

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
КУЛЬТУРИ І МИСТЕЦТВ

**ЦИФРОВА ПЛАТФОРМА:
ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ
В СОЦІОКУЛЬТУРНІЙ СФЕРІ**

Науковий журнал

Том 5 № 2

Засновано у 2018 році
Видається двічі на рік

КИЇВ
ВИДАВНИЧИЙ ЦЕНТР КНУКІМ
2022

УДК 004.92:004.896

DOI: 10.31866/2617-796X.5.2.2022.270135

Овчарук Ірина,*кандидат технічних наук,**доцент кафедри інформаційних технологій,**Державний університет інфраструктури та технологій,**Київ, Україна**ovch05@ukr.net**<https://orcid.org/0000-0003-4255-5816>***Овчарук Володимир,***кандидат технічних наук,**доцент кафедри інформаційних технологій, штучного інтелекту і кібербезпеки,**Національний університет харчових технологій,**Київ, Україна**ovcharuk2004@ukr.net**<https://orcid.org/0000-0002-8994-976X>*

КОМП'ЮТЕРНА ГРАФІКА. ОГЛЯД САПР-ТЕХНОЛОГІЙ

Метою статті є проведення огляду систем автоматизованого проєктування (САПР-систем), різновидів систем САПР та їх особливостей.

Методами дослідження є огляд і проведення аналізу сучасних технологій, що призначені для автоматизації робіт проєктування в різноманітних галузях, проведення аналізу переваг та недоліків наявних систем проєктування.

Новизна проведеного дослідження. Наведено різновиди систем САПР, а саме САЕ/САD/САМ-систем, які застосовують у різних галузях народного господарства; класифікацію та приклади систем за галузями застосування, а саме архітектурно-будівельні (АЕС САD), механічні (МСАD), електронні (ЕСАD), технологічні (САPР). У статті також наведено системи управління даними про виріб, системи підтримки й аналізу інженерних розрахунків і приклади таких систем.

Висновки. Викладений у статті матеріал дає змогу сформулювати уявлення про повний життєвий цикл виготовлення виробу в різних галузях промислової та аграрної діяльності від ескізного проєкту, що проєктується системою, до кінцевого етапу проєктування – керування технологічними процесами, збереження повної інформації про виріб від геометричних характеристик до аналізу й розрахунку інженерних характеристик, до яких входить, наприклад, механіка твердого тіла, і розв'язання різноманітних завдань у галузі фізики, а саме гідрогазодинаміки, напруги, електромагнетизму тощо. Без цих систем на сьогодні неможливо уявити якісне виробництво конструкцій, пристроїв у жодній галузі промислової та аграрної діяльності.

Ключові слова: системи автоматизованого проєктування (САПР); системи управління верстатами; системи підтримки інженерних розрахунків.

Вступ. У наш час діяльність проєктних організацій не можна уявити без комп'ютеризації, що забезпечує проєктним роботам якісно новий рівень, обґрунтоване розв'язання багатьох складних інженерних завдань, а також підвищує темпи проєктування. Така реалізація стала можливою завдяки використанню ефективних спеціалізованих програм. Діяльність зі створення програмних продуктів і технічних засобів для автоматизації проєктних робіт має загальну назву – САПР.

Результати дослідження. До систем автоматизованого проєктування (САПР) зараховують зазвичай САЕ/CAD/CAM-системи, які призначені для забезпечення спільного функціонування компонентів САПР різного призначення, тобто координації роботи САЕ/CAD/CAM-систем. Для управління проєктними даними та проєктуванням розробляють системи, що отримали назву PDM – Product Data Management (системи управління проєктними даними). Сучасні системи автоматизованого проєктування зазвичай використовують спільно із системами автоматизації інженерних розрахунків й аналізу САЕ. САЕ-системи (computer-aided engineering – підтримка інженерних розрахунків) – це великий клас систем, кожна з яких дає змогу розв'язувати певну розрахункову задачу, починаючи від розрахунків на міцність, аналізу та моделювання теплових процесів до розрахунків гідравлічних систем та ін. У САЕ-системах також використовується тривимірна модель виробу, що створюється в CAD-системі. САЕ-системи ще називають системами інженерного аналізу.

Термін «САПР» містить як CAD, так і елементи CAM (Computer-aided manufacturing), а іноді й елементи САЕ (Computer-aided engineering). Більшість термінів, що використовується в галузі автоматизації проєктування, має сталі англійські абревіатури, які останнім часом широко застосовуються в українськомовних технічних текстах, присвячених САПР.

За галузями застосування САПР традиційно розділяються на (рис. 1):

- архітектурно-будівельні (AEC CAD);
- механічні (MCAD);
- електронні (ECAD);
- технологічні (CAPP).

