

Бідніченко Олена ГаликівнаКандидат технічних наук, доцент, професор НУК, orcid.org/0000-0002-0548-3481

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Миколаїв

**СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ СИСТЕМ
АВТОМАТИЗОВАНОГО КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ**

***Анотація.** Робота присвячена дослідженню особливостей систем комп'ютерного моделювання, їх аналізу та розвитку. Подано класифікацію систем моделювання, проаналізовано зміст і можливості наявних систем. Особливу увагу приділено поділу всіх систем на групи за логікою побудови і функціональних можливостей. Відзначено переваги і недоліки систем кожної групи. Системи базового (легкого) рівня, які працюють у векторному просторі, мають закрити математичну модель. Підкреслено, що процес моделювання залежить від міркувань проєктувальника і зводиться до ітераційного процесу створення кресленника. Наведено особливості систем і подано варіанти 2D-й 3D-моделей реальних технічних вузлів та механізмів у системах AutoCAD і Компас-графік. Розглянуто системи середньої групи, які створені для 3D-моделювання виробів та виконання розрахунків. Працюючи в таких програмах, розробник використовує електронні копії реальних моделей, що дає змогу задіяти для моделювання логіку складальних об'єктів. Найбільш комплексними є системи вищого рівня, які використовуються для складних виробів, що включають елементи складної форми та цільної компоновки великої кількості складальних одиниць. У дослідженні відзначено такі програмні комплекси: Unigraphics (NX), ProEngineer, Catia, Creo. Складні системи мають відкриту математичну модель побудови і дають можливість наскрізного аналізу моделі за визначеними параметрами. У роботі звернено увагу також на інший підхід до моделювання. Так звані PLM та BIM технології суттєво полегшують процес моделювання об'єктів, використовуючи систему добре організованих комп'ютерних моделей замість окремого набору кресленників. Відзначено швидкий розвиток хмарних САПР, які працюють у віртуальному обчислювальному середовищі. Із зробленого аналізу наведено перспективи подальшого якісного розвитку автоматизованих систем шляхом паралельного розвитку парку обладнання разом із технологією моделювання.*

Ключові слова: система автоматизованого проєктування; геометричне моделювання; математична модель; 3D-модель; комплексні системи

Постановка проблеми

Різноманіття відомих сучасних систем автоматизованого проєктування (САПР) приводить до необхідності аналізу їх можливостей, усвідомлення логіки їх функціонування та з'ясування можливих перспектив розвитку.

Аналіз останніх досліджень

Технології, основним компонентом яких є комп'ютер, проникли практично в усі сфери людської діяльності. Зараз вже неможливо уявити собі сучасне промислове підприємство або конструкторське бюро без комп'ютерів і спеціальних програм, які застосовуються для розроблення конструкторської документації або проєктування різних виробів. Тому в курси технічних навчальних закладів включено обов'язкове вивчення деяких графічних систем [1; 2]. Враховуючи множинну

функцій, які може мати програмне забезпечення автоматизованих графічних систем, їх можна поділити за різним рівнем знань: початковий, середній та професійний [3]. Багато робіт присвячено опису автоматизованих систем для різних галузей виробництва: машинобудування [4], електричних систем [5], архітектурно-будівельних тощо. Наведені в джерелах огляди систем комп'ютерного моделювання [3; 4; 6; 7] здебільшого перелічують можливості кожної системи окремо, проте не дають загального аналізу й поняття про логіку функціонування та можливості розвитку систем.

Мета статті

Мета – дослідити виникнення і розвиток систем автоматизованого проєктування (САПР), проаналізувати їх можливості, розглянути переваги та недоліки, визначити перспективи подальшого розвитку.

Виклад основного матеріалу

У 60-х рр. ХХ ст. почався стрімкий розвиток комп’ютерної техніки та комп’ютерних технологій, який поширився на сферу проектних робіт у різних галузях народного господарства. У зв’язку з ускладненням проектних задач з’явилась необхідність у комплексному підході до процесу проектування, що привело до необхідності створення САПР. Перші системи були схожі просто на автоматизовану роботу інженера-конструктора. Замість кульмана, паперу, рейшини та олівця використовувався екран монітора, мишка та відповідні інструменти графічної системи.

З плином часу процеси автоматизованого проектування САПР проникли у всі сфери людського життя: будівництво, машинобудування, радіоелектроніка, технологічні процеси, програмні продукти тощо. САПР розповсюдилися настільки, що вже потрібно було провести їх класифікацію. Всі системи було досліджено та поділено відповідно до ГОСТ 23501.108-85 на сім груп (рис. 1) за типом об’єкта, його складністю, рівнем автоматизації проектування, характером та кількістю документів, що випускаються, тощо.

