УДК514.18
DOI: 10.32347/0131-579x.2025.109.18-34

канд. техн. наук, доц. **Бідніченко О.Г.**
helenbidnichenko@gmail.com, ORCID: 0000-0002-0548-3481
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова (м. Миколаїв)

СТВОРЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ТЕХНІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ В ГРАФІЧНИХ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМАХ

У даній статті розглядаються методологічні та практичні аспекти процесу створення геометричних моделей технічних об'єктів в автоматизованих графічних системах. Проаналізовано методи геометричного моделювання, які лежить в основі проектування об'єктів, його можливості та застосування в різних галузях. Показано, що геометричне моделювання є важливим елементом у процесі проектування, яке забезпечує створення точних та деталізованих цифрових моделей об'єктів. У зв'язку з цим програми автоматизованого проектування, такі як AutoCAD і SolidWorks, є головним інструментом при створенні нових та модифікації існуючих об'єктів, вони надають інженерам, архітекторам та дизайнерам можливість для розробки та модифікації 2D- и 3D-моделей. В роботі описано принципи параметричного моделювання, на яких базується формування геометричних тривимірних моделей в автоматизованих системах, розглянуто особливості побудови двовимірних креслеників та звернено увагу на автоматизований спосіб отримання креслярської документації. Проаналізовано переваги та недоліки систем автоматизованого моделювання AutoCAD і SolidWorks. У якості прикладів застосування графічних систем для моделювання технічних об'єктів наведено виконані автором в системах AutoCAD і SolidWorks двовимірні кресленики та тривимірні моделі реальних об'єктів, що використовуються в судно- та машинобудівної галузі і в будівництві. Доведено можливість автоматичного формування двовимірного кресленика із тривимірної моделі деталі та із збірної конструкції. Зроблено висновок, що використання автоматизованих технологій моделювання геометричних моделей технічних об'єктів дозволяє створювати складні та деталізовані моделі, які можна аналізувати, тестувати та оптимізувати раніше, ніж перейти до фізичного виробництва. У сучасних умовах такий підхід є невід'ємною частиною всіх інженерних та дизайнерських процесів.

Ключові слова: геометрична модель; система автоматизованого проектування; цифрова модель; геометричне моделювання; 2-D кресленик; 3-D модель.

Постановка проблеми. Використання в практичній діяльності автоматизованих графічних систем вимагає дослідження процесів формування геометричних моделей нових або модифікації існуючих технічних об'єктів, аналізу графічних методів та технологій, що використовуються.

Аналіз останніх досліджень. Сучасні технології в будь-який сфері діяльності, зокрема машинобудуванні, архітектурі, будівництві тощо, розраховані на використання комп'ютерних технологій. Не виключенням є і процес створення нових або модернізація існуючих технічних об'єктів, який базується на використанні автоматизованих графічних систем, що застосовують сучасні методи геометричного моделювання для роботи конструктора. Потужні сучасні фірми розвивають існуючі та створюють нові автоматизовані системи для можливості розвитку різних видів складних виробництв, створення нових технологій та впровадження їх у діяльність. Стосовно конструкторських розробок відомою є ціла низка графічних пакетів прикладних програм різних рівнів та призначень (*AutoCAD, SolidWorks, SolidEdge, Autodesk Inventor, Catia, Unigraphics, Creo Parametric* тощо), які дозволяють автоматизувати конструкторську діяльність щодо роботи з технічними об'єктами. У зв'язку з цим у робочі навчальні програми дисциплін вищих технічних навчальних закладів включено обов'язкове вивчення деяких графічних систем [1, 2], а саме можливості їх використання, особливості моделювання та переваги для сучасних підприємств.

Конструювання в графічних системах здійснюється завдяки геометричному моделюванню створюваних об'єктів. Питанням геометричного моделювання різних напрямів присвячено багато робіт як українських фахівців, так і зарубіжних. Більша кількість робіт стосується вдосконалення програмних продуктів щодо створення та модифікації геометричних цифрових моделей [3, 4], та інтеграції систем автоматизованого проектування й автоматизованого виробництва [5, 6].

Питанням геометричного моделювання та формоутворення криволінійних поверхонь вже багато років присвячуються наукові дослідження вчених Київської школи прикладної геометрії докт. техн. наук Ковальова С.М., докт. техн. наук Ботвіновської С.І. та інших. В їх роботах розвиваються теоретичні, методологічні і практичні аспекти щодо властивостей різноманітних кривих ліній та поверхонь, а також геометричні особливості управління їх формою [7, 8], які використовуються для розв'язання широкого кола задач формоутворення у технічному дизайні та архітектурі. Досліджуються геометричні аспекти питання формоутворення дискретних каркасів поверхонь статико-геометричним методом С.М. Ковальова, проводиться параметричний аналіз задач геометричного моделювання дискретних каркасів плоских кривих ліній та розв'язуються інші геометричні задачі з урахуванням вимог сучасних виробництв.