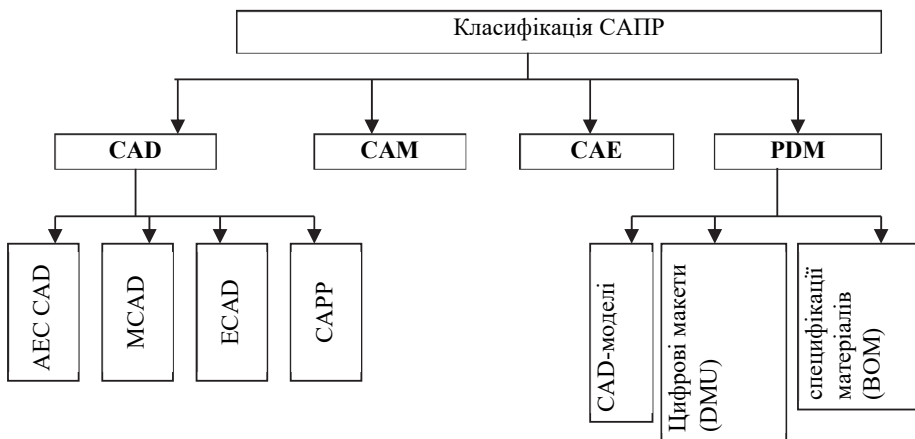


Рис. 1. Класифікація САПР

Система автоматизації проєктних робіт (САПР), або CAD (англ. Computer-Aided Design), – організаційно-технічна система, що призначена для підготовки виробництва та конструювання, управління інженерними даними, виконання проєктної діяльності із застосуванням обчислювальної техніки, а також яка дає змогу створювати конструкторську та/або технологічну документацію (CAD/CAM/CAE/PDM).

CAD-системи (computer-aided design – комп'ютерна підтримка проєктування) призначені для розв'язання конструкторських задач й оформлення конструкторської документації.

Сучасні CAD-системи містять модулі:

- створення тривимірної об'ємної конструкції (деталі);
- тривимірного параметричного моделювання поверхонь й об'ємних тіл;
- створення геометричних моделей виробу (твердотільних, тривимірних, складених);
- генерацію креслень виробу;
- оформлення креслень;
- розробку документації.

Сучасні тривимірні CAD-системи дають змогу реалізувати майже повний життєвий цикл виробів.

Серед систем, притаманних САПР, можна відзначити такі: конструкторські, технологічні, архітектурно-будівельні, проєктування тепlopостачання, електро-технічні системи автоматизації, а також модулі для створення специфікацій.

Робота із САПР полягає у створенні геометричної моделі виробу (двовимірної чи тривимірної, твердотілої), генерації на основі цієї моделі конструкторської документації (креслень виробу, специфікацій тощо) і його супровід.

Сучасні CAD-системи мають різну спеціалізацію. За галузевим призначенням виділяють такі види САПР: АЕС CAD, МСAD, ЕСAD (Electronic CAD) або ЕDA.

Architecture Engineering and Construction CAD – САПР для архітектури та будівництва. Застосовуються для проєктування не самих виробів, а засобів їх виробництва, включаючи цілі виробничі цехи або промислові зони. Крім цього, архітектурно-будівельні САПР використовуються також для проєктування будівель, промислових об'єктів, доріг, мостів, дизайну інтер'єрів. Сучасні системи мають в основі ВІМ-технологію.

Технологія ВІМ (Building Information Model або Modeling) – принципово новий підхід в архітектурно-будівельному проєктуванні (ВІМ-технології, б.р.), що полягає у створенні комп'ютерної моделі нової будівлі, яка охоплює всі відомості про майбутній об'єкт – Building Information Model (ВІМ). Поняття інформаційного моделювання будівлі як засобу її параметризації вперше запропонував професор Технологічного інституту Джорджії Чак Істман (Chuck Eastman) в 1975. Термін ВІМ (Building Information Modeling) уперше з'явився в 1992 р. у роботі Г. А. ван Недервіна та Ф. П. Толмана.

Нижче наведено найпоширеніші системи САПР архітектурно-будівельного призначення (Архітектурні та будівельні САПР, б.р.).

AutoCAD – найбільш поширений програмний пакет. Але цей пакет можна застосовувати лише під час розробки невеликих і простих проєктів, оскільки він

автоматизує лише рутинну роботу. У зв'язку з цим фірма Autodesk продовжила розвиток лінійки продуктів, випустивши нову програму для архітектурно-будівельного проектування – Autodesk Architectural Desktop.

Autodesk Architectural Desktop – застосунок, орієнтований на професійних архітекторів і фахівців у галузі промислового й цивільного будівництва (рис. 2). Охоплює всі можливості AutoCAD і має особливі функції підтримки всіх стадій проектування. За допомогою інструментів Architectural Desktop проектувальник послідовно проходить основні етапи проектування, використовуючи дані, що закладені на кожній з попередніх стадій. У систему включений редактор VIZ Render, який розроблений на основі Autodesk VIZ і дає змогу працювати з бібліотекою матеріалів, освітленням та сценами. Це дає змогу готувати реалістичну тривимірну модель для повноцінного візуального представлення проекту.