Сучасні комплексні системи допомагають розробляти не тільки окрему частину проекту (наприклад, механічну частину), але й усі інші його складові, такі як електричні та гідравлічні розробки. Одночасно дають змогу проводити розрахунки на міцність, обчислювати теплові характеристики і параметри, оцінювати вартість виготовлення та технологічність конструкції. Крім того, САПР допомагають отримати програми для керування верстатами з ЧПК та забезпечують виконання багатьох інших функцій.

Як САПР зазвичай розуміють графічні системи, за допомогою яких здійснюється автоматизоване

моделювання, підготовка виробництва та конструювання, а також управління інженерними даними. САПР – це комплекс програм для креслення двовимірних та тривимірних об’єктів, створення конструкторської і технологічної документації. За створеною моделлю можлива регенерація креслеників виробу та їх супровід.

У результаті такого проектування створюються цифрові копії або електронні моделі виробу, які можна використовувати для повної оцінки виробів ще до початку їх виробництва, проведення віртуальних випробувань, дослідження на міцність, надійність тощо.

Всі наявні САПР можна поділити на три групи за принципами логічних ланцюгів та функціональних можливостей: легкого, середнього та вищого рівнів.

Базові або легкі системи дають змогу здійснювати процес моделювання у векторному просторі. Вони мають закрити математичну модель. Для роботи в таких програмах користувачу необхідно попередньо визначитися з розмірами об’єкта, його характеристиками та геометрією. Процес моделювання цілком залежить від міркувань проектувальника і зводиться до ітераційного процесу створення кресленика. Такий підхід викликає достатню кількість помилок і неточностей, які виправляються поступово. Для спрощення та пришвидшення процесу отримання креслеників створено достатню кількість шаблонів і бібліотек елементів для типових конструкцій.

САПР цієї групи (AutoCAD, Компасс-графік) більше пристосовані для створення двовимірних креслень і різноманітних схем (рис. 2). Їх використання широко розповсюджено для створення принципів теплових, електричних і будівельних схем і креслеників, де більшість норм і правил вже розроблено, а процес моделювання виконується за відомими вузлами, зв’язками та перерізами.

