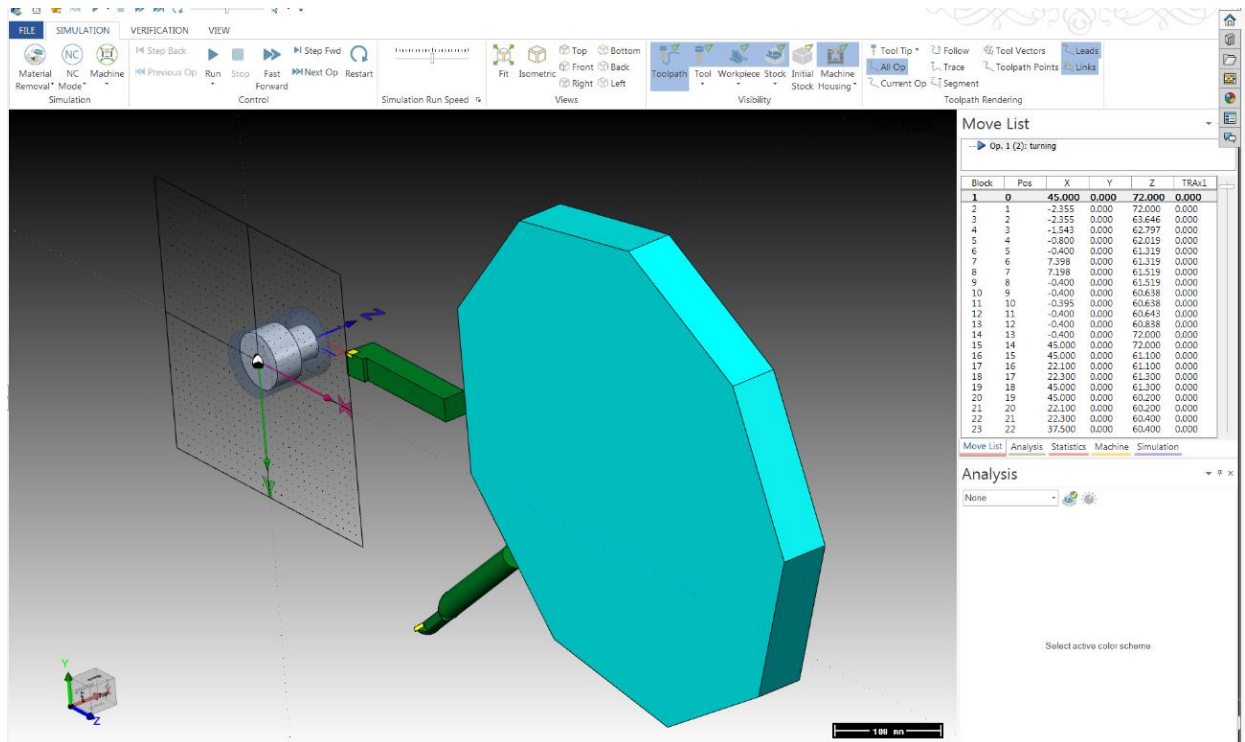


Рис. 3 - Результати виконання лабораторної роботи в САМ системі SolidCAM

## ВИСНОВКИ

Представлений комплекс навчальних дисциплін з напрямку CAD/CAE/CAM систем, який впроваджений в освітній процес на кафедрі технологій та автоматизації машинобудування. Комплекс наповнений сучасними матеріалами та лабораторними роботами, які можуть бути рекомендовані для впровадження в інших навчальних закладах для забезпечення якісних результатів вивчення та підготовки здобувачів, як сучасних фахівців з спеціальності «Прикладна механіка». Важливим чинником для досягнення відповідного результату – це наявність комунікації між викладачами відповідних дисциплін, регулярне підвищення кваліфікації та покращення матеріально-технічного забезпечення.