Іншому, функціональному підходу до геометричного моделювання, присвячена дисертаційна робота [9], в якій подано розробку функціонального підходу геометричного моделювання з використанням паралелізації, яка може бути використана для побудови дискретних об'єктів в розподілених комп'ютерних системах, та застосована при розробці моделей як в автоматизованих, так і в спеціалізованих системах геометричного моделювання.

Говорячи про створення геометричних моделей реальних технічних об'єктів потрібно розглянути автоматизовані графічні системи, саме в яких і працюють конструктори та користувачі. В роботі [10] наведено аналіз існуючих систем графічного моделювання, подано їх класифікацію на базові або легкі системи, системи середнього та вищого рівнів; розглянуто особливості їх побудови, можливості використання. Звернено увагу на нові PLM та BIM технології, які дозволяють суттєво пришвидшити процес геометричного моделювання, та використовуються в системах *Revit, Advance steel, Tekla structures*. Такий підхід зручно використовувати зокрема в будівництві та машинобудівній галузі.

Практика використання автоматизованих систем для конструювання технічних об'єктів показала, що найбільш розповсюдженими системами автоматизованого проектування у всьому світі є системи *AutoCAD* [11, 12] і *SolidWorks* [13, 14]. Вони дають змогу створювати цифрові моделі реальних або уявних об'єктів за допомогою опису їх геометрії, здійснювати методи управління створеними моделями, що дозволяє отримати точні результати моделювання без фізичних експериментів. Завдяки цьому широко використовуються в різних галузях промисловості: машино- та суднобудуванні, архітектурі, будівництві, господарчій діяльності тощо. Наведені в літературі огляди автоматизованих систем [15]. частіше за все перелічують можливості кожної системи та не дають загального аналізу та поняття про логіку функціонування та можливості і напрями використання системи.

Формулювання цілей та завдання статті. Метою даної роботи є систематизоване дослідження практики створення геометричних моделей технічних об'єктів в автоматизованих системах, аналіз методів та технологій, що застосовуються, визначення переваг їх використання у сучасному проектуванні.

Основна частина. Створення будь-якого об'єкту починається з інженерного проекту, який на сучасному етапі розвитку виробництв характеризується високою степеню автоматизації всіх етапів розробки виробів. Одним із головних напрямів процесу проектування є побудова геометричних моделей технічних об'єктів, які призначені для подальшого аналізу, оптимізації, візуалізації та підготовки виробництва. Геометрична модель уявляє собою формалізований опис форми, розмірів та просторового розташування об'єкту, а створення моделі здійснюється шляхом

геометричного його моделювання, в основі якого лежить вибір методу представлення геометричних даних.

Під геометричним моделюванням в автоматизованих системах розуміють процес створення числових моделей геометрії реальних або уявних об'єктів за допомогою комп'ютерних програм. Воно охоплює методи опису та управління геометрією, включаючи використання аналітичної геометрії, матричних методів та параметричного моделювання, для проектування, аналізу та виготовлення продукції.

Створення моделей об’єктів шляхом геометричного моделювання знайшло широке використання у таких галузях, як інженерія, архітектура, промисловий дизайн, а також в галузі наукових досліджень. В графічних автоматизованих системах геометричне моделювання є фундаментальним етапом процесу конструювання та проектування, що забезпечує високу точність та ефективність у створенні складних об’єктів. Особливістю автоматизованих систем є надання можливості швидкого і точного формування цифрових об’єктів-прототипів, що суттєво підвищує ефективність конструкторської діяльності. В результаті такого моделювання створюється цифрова копія або електронна модель об’єкту, яку можна використовувати для повної оцінки виробів ще до початку їх виробництва, для проведення віртуальних випробувань, досліджень на міцність, надійність тощо. Створювана геометрична модель уявляє собою формалізований математичний опис форми, розмірів та взаємного розташування окремих елементів технічного об’єкта. Модель є базовим елементом цифрового проектування та дозволяє здійснити подальші інженерні розрахунки, аналіз спроектованої моделі та виконати оптимізацію конструкції.

Практичний досвід використання цифрових моделей показує, що ефективність проектування визначається вибором методів моделювання та степеню параметризації. В свою чергу параметричне моделювання базується на використанні змінних та рівнянь, які пов’язують між собою геометричні параметри об’єкта, що забезпечує можливість автоматичного оновлення моделі при зміненні розмірів її елементів або інших початкових даних.

В залежності від складності об’єкта, що моделюється, підприємства можуть використовувати різні автоматизовані системи. В даній роботи розглянуто можливості створення різнопланових технічних об’єктів у графічних системах *AutoCAD* та SolidWorks.