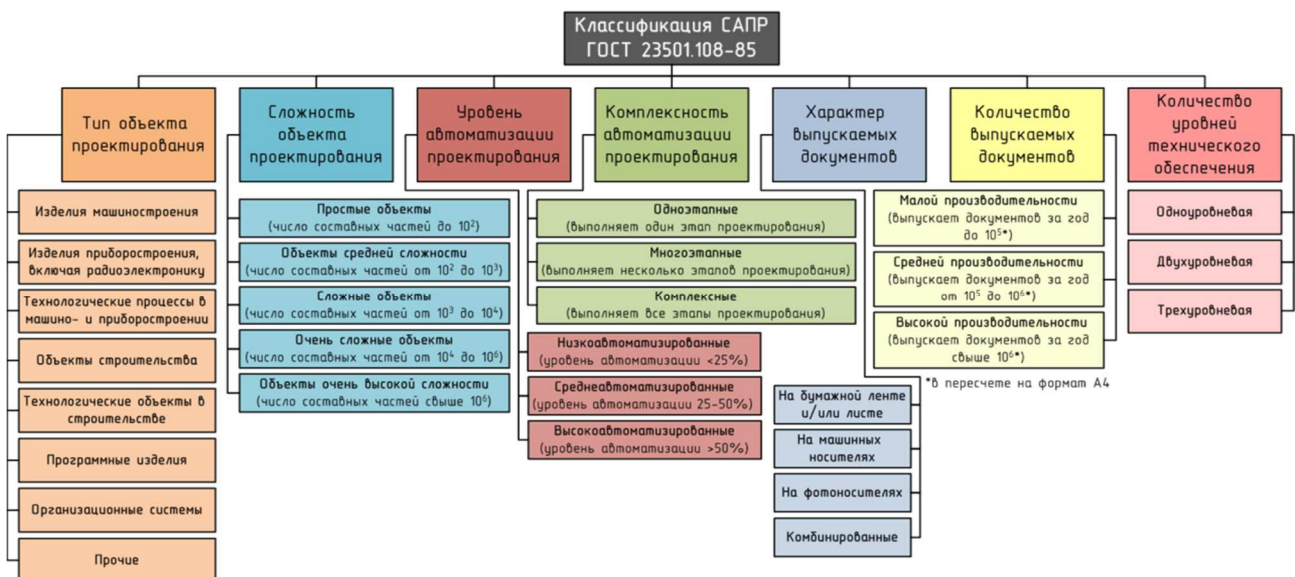


Рисунок 1 – Класифікація сучасних систем автоматизованого проектування

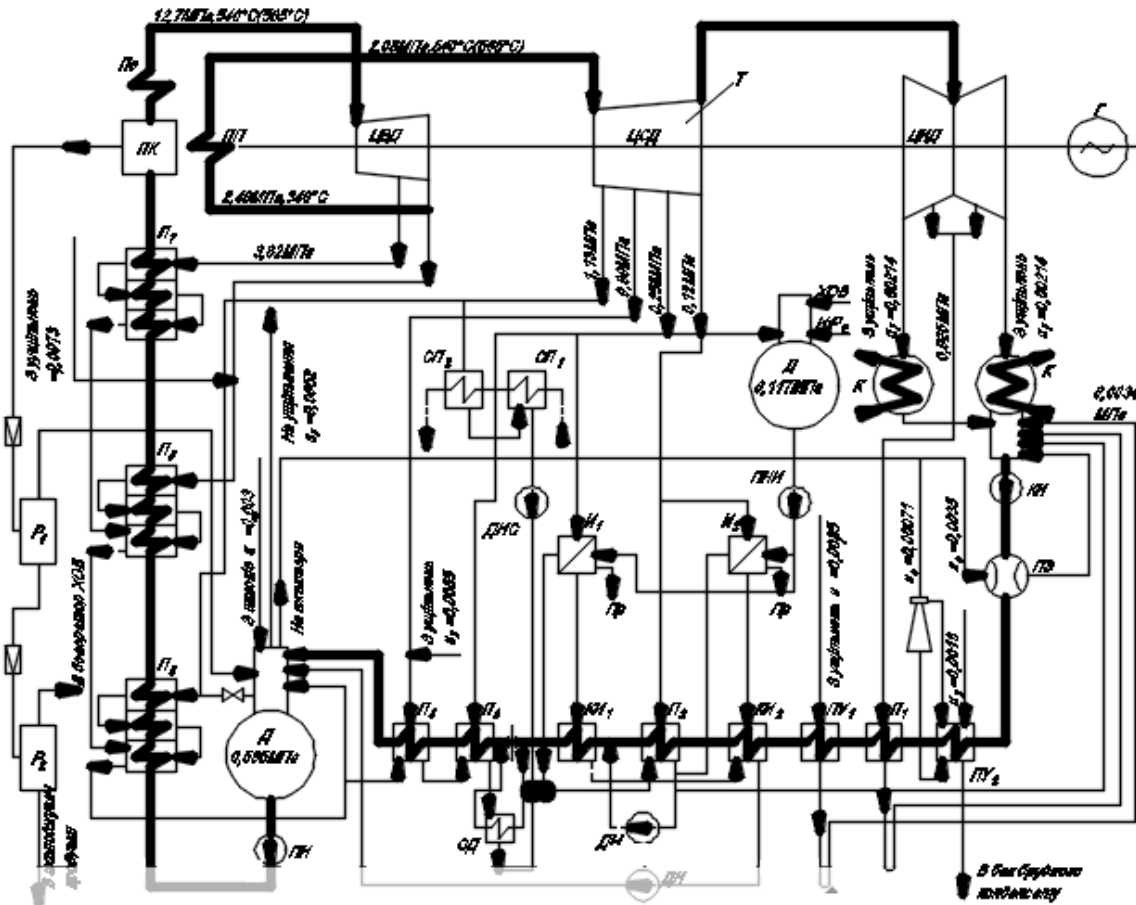


Рисунок 2 – Принципова теплова схема конденсаційного блока з турбіною К-200-130, виконана в системі AutoCAD

У процесі свого розвитку програмні продукти легкої групи суттєво змінюються і набувають можливість створювати не тільки плоскі двовимірні кресленки, а й тривимірні зображення. На рис. 3 подано об'ємні зображення технічних об'єктів, виконані в системі AutoCAD. Крім того, можливо створювати складальні креслення вузлів конструкцій (рис. 4). Новим в останніх версіях легких систем є передбачена можливість отримати кресленик із наочного зображення об'єкта (рис. 5). Такий спосіб спрощує отримання кресленика, зменшує час на його отримання, дає змогу легко виправляти помилки та суттєво пришвидшує процес геометричного моделювання.