Рис. 2 Autodesk Architectural Desktop

Інструмент створення специфікацій Autodesk Architectural Desktop забезпечує можливість відстеження будь-яких об'єктів у кресленні. Дані в специфікаціях динамічно пов'язані з відповідними об'єктами рисунка, а тому автоматично оновлюються в разі зміни моделі, що проектується.

Autodesk Revit Structure містить спеціалізовані функції для проектування та розрахунку будівельних конструкцій (рис. 3). В основі продукту є технологія інформаційного моделювання будівель (BIM). Завдяки перевагам цієї технології Revit Structure підвищує рівень координації фахівців, допомагає випускати якіснішу документацію, скорочує кількість помилок і дає змогу налагодити більш активну взаємодію між проектувальниками конструкцій та архітекторами (Веселовська та Ходакова, 2015).

Autodesk Building Systems – призначена для проектування внутрішніх інженерних мереж. Система стала подальшим розвитком Autodesk Architectural Desktop. Маючи всі засоби AutoCAD і Autodesk Architectural Desktop, вона є потужним інструментом, що містить модулі для проектування вентиляції й опалення, електричних мереж, водопроводу та каналізації, а також систем протипожежної безпеки.



Рис. 3. Autodesk Revit Structure

Autodesk Architectural Studio – інструмент концептуального проектування та мультимедійної обробки проектних даних, призначений для архітекторів й інших професіоналів у сфері будівництва, дизайну та архітектури.

Architectural Studio відтворює інструментарій і методи традиційної студії проектування, повторюючи в цифровому вигляді традиційну техніку креслення від руки, прийняту в художників й архітекторів, і робить їхню роботу більш продуктивною. Прямий вплив на об'єкти за допомогою унікальних інструментів дає змогу інтуїтивно відчувати поведінку об'єктів і керувати ними в реальному часі у будь-якій точці світу завдяки вебтехнологіям.

AutoCAD, Autodesk Architectural Desktop, Autodesk Building Systems і Autodesk Architectural Studio є продуктами Autodesk.

CADdy (виробник ZIEGLER-Informatics GmbH) за функціональними можливостями займає проміжне положення між системами низького та високого рівнів. Призначена для створення комплексних інтегрованих технологій від стадії проектування до стадії виробництва (рис. 4). На сьогодні до складу CADdy входить понад 80 модулів, що охоплюють такі напрями, як архітектура, будівництво, геодезія, машинобудування, картографія та міське планування.

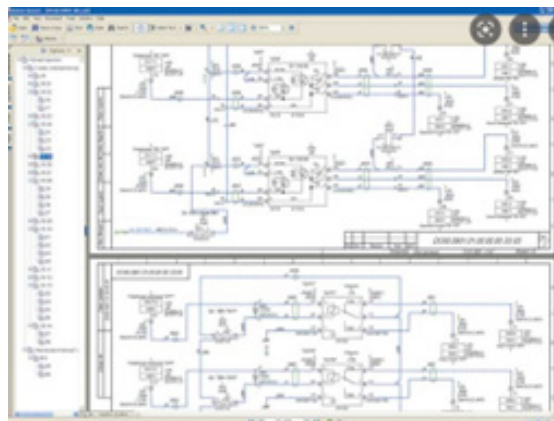


Рис. 4. Розробка проекту в CADdy

Система CATIA (Computer Aided Three-dimensional Interactive Application) – одна з найпоширеніших САПР високого рівня. Ця система є комплексною та містить підсистеми автоматизованого проектування, технологічної підготовки виробництва й інженерного аналізу. Система охоплює інструментарій 3D-моделювання, засоби аналізу та єдину базу даних текстової й графічної інформації.

Програма Allplan німецької фірми Nemetschek – це програмне рішення для всіх фаз життєвого циклу будівельного проекту. Allplan, заснована на об'єктно-орієнтованій базі простих 3D-об'єктів, створює та підтримує взаємозв'язок між 2D- і 3D-кресленнями, розрізами, проєкціями тощо.

APM Civil Engineering – CAD/CAE-система автоматизованого проектування будівельних об'єктів цивільного та промислового призначення. Ця система в повному обсязі враховує вимоги державних стандартів і будівельних норм та правил, що стосуються як оформлення конструкторської документації, так і розрахункових алгоритмів.