Розроблені лабораторні роботи на базі CAD системи SOLIDWORKS забезпечують послідовний розвиток умінь і навичок здобувачів для опанування основ комп'ютерного проектування. Отримані навички дозволяють виконувати моделювання деталей і складальних вузлів. При цьому здобувачі можуть покращувати практичні навички на навчально-виробничих практиках та виконуючи не складні завдання на замовлення підприємств у вільний від навчання час.

Лабораторні роботи на базі CAE системи SOLIDWORKS Simulation дозволяють здобувачам отримати практичні навички з розв'язання складних інженерних завдань. Інструменти CAE системи SOLIDWORKS Simulation забезпечують імітаційне моделювання різних процесів без виготовлення експериментальних зразків. Отримані результати зменшують час та витрату коштів для проведення проектних розрахунків та досліджень продукції, а також дозволяють більш ефективно оптимізувати конструкцію виробів.

Лабораторні роботи на базі САМ системи SolidCAM дозволяють підготувати фахівців з «Прикладної механіки» до сучасних потреб виробництва, яке широко використовує технологічне обладнання з програмним керування. Здобувачі кафедри технологій та автоматизації машинобудування виконують вибір ріжучого інструменту, визначають особливості траєкторій руху та послідовності обробки, проводять імітаційні дослідження процесу обробки виробів, що дозволяє візуально спостерігати роботу верстату

під час виготовлення виробу, виявляти помилки в побудові траєкторії руху інструменту, а також якісно оптимізувати процес обробки ще до початку його безпосереднього виконання на технологічному обладнанні. Отриманий досвід підготовлює здобувачів до реальних умов виробництва у своїй майбутній професійній діяльності.

### СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. *Стандарт вищої освіти України: перший (бакалаврський) рівень, галузь знань 13 – Механічна інженерія, спеціальність 131 – Прикладна механіка. Затверджено та введено в дію наказом Міністерства освіти і науки України від 20.06.2019 № 865.*
2. *Комп'ютерне проектування промислових виробів: конспект лекцій / Ю. В. Холодняк; ТДАТУ. Мелітополь: Люкс, 2021. 140 с.*
3. *Improvement of the Hydraulic Units Design Based on CFD Modeling /O. Petrov, L. Kozlov, D. Lozinskiy, O. Piontkevych// Advances in Design, Simulation and Manufacturing II. Lecture Notes in Mechanical Engineering. DSMIE 2019. LNME. Springer, Cham. 2020. P. 653-660. doi: 10.1007/978-3-030-22365-6\_65*
4. *SolidWorks 2022 Step-By-Step Guide: Part, Assembly, Drawings, Sheet Metal, & Surfacing, 5th Edition / Amit Bhatt, Mark Wiley. India : CADFolks, 2022. 438 p.*
5. *Analysis of Machine Elements Using SolidWorks Simulation 2021 / Shahin S. Nudehi, John R. Steffen. USA : SDC Publications, 2021. 559 p.*
6. *Основи САПР / С. Ю. Сасенко, І. В. Нечипоренко – Х.: ХДУХТ, 2017. 120 с.*
7. *Петров О. В., Пionткевич О. В., Буда А. Г., Коломісць В. С. Застосування CAD/CAE-системи Solidworks у задачах аналізу міцності деталей верстатних пристосувань. Вісник машинобудування та транспорту. Вінниця: ВНТУ, 2024. Вип. 19. № 1. С. 95–102.*
8. *Комп'ютеризовані системи інженерного аналізу / уклад. : В.С.Гузенко. Краматорськ : ДДМА, 2018. 48 с.*
9. *Інформаційно-комп'ютерні технології в машинобудуванні : електронний навчальний посібник комбінованого (локального та мережного) використання [Електронний ресурс] / В. В. Савуляк, О. В. Пionткевич, Н. С. Семічаснова. Вінниця : ВНТУ, 2024. 133 с.*
10. *Автоматизоване проектування і виготовлення виробів із застосуванням CAD/CAM/CAE-систем: монографія / О. Ф. Тарасов, О. В. Алтухов, П. І. Сагайда, Л. В. Васильєва, В. Л. Аносов. – Краматорськ: ЦТРІ «Друкарський дім», 2017. – 239 с*