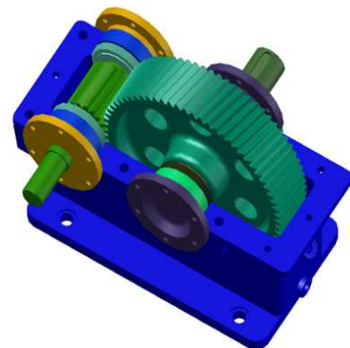


Рисунок 4 – 3D модель циліндричного одноступеневого косозубого редуктора, виконана в AutoCAD

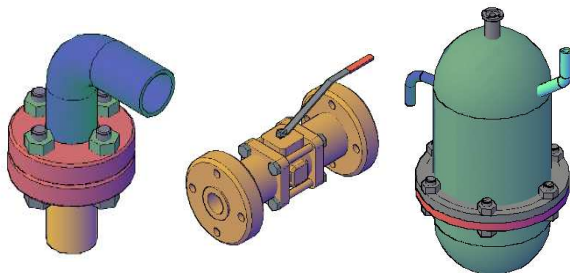


Рисунок 3 – Об'ємні зображення елементів технічних конструкцій, виконані в AutoCAD

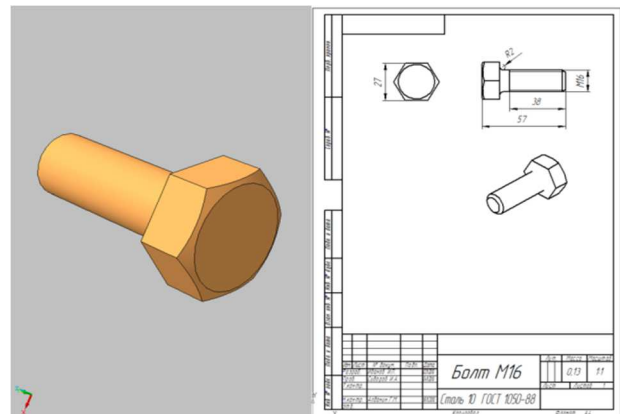


Рисунок 5 – 3D-модель болта і кресленик, виконані в "Компас"

САПР середнього рівня створені для 3D-моделювання виробів, виконання розрахунків, автоматизації проектування допоміжних систем різного призначення. Найбільш відомими є SolidWorks, SolidEdge, Autodesk Inventor, Компас-3D. Такі системи мають дерево моделі, тобто відкриту математичну модель. Це дає можливість на будь-якому етапі моделювання побачити попередні кроки виконуваних побудов. Проектант працює з так би мовити твердими тілами, звідки і термін «твердотільне моделювання». Працюючи в таких програмах розробник використовує електронні копії реальних моделей, що дає змогу задіяти для проектування логіку складальних об'єктів. Як буде здійснюватися складання на виробництві, такий шлях і має бути реалізованим у моделі (рис. 6). Такий підхід вилучає багато проблем і суттєво зменшує кількість помилок у процесі моделювання, але вимагає високої кваліфікації розробника та точних знань щодо вимог до об'єкта моделювання.

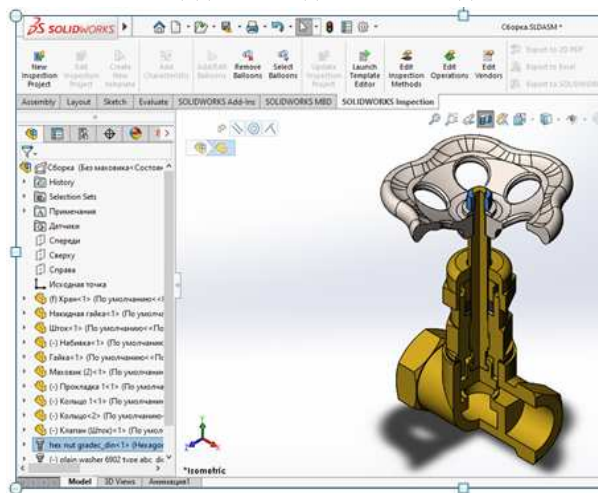


Рисунок 6 – Кресленник складальної одиниці, виконаний у системі SolidWorks

Кінцевою метою моделювання є виконання плоского кресленика, який може бути отриманим із складального кресленика вузла (рис. 7). Системи середнього рівня дають змогу отримувати зображення достатньо складних збірних моделей обладнання (рис. 8).