Bentley STAAD.Pro – це програмний комплекс, що легко інтегрується в будь-які САПР. Використовується для аналізу та проектування будівельних конструкцій методом кінцевих елементів. STAAD.Pro містить сучасний інтерфейс користувача, засоби аналізу та візуалізації, а також засоби адаптації результатів до вимог міжнародних норм проектування об'єктів цивільного та промислового призначення. У STAAD.Pro реалізовано можливість аналізу будь-якої споруди. Програмний комплекс може застосовуватися для проектування висотних і невисотних будівель та споруд, підземних водопроводів, нафтохімічних і нафтопереробних заводів, тунелів, мостів, фундаментів з металевих конструкцій, бетону та залізобетону, дерева, сталевих профілів і багато іншого. Vocad-3D – потужна просторова CAD-система проектування сталевих і дерев'яних конструкцій. Відбувається постійний процес удосконалення системи відповідно до побажань конструкторів.

Докладніше приклади САПР будівельного призначення описано в праці «Комп'ютерна графіка» Г. Веселовської та В. Ходакової (2015).

MCAD (Mechanical CAD) – автоматизація механічного проектування.

Типова функціональність механічних САПР містить розробку деталей і складників. Системи такого класу містять модулі параметричного й об'ємного моделювання. Галузі застосування механічних САПР: автомобільна промисловість, авіакосмічна промисловість, виробництво товарів народного споживання, машинобудування, суднобудування. Тривимірні моделі та їх двовимірні креслення, розроблені за допомогою САПР, використовуються потім у системах технологічної підготовки виробництва (CAPP), швидкого прототипування (Rapid Prototyping), візуалізації, у програмуванні верстатів з ЧПК (CAM і CNC). Нижче наведено приклади САПР, які застосовують у машинобудуванні (САПР у машинобудуванні, 2014).

САПР Unigraphics – інтегрована система, призначена для проектування поверхонь і твердих тіл. Містить чотири підсистеми: проектування, підсистему інженерних розрахунків, підсистему комп'ютерної підтримки виготовлення та збереження інженерних і проектних даних. Система містить механізми обміну інформацією з іншими системами. А також дає змогу розроблювати віртуальне проектування виробів і керувати проектами для всіх галузей промисловості.

Система Euclid – інтегроване середовище, яке охоплює всі етапи проектування, а також модулі: засоби для створення траєкторії інструмента для всіх видів механічної обробки; систему, яка забезпечує тривимірну технологію моделювання; систему для попередніх розрахунків; систему, що організовує та зберігає у сховищі всі інженерні й проєктні дані.

STRIM – система, що використовується в промисловому дизайні.

PRO/ENGINEER – призначена для проектування складних виробів у різних галузях промисловості.

SOLID EDGE – принципово нова система автоматизованого проектування, пов'язана з геометричним моделюванням. Зазвичай використовують під час проектування машин.

CIMATRON – інтегральна система, що надає повний набір засобів для конструювання виробів, інженерного аналізу та розробки керівних програм для верстатів із ЧПК.

ECAD (Electronic CAD), або EDA (Electronic Design Automation), – САПР електронних приладів і пристроїв, засобів радіоелектроніки, друкованих плат тощо. Термін EDA (системи автоматизованого конструювання і виробництва) використовують у сфері електроніки. В електроніці найбільш наукомісткими процедурами, насиченими складним математичним забезпеченням, є процедури проектування НВІС (надвелика інтегральна схема, англ. VLSI). Проектування НВІС багаторівневе, кожен рівень характеризується власним математичним забезпеченням (МЗ). Можна виділити такі рівні проектування НВІС: системний; функціонально-логічний; схемотехнічний; конструкторський. Сучасні САПР НВІС складаються з великого числа програм, які розрізняються орієнтацією на різні проєктні процедури й типи схем. Найбільш відомими розробниками *інтегрованих* САПР для НВІС є фірми Synopsys, Cadence Design Systems, Mentor Graphics. Компанія Synopsys відома програмами, орієнтованими на синтез цифрових та аналогових схем, і так званими «*системами на кристалі*» (реалізація на одному кристалі всіх функцій пристрою як аналогових, так і цифрових; наприклад, портативний комп'ютер або *система збору даних*). Фірма Mentor Graphics пропонує продукти для розробки інтегральних схем (IC), спеціалізованих IC, *сигнальних процесорів* (DSP – Digital Signal Processing), друкованих плат і багатокристалльних модулів, механічних вузлів. Коло інтересів компанії Cadence Design Systems – проектування друкованих плат. Найбільш відомі продукти австралійської фірми Altium – система наскрізного проектування Protel DXP і система проектування друкованих плат P-CAD (Огляд сучасних САПР електроніки та машинобудування, б.р.). А саме: Protel DXP – пакет Protel забезпечує наскрізний цикл проектування змішаних аналого-цифрових друкованих плат з використанням програмованої логіки фірм Altera і Xilinx; Altium Designer – комплексна система автоматизованого проектування (САПР) радіоелектронних засобів, розроблена австралійською компанією Altium Limited. Використовується для створення друкованих плат у 3D-просторі; OrCAD – система автоматизації проектування електронних засобів, що використовується для виробництва електронних схем і їх моделювання. Продукти серії OrCAD належать компанії Cadence Design Systems. Остання версія OrCAD може створювати та підтримувати бази даних доступних інтегральних схем. База

даних може бути оновлена через завантаження пакетів виробників компонентів, таких як Texas Instruments.