Системи вищого рівня використовуються для розробки складних виробів, які включають елементи складної форми та щільної компоновки великої кількості складальних частин. До цього типу продуктів належать такі програмні комплекси: Unigraphics (NX), ProEngineer, Catia, Creo. Вони використовуються для великих і складних збірних конструкцій у авіабудуванні, кораблебудуванні, атомній галузі (рис. 9). Такі системи забезпечують інтеграцію всього циклу створення виробу від проектування, підготовки виробництва та виготовлення. Функціонально такі складні САПР виконують такі самі дії, що і середні системи, але в них закладена зовсім інша архітектура та алгоритми роботи. Складні системи мають відкриту математичну модель побудов і дають можливість наскрізного аналізу моделі за визначеними критеріями: міцність, технологічність, геометричні побудови тощо.

Вони допомагають конструювати деталі з урахуванням особливостей матеріалу, проводити динамічний аналіз збірки з імітацією складальних пристроїв і інструментів.

Високий ступінь інтеграції модулів конструювання і технологічної підготовки виробництва забезпечує перетворення графічної інформації про об'єкт у табличну, яка використовується в процесі технологічного проектування.

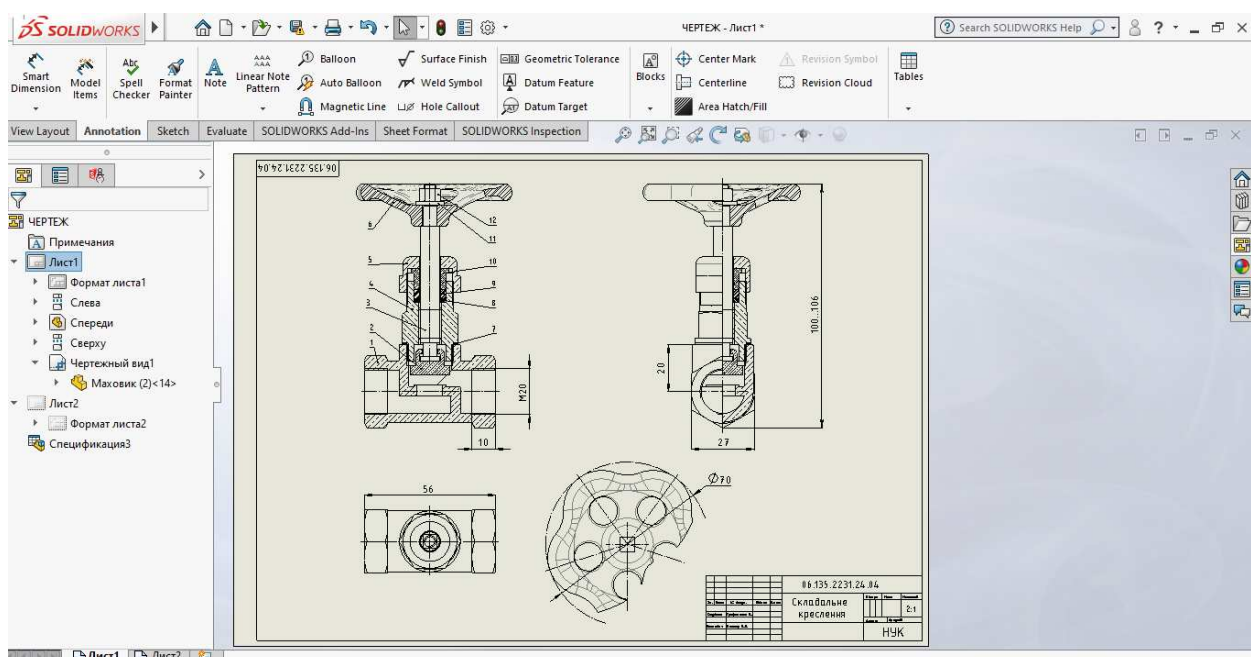


Рисунок 7 – Складальне креслення вузла

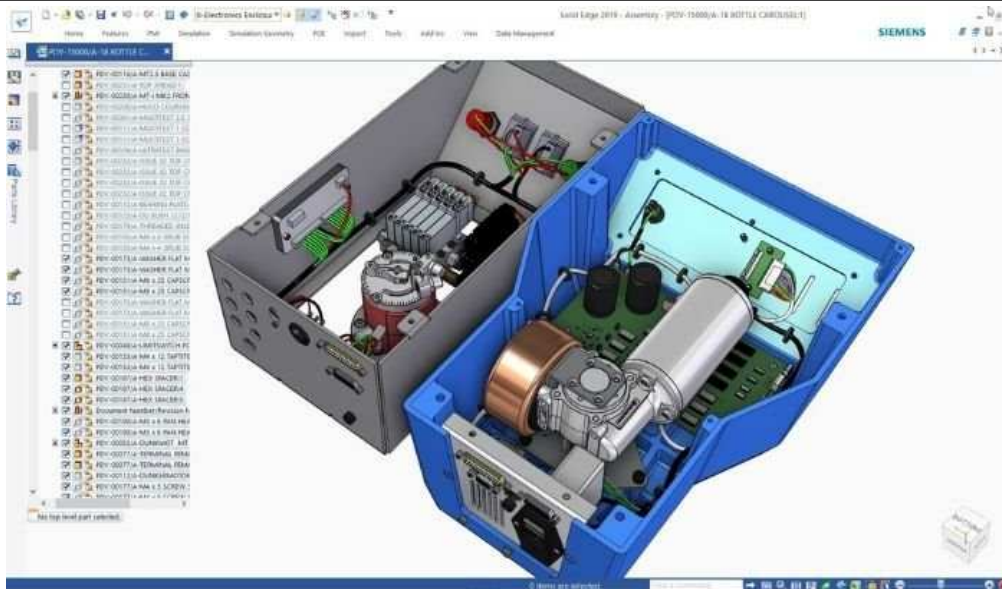


Рисунок 8 – Зображення обладнання в Solid Edge

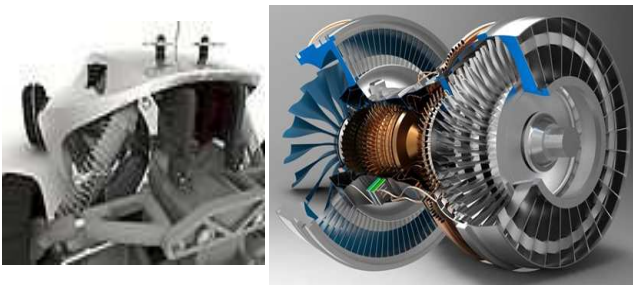


Рисунок 9 – Приклади моделювання складних об'єктів, виконані у системі Catia

Геометричні об'єкти, які мають математичний опис, апроксимуються із заданою точністю кривими і поверхнями. Складність систем полягає в необхідності проєктанту чітко визначати зв'язок геометричних об'єктів між собою. На практиці кількість зв'язків може бути значною, наприклад, для виробу із 10 складальних одиниць мінімальна кількість зв'язків – 90. Крім правильно складених зв'язків, потрібно враховувати велику кількість параметрів: міцність, технологічність, можливість експлуатації тощо. Правильно побудована модель дає змогу легко її змінювати залежно від нових вимог або обмежень. Саме такі складні системи за умови правильного моделювання допомагають максимально оптимізувати виріб за великою кількістю параметрів.