CAPP (Computer-Aided Process Planning) – автоматизована технологічна підготовка виробництва (планування технологічних процесів). Завдання технологічної підготовки – за заданою CAD-моделлю виробу скласти план його виробництва, званий операційною або маршрутною картою. Такий план містить вказівки про послідовність технологічних операцій, про верстати й інструменти, що використовуються, тощо. Технологічна підготовка виробництва завжди здійснюється по наявній базі даних типових техпроцесів, що є на виробництві. Є два підходи до технологічної підготовки – модифікований (варіантний) і генеративний. За модифікованого підходу завдання CAPP-системи полягає в пошуку найбільш схожого виробу. Можна сказати, що CAPP – це засоби автоматизації планування технологічних процесів, що використовуються на стикі систем CAD та CAM. Наведемо приклади систем (Горобець, 2006).

Tecnomatix – пакет рішень для тривимірного моделювання (рис. 5), аналізу й автоматизованої підготовки виробництва від компанії Siemens PLM Software. Система забезпечує прогнозованість результатів техпроцесів, дає змогу визначити оптимальні способи виробництва, урахувати технологічні особливості ще на етапі проектування виробів, моделювати реальні технологічні процеси у віртуальному середовищі. Лінійка продуктів Tecnomatix забезпечує розв'язання різних виробничих завдань, включаючи імітаційне моделювання, оптимізацію систем і бізнес-процесів (Plant Simulation); виробництво деталей (Tecnomatix Part Manufacturing); планування та перевірку складання; моделювання роботизованих техпроцесів та офлайн-програмування промислових роботів; проектування та оптимізацію підприємства; управління якістю та геометричною точністю (Tecnomatix Quality Management); управління виробничим процесом (Tecnomatix Manufacturing Process Management); відповідність вимогам ергономіки (Tecnomatix Human Performance). Tecnomatix надає спеціалізовані рішення для автомобілебудування, авіаційно-космічної й оборонної промисловості, машинобудування, високих технологій та електроніки.

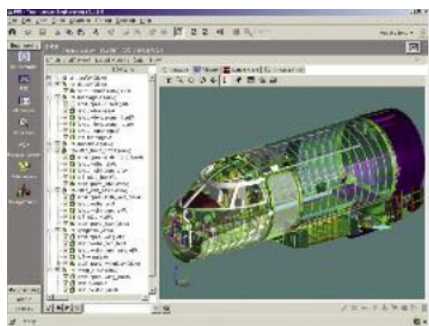


Рис. 5. Tecnomatix

Vertical – система автоматизованого проектування технологічних процесів від Ascon, яка розв'язує більшість завдань у межах технологічної підготовки виробництва та дає змогу спростити формування та супровід техпроцесів, підви-

щити якість технологічної документації та досягти оптимальних показників використання наявних ресурсів підприємства. Можливості системи: проектування технологічних процесів; формування замовлень на проектування та створення керівних програм для обладнання з ЧПК; формування технологічної документації відповідно до вимог і стандартів, що використовуються на підприємстві; підтримка єдиного інформаційного простору для керування життєвим циклом виробу; технологічні розрахунки здійснюються за допомогою розрахункових застосунків, що поставляються окремо.

ADEM CAPP – модуль проектування технологічних процесів (ТП) ADEM CAPP від ADEM дає змогу з різним ступенем автоматизації проектувати одиничні, групові й типові технологічні процеси, а також відомості деталей до них за багатьма напрямками, такими як механообробка, гальваніка, зварювання, складання, термообробка тощо. Для користувача в ADEM CAPP розроблено зручний інтерфейс користувача. До систем автоматизованого проектування можна також зарахувати: представлення проектного маршруту у вигляді дерева й у вигляді форматowanego тексту; форму та вид діалогів щодо введення параметрів; послуги, що забезпечують належний функціонал системи; автоматизацію рутинних розрахунків та ін. З кожним об'єктом технологічного процесу може бути пов'язаний ескіз. Створення ескізів здійснюється у модулі ADEM CAD. Автоматичне формування елементів ТП з урахуванням геометричної інформації дає змогу значно прискорити проектування ТП. Цей сервіс не тільки допомагає створити елементи маршруту, а й дає змогу підібрати обладнання, різальний інструмент, засоби вимірювання, розрахувати режими різання та норми часу. Є послуги з підбору засобів вимірювання, автоматичного формування картки контролю, розкрою листового матеріалу, обробки канавок та ін.