Крім вищеприписаних САПР, є ще інший підхід до моделювання. Практично всі провідні спеціалісти в галузі САПР пропонують саме комплексні системи, які допомагають розв'язувати проєктні задачі в межах одного програмного комплексу. Такі системи в галузі машинобудування називають системами управління життєвим циклом виробу (PLM – Product Lifecycle Management), в галузі будівництва і архітектури – інформаційним моделюванням будівель (BIM – Building Information Modeling) [6].

Така технологія – процес, який суттєво полегшує проєктування об'єктів, використовуючи добре організовану систему комп'ютерних моделей замість окремого набору креслеників. По сутності PLM та BIM технології – це використання структурованих бібліотек можливих рішень, які стосуються об'єктів моделювання. Кожен елемент бібліотеки має сформований набір параметрів і характеристик, а проєктант має вибрати ці параметри залежно від призначення елемента або вимог замовника. Серед таких систем можна назвати Revit, Advance steel, Tekla structures. Такі системи моделювання значно спрощують процес створення проєкту, знижують вимоги щодо кваліфікації розробника, оскільки робота зводиться до правильного визначення параметрів конструкції із бібліотек, що пропонуються. Такий підхід зручно використовувати в напрямках, які мають відносно невеликий обсяг можливих рішень, зокрема в будівництві та в машинобудівній галузі. Але такі модульні системи не мають можливості проводити аналіз на виконання вимог міцності і стійкості.

Останніми роками почали активно розвиватися хмарні САПР [6], які працюють у віртуальному обчислювальному середовищі, а ні в локальному комп'ютері. Незаперечна перевага таких систем – це можливість їх використання на слабких комп'ютерах, тому що вся робота проходить у віддаленому доступі, в «хмарі». Хмарні САПР дуже швидко розвиваються, і якщо декілька років тому їх можна було віднести до легких САПР, то зараз вони вже перейшли до категорії середніх САПР. Серед них можна зазначити системи Fusion 360 та Onshape.