CAM-системи (computer-aided manufacturing – комп'ютерна підтримка виготовлення), призначені для проектування обробки виробів на верстатах (створення програм для управління верстатами – фрезерних, свердлильних, ерозійних, пробивних, токарних, шліфувальних й ін.) з числовим програмним керуванням (ЧПК), забезпечують автоматизацію програмування та керування обладнанням з ЧПК (Березовський, Потієнко та Завадський, 2009).

Вхідними даними CAM-системи є геометрична модель виробу, розроблена в системі автоматизованого проектування CAD. У процесі інтерактивної роботи з тривимірною моделлю в CAM-системі інженер визначає траєкторії руху різального інструмента по заготівці виробу (так звані CL-дані, від cutter location – положення різця), які потім автоматично верифікуються, візуалізуються (для візуальної перевірки коректності) й обробляються постпроцесором для отримання програми управління (G-коду) конкретним верстатом. CAM-системи ще називають системами технологічної підготовки виробництва. З моменту появи перших верстатів з ЧПК до впровадження нових обробних центрів з'явилися різні мови програмування обробки. Сьогодні програмування в G- і M-кодах є найбільш популярним, яке прийнято за стандарт. Мова G- та M-кодів ґрунтується на положеннях Міжнародної організації зі стандартизації (ISO) та Асоціації електронної промисловості (EIA) (Найкраще програмне забезпечення, 2022).

До CAD/CAM-систем зараховують, наприклад, програмні продукти компанії Vero Software та WorkNC, а також систему обліку та планування виробництва Javelin і програму для перегляду й редагування 3D-об'єктів WorkXplore. У CAM-системах використовується тривимірна модель деталі, створена в CAD-системі (Найкраще програмне забезпечення, 2022).

AlphaCAM застосовується для обробки у сфері виробництва виробів з дерева, каменю, пластику, металу та скла. Alphacam здійснює розробку керівних програм для широкого діапазону деталей (від простих деталей і до складних компонентів меблів, що вимагають 5-координатну обробку). Alphacam має графічне середовище для проектування деталей і моделювання технології обробки на верстатах з ЧПК.

Machining Strategist Designer – це потужний 3D CAM-продукт, який генерує оптимальні чорнові та чистові траєкторії з ЧПК зі складних форм, що створюються всіма основними системами 3D-моделювання.

SURFCAM TRADITIONAL – це система технологічної підготовки виробництва, розробка фірми SURFCAM. Заснована на багаторічному досвіді у виробництві оснащення для точного лиття в аерокосмічній і медичній промисловості. Систему використовують у промисловому дизайні, макетуванні, проектуванні й підготовці керівних програм 2-, 3-, 4-, та 5-координатної фрезерної (X, Y, Z і 2 кути нахилу осі інструмента), токарної, електроерозійної, лазерної, плазмової та водорізної обробки на верстатах з ЧПК (рис. 6).

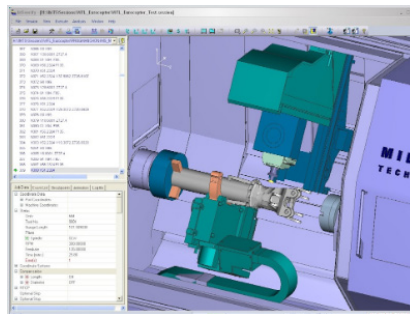


Рис. 6. Surfcam Traditional

CAE-системи (computer-aided engineering – підтримка інженерних розрахунків) призначені для проведення інженерного аналізу характеристик складників, що виконувалися в системах автоматизованого проектування. У CAE-системах також використовується тривимірна модель виробу, створена в CAD-системі. CAE-системи ще називають системами інженерного аналізу. Поява можливості створювати твердотільну модель вимагає детального її опису, прогнозування експлуатаційних навантажень, включаючи вплив температури, опір середовища. Такі системи дають змогу за допомогою розрахункових методів моделювати «поведінку» промислових виробів у реальних умовах експлуатації. Програми автоматизованого конструювання дають змогу здійснювати динамічне моделюван-

ня, перевірку й оптимізацію виробів і засобів їх виробництва. Традиційна сфера аналізу охоплює аналіз напруги деталей і складників методом кінцевих елементів, аналіз теплових і рідинних потоків методами обчислювальної гідродинаміки, аналіз кінематики, моделювання динамічних механічних взаємодій, моделювання виробничих операцій (лиття, пресування тощо).

Традиційно виділяють три етапи проведення будь-якого виду аналізу в системах CAE:

1) попередня обробка даних – побудова за геометричною моделлю виробу (CAD-даними), що досліджується (наприклад, сітки кінцевих елементів, точок прикладання сил і їх векторів);

2) аналіз моделі за допомогою спеціалізованого вирішувача;

3) завершальна обробка результатів (візуалізація результатів розрахунків математичної моделі).

Представниками систем повнофункціонального інженерного аналізу є ANSYS/Multiphysics, A1*NASTRAN і MSC.NASTRAN.

Лінійка продуктів ANSYS призначена для розв’язання задач механіки твердого тіла, що деформується, або отримання пов’язаного розв’язання задачі механіки з рішенням завдань інших галузей фізики (наприклад, гідрогазодинаміки, теплоперенесення або електромагнетизму). ANSYS Mechanical містить повний набір лінійних і нелінійних елементів, базу матеріалів та набір методів розв’язання. Це дає змогу легко вирішувати найскладніші та найкомплексніші завдання (рис. 7), якщо навіть вони охоплюють нелінійний контакт (Романюк, 2001).

Multiphysics – програма для мультифізичного моделювання. До складу COMSOL Multiphysics® входить середовище розробки моделей (англ. Model Builder), яке дає змогу пройти всі етапи (від побудови геометричної моделі до візуалізації результатів моделювання).

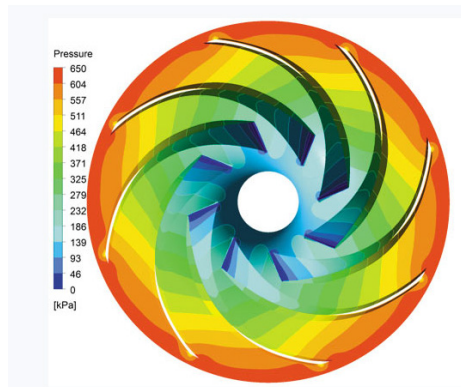


Рис. 7. ANSYS Mechanical. Розподіл тиску на колесі насоса

Платформа COMSOL Multiphysics® містить великий набір базових фізичних інтерфейсів (наприклад, інтерфейси для опису механіки твердих тіл, акустики, гідродинаміки, теплопередачі, перенесення хімічних речовин й електродинамі-

ки, а також аналіз деформації в'язкопружних матеріалів). Фізичні інтерфейси – це спеціалізовані інтерфейси для окремої інженерної або дослідницької галузі. Вони дають змогу досконало керувати моделюванням досліджуваного фізичного явища або явищ (від завдання вихідних параметрів моделі та дискретизації до аналізу результатів). На рис. 8 показано моделювання рівня звукового тиску розсіяного поля для частоти 1.5 кГц на відстані 100 метрів від підводного човна (Ванін, Перевертун та Надкернична, 2006).

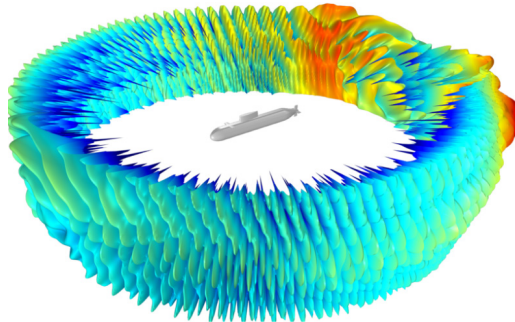


Рис. 8. Рівень звукового тиску розсіяного поля

PDM (product data management) – управління даними про виріб. Призначена безпосередньо для розв’язання завдань, пов’язаних з розробкою конкретного проекту, вузла, агрегату. Категорія програмного забезпечення, що дає змогу зберігати дані про виріб у базах даних. До даних про виріб зараховують інженерні дані, такі як:

- CAD-моделі та креслення;
- цифрові макети (DMU);
- специфікації матеріалів (BOM);
- метадані, що містять інформацію про розробника файлу й поточний статус відповідної компоненти.

Система PDM дає змогу:

- організувати сумісний доступ до цих даних, забезпечуючи їх постійну цілісність, керування зберіганням даних і документів;
- організувати керування процесами;
- організувати керування структурою виробу;
- організувати класифікацію;
- організувати календарне планування;
- забезпечувати внесення необхідних змін до всіх версій виробу;
- модифікувати специфікацію матеріалів;
- допомагати конфігурувати варіанти виробу, допоміжні функції.

Проте найважливішою перевагою системи PDM є її використання впродовж всього життєвого циклу виробу в межах концепції управління цим циклом. Більшість PDM-систем дає змогу одночасно працювати з інженерними даними, отриманими від різних CAD-систем.