САПР Fusion 360 орієнтована на розв'язання широкого кола задач, починаючи від простого моделювання і завершуючи проведенням складних

розрахунків, що дає можливість оптимізувати модель. Система має сучасний і зручний інтерфейс користувача, поєднує різні методи моделювання, сучасні інструменти роботи зі збірками, дає можливість роботи в онлайн і офлайн режимах (за наявності і відсутності постійного підключення до мережі Інтернет).

Повністю «хмарна» САПР Onshape є спрямованою на моделювання виробів машинобудівної галузі. Для цього передбачено повний набір функцій для моделювання машинобудівних деталей і конструкцій, а також контроль проєктів, що моделюються.

Здається, що сучасні технології моделювання вже є фантастичними, але ж із практики відомо, що існують довго тільки такі технології, які спроможні розвиватися. Який же розвиток може бути у САПР? Поширити межі людських можливостей сучасності спроможні математичні моделі, які допомагають будувати довгі програмні зв'язки. Практично моделювання перетворюється на програмування, тільки замість коду використовуються фізичні параметри середовища, самого об'єкта моделювання та вимог до його експлуатації. Це дає змогу проводити велику кількість ітерацій під час процесу моделювання і пошуку оптимального рішення за заданими або вибраними критеріями.

Всі проєктні рішення обмежені розвитком технологій виробництва і рівнем мислення проєктувальників. З появою 3D-друку суттєво поширились межі технологій та з'явилась можливість створювати унікальні вироби. Тобто нові якісні проєктні рішення можливі тільки у разі, коли змінюється технологія їх виробництва. Тому для подальшого якісного змінення і розвитку процесів моделювання необхідний паралельний розвиток проєктування обладнання (верстатів) та моделювання самого виробу.

У перспективі вплив людського фактору на процес моделювання зведеться до мінімуму щодо розв'язання інженерних задач, він буде більше схожим на процес програмування. Фізичні та твердотільні моделі будуть сформовані у відповідні банки даних у вигляді математичних моделей. Розробники будуть одразу ж формувати математичний комплекс рішень у межах математичного середовища проєктування. Задача для людини зведеться до найбільш точного, повного й інформативного опису технічного завдання на створення проєкту. Весь процес моделювання має виконувати програмний комплекс та видавати відповідну документацію.

Розвиток САПР має бути спрямованим на вилучення помилок людського фактору із процесу моделювання. Проте це буде не швидко. Аналізуючи наявні САПР, можна сказати, що якісні зміни спостерігаються рідко, а розвиток автоматизованих систем і їх версій стосується більше модернізації шаблонів, що вже створені, та зручності використання системи.

Висновки

1. У роботі проаналізовано системи автоматизованого моделювання базового, середнього та вищого рівнів, досліджено переваги і недоліки систем кожного з рівнів. Наведено рисунки спроектованих моделей, виконаних у системах AutoCAD, Компас-графік, SolidWorks тощо.

2. Звернено увагу на PLM та BIM технології, які суттєво полегшують процес моделювання об'єктів, використовуючи систему добре організованих комп'ютерних моделей. Відзначено швидкий розвиток «хмарних» САПР, які працюють у віртуальному обчислювальному середовищі.

3. Визначено перспективи розвитку САПР, які полягають у паралельному розвитку проєктування обладнання і моделювання самого виробу.

Список літератури

1. Большаков В. П., Бочков А. Л., Сергеев А. А. 3D-моделирование в AutoCAD, КОМПАС-3D, SolidWorks, Inventor, T-Flex: учеб. курс. СПб.: Изд-во «Питер», 2010. 336 с.
2. Борисенко В. Д., Бідніченко О. Г., Устенко І. В. Об'ємне моделювання в AutoCAD: навч. посіб. Миколаїв : ФОП Швець В. Д., 2014. 224 с.
3. The Top CAD Software for All Levels. URL: <https://www.3dnatives.com/en/top10-cad-software-180320194/>
4. Системы автоматизированного проектирования в машиностроении. Краткий обзор. URL: <https://www.i-mash.ru/materials/automation/3955-sistemy-avtomaticheskogo-proektirovaniya-v.html>
5. Computer-aided Engineering: The Future Is Now. URL: <https://www.manufacturingtomorrow.com/tag/cad>.
6. Обзор популярных систем автоматизированного проектирования (CAD). URL: <https://www.pointcad.ru/novosti/obzor-sistem-avtomatizirovannogo-proektirovaniya>.
7. Stefan Junk, Lukas Burkart. Comparison of CAD systems for generative design for use with additive Manufacturing. 31st CIRP Design Conference 2021. Procedia CIRP 100 (2021). P. 577–582.
8. Развитие САПР, до чего дойдем? Софт Искусственный интеллект 3D-принтеры Будущее здесь. URL: <https://habr.com/ru/post/410699/>
9. Системы автоматизированного проектирования и их использование. URL: <https://www.pointcad.ru/novosti/sistemyi-avtomatizirovannogo-proektirovaniya-i-ix-ispolzovanie>