Висновки. У статті розглянуто призначення та деякі основні функції систем, що використовуються для автоматизації проектних робіт, інженерного аналізу, управління технологічними процесами виготовлення виробів, управління верстатами тощо. Усі ці системи відповідають вимогам щодо підвищення ефективності виробництва та виводять увесь комплекс робіт на високий якісний рівень у всіх галузях, де вони застосовуються.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

- Березовський, В.С., Потієнко, В.О. та Завадський, І.О., 2009. *Основи комп'ютерної графіки*. Київ: BHV.
- Ванін, В.В., Перевертун, В.В. та Надкернична, Т.М., 2006. *Комп'ютерна інженерна графіка в середовищі AutoCAD*. Київ: Каравела.
- Веселовська, Г.В. та Ходакова, В.Є., 2015. *Комп'ютерна графіка*. Київ: Кондор.
- Горобець, С.М., 2006. *Основи комп'ютерної графіки*. Київ: Центр навчальної літератури.
- Найкраще програмне забезпечення для ЧПУ 2022 (деякі з них безкоштовні), 2022. *RAPTOR CNC*, [online] 01 серпня. Доступно: <<https://raptorcnc.com.ua/ua/a476424-luchsheeprogrammное-obespechenie.html>> [Дата звернення 10 жовтня 2022].
- Огляд сучасних САПР електроніки та машинобудування, EDA, CAD, CAM системи, б.р. *Um.co.ua*. [online] Доступно: <<http://um.co.ua/9/9-9/9-9401.html>> [Дата звернення 10 жовтня 2022].
- Романюк, О.Н., 2001. *Комп'ютерна графіка*. Вінниця: Вінницький державний технічний університет.
- Архітектурні та будівельні САПР, б.р. *САПР в будівництві*. [online] Доступно: <<https://elearn.nubip.edu.ua/mod/book/view.php?id=332249&chapterid=115157>> [Дата звернення 10 жовтня 2022].
- САПР у машинобудуванні, 2014. *Studopedia*, [online] 01 травня. Доступно: <https://studopedia.su/6_31310_sapr-u-mashinobuduvanni.html> [Дата звернення 10 жовтня 2022].
- ВІМ-технології: поняття, історія розвитку, перспективи, б.р. *Навчально-інформаційний портал НУБіП України*. [online] Доступно: <<https://elearn.nubip.edu.ua/mod/book/tool/print/index.php?id=333304>> [Дата звернення 10 жовтня 2022].

REFERENCES

- Berezovskyi, V.C., Potienko, V.O. and Zavadskiy, I.O., 2009. *Osnovy kompiuternoї hrafiky* [Basics of computer graphics]. Kyiv: BHV.
- Vanin, V.V., Perevertun, V.V. and Nadkernychna, T.M., 2006. *Kompiuterna inzhenerna hrafika v seredovyshchi AutoCAD* [Computer engineering graphics in the AutoCAD environment]. Kyiv: Karavela.
- Veselovska, H.V. and Khodakova, V.Ie., 2015. *Kompiuterna hrafika* [Computer graphics]. Kyiv: Kondor.

- Horobets, S.M., 2006. *Osnovy kompiuternoї hrafiky* [Basics of computer graphics]. Kyiv: Tsentr navchalnoi literatury.
- Naikrashche prohramne zabezpechennia dlia ChPU 2022 (deiaki z nykh bezkoshtovni) [Best CNC software 2022 (some of them free)], 2022. *RAPTOR CNC*, [online] 01 August. Available at: <<https://raptorcnc.com.ua/ua/a476424-luchshee-programmnoe-obespechenie.html>> [Accessed 10 October 2022].
- Ohliad suchasnykh SAPR elektroniky ta mashynobuduvannia, EDA, CAD, CAM systemy [Review of modern electronic and mechanical engineering CAD, EDA, CAD, CAM systems], n.d. *Um.co.ua*. [online] Available at: <<http://um.co.ua/9/9-9/9-9401.html>> [Accessed 10 October 2022].
- Romaniuk, O.N., 2001. *Kompiuterna hrafika* [Computer graphics]. Vinnytsia: Vinnytskyi derzhavnyi tekhnichnyi universytet.
- Arkhitekturni ta budivelni SAPR [Architectural and construction CAD], n.d. *SAPR v budivnytstvi*. [online] Available at: <<https://elearn.nubip.edu.ua/mod/book/view.php?id=332249&chapterid=115157>> [Accessed 10 October 2022].
- SAPR u mashynobuduvanni [CAD in mechanical engineering], 2014. *Studopedia*, [online] 01 May. Available at: <https://studopedia.su/6_31310_sapr-u-mashinobuduvanni.html> [Accessed 10 October 2022].
- BIM-tekhnologii: poniattia, istoriia rozvytku, perspektyvy [BIM technologies: concept, history of development, prospects], n.d. *Navchalno-informatsiinyi portal NUBiP Ukrainy*. [online] Available at: <<https://elearn.nubip.edu.ua/mod/book/tool/print/index.php?id=333304>> [Accessed 10 October 2022].