Стаття надійшла до редакції 22.02.2022

Bidnichenko Olena

PhD (Eng.), Associate Professor, Professor of the Department of Structural Mechanics, [orcid.org/ 0000-0002-0548-3481](https://orcid.org/0000-0002-0548-3481)
Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv

CURRENT TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF AUTOMATED COMPUTER MODELING SYSTEMS

Abstract. This work is devoted to the study of the features of computer modeling systems, their analysis and development. The classification of modeling systems is given, the content and possibilities of existing systems are analyzed. Particular attention is paid to the division of all systems into groups according to the logic of construction and functionality. The advantages and disadvantages of the systems of each group are noted. Basic (light) level systems that work in vector space have a closed mathematical model. It is emphasized that the modeling process depends on the considerations of the designer and is reduced to the iterative process of creating a drawing. Features of systems are given and variants of 2-D and 3-D models of real technical units and mechanisms in AutoCAD and Compass-graph systems are given. The systems of the middle group, which are created for 3-D modeling of products and calculations, are considered. Working in such programs, the developer uses electronic copies of real models, which allows you to use the modeling logic of assembly objects. The most complex are the higher level systems used for complex products, which include elements of complex shape and dense layout of a large number of assembly units. The study identified software packages Unigraphics (NX), ProEngineer, Catia, Creo. Complex systems have an open mathematical model of construction and allow end-to-end analysis of the model according to certain parameters. The paper also draws attention to another approach to modeling. So-called PLM and BIM technologies greatly facilitate the process of modeling objects, using a system of well-organized computer models instead of a separate set of drawings. The rapid development of cloud CAD operating in a virtual computing environment is noted. From the made analysis the prospects of further qualitative development of automated systems by parallel development of equipment park together with modeling technology are resulted.

Keywords: computer-aided design system; geometric modeling; mathematical model; 3D model; complex systems

References

1. Bol'shakov, V. P., Bochkov, A. L. & Sergeyev, A. A. (2010). 3D modeling in AutoCAD, KOMPAS-3D, SolidWorks, Inventor, T-Flex: textbook. well. St. Petersburg: Publishing House "Peter", 336.
2. Borysenko, V. D., Bidnichenko, O. H., Ustenko, I. V. (2014). 3D modeling in AutoCAD: textbook. way. Mykolaiv FOP Shvets V. D., 224.
3. The Top CAD Software for All Levels. URL: <https://www.3dnatives.com/en/top10-cad-software-180320194/>
4. Computer-aided design systems in mechanical engineering. Short review. <https://www.i-mash.ru/materials/automation/3955-sistemy-avtomaticheskogo-proektirovaniya-v.html>.
5. Computer-aided Engineering: The Future Is Now. URL: <https://www.manufacturingtomorrow.com/tag/cad>
6. Overview of popular computer-aided design (CAD) systems. URL: <https://www.pointcad.ru/novosti/obzor-sistem-avtomatizirovannogo-proektirovaniya>.
7. Junk, Stefan, Burkart, Lukas. (2021). Comparison of CAD systems for generative design for use with additive Manufacturing. 31st CIRP Design Conference 2021. Procedia CIRP 100, P. 577–582.
8. Development of CAD, where will we get to? Soft Artificial intelligence 3D printers The future is here. URL: <https://habr.com/ru/post/410699/>
9. Computer-aided design systems and their use. URL: <https://www.pointcad.ru/novosti/sistemyi-avtomatizirovannogo-proektirovaniya-i-ix-ispolzovanie>.

Посилання на публікацію

- APA Bidnichenko, Olena. (2022). Current trends in the development of automated computer modeling systems. *Management of Development of Complex Systems*, 49, 59–65, [dx.doi.org/10.32347/2412-9933.2022.49.59-65](https://doi.org/10.32347/2412-9933.2022.49.59-65), [in Ukrainian].P
- ДСТУ Бідніченко О. Г. Сучасні тенденції розвитку систем автоматизованого комп'ютерного моделювання. *Управління розвитком складних систем*. 2022. № 49. С. 59 – 65, [dx.doi.org/10.32347/2412-9933.2022.49.59-65](https://doi.org/10.32347/2412-9933.2022.49.59-65).