Така всесвітня відома та найбільш поширена графічна система *AutoCAD*, що розроблена американською фірмою *Autodesk*, відноситься до базових або легких систем, вона має закриту математичну модель та дозволяє створювати об’єкти у векторному просторі. Для роботи користувачу необхідно мати уявлення про геометричні особливості об’єкта проектування, визначитися з його розмірами та характеристиками. Процес моделювання цілком залежить від навичок та міркувань користувача та

зводиться до поступового, ітераційного процесу створення креслеників. Це призводить до виникнення достатньої кількості неточностей та помилок, які поступово виправляються у процесі моделювання. Саме тому з розвитком системи створено багато різновидів шаблонів та бібліотек стандартних елементів різних напрямів з метою пришвидшення та спрощення отримання креслеників.

Система *AutoCAD* була створена ще у 80-ті роки 20 сторіччя та спочатку була розрахована на створення двовимірних креслеників, тому використовувалась як сучасний інструмент для виконання всіх видів креслеників. Зараз 2-D моделювання використовується більшим чином для створення принципових теплових, електричних та будівельних схем й креслеників, де більшість норм і правил вже розроблені, та процес моделювання виконується за відомими вузлами, зв'язками та перерізами.

Основу двовимірного моделювання складають елементарні графічні побудови (відрізки, прямокутники, кола, еліпси, сплайни тощо) [10]. Система дозволяє виконувати операції з використанням об'єктних прив'язок (*Object Snaps*), координатних методів (абсолютних, відносних і полярних) та команд простого й конструктивного редагування примітивів *MOVE*, *COPY*, *TRIM*, *OFFSET* тощо. Використання шарів (*Layer)*, різних типів ліній (*Linetype*) та кольорової диференціації підвищує читаність креслеників та полегшує структурування даних. Сучасні версії *AutoCAD* включають елементи параметризації, що дозволяє задавати залежності між елементами моделі та змінювати її розміри.

У якості прикладів застосування графічної системи *AutoCAD* на рис. 1 подано двовимірний кресленик котельного агрегату ДКВР 1014, що є одним із основних агрегатів суднового машинного відділення, та на рис. 2 виконано схему масляної системи головного двигуна і редуктора, яка використовується в практичній діяльності.

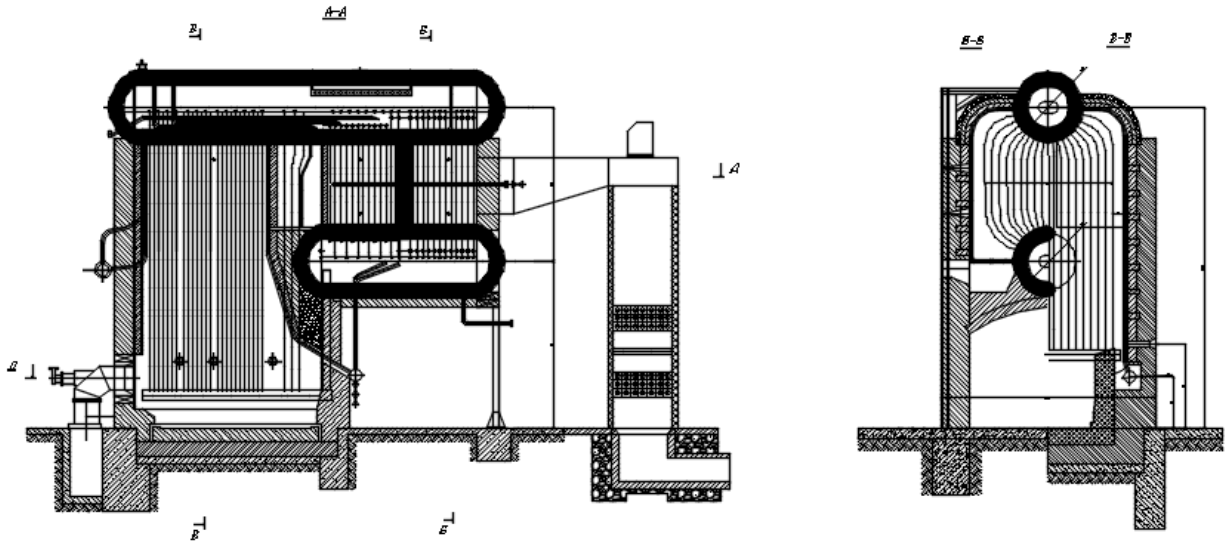


Рис.1. Котельний агрегат ДКВР 1014

При виконанні креслеників використовувалися всі можливості двовимірного моделювання, які пропонуються системою *AutoCAD*: команди створення та редагування графічних примітивів, завантаження необхідних типів ліній, встановлення товщини ліній, автоматичне формування шарів для різних параметрів кресленика, різні типи штрихування тощо. Кресленики виконувались у просторі моделі (вкладка *Model*), а для друкування креслеників – простір аркуша (вкладка *Layout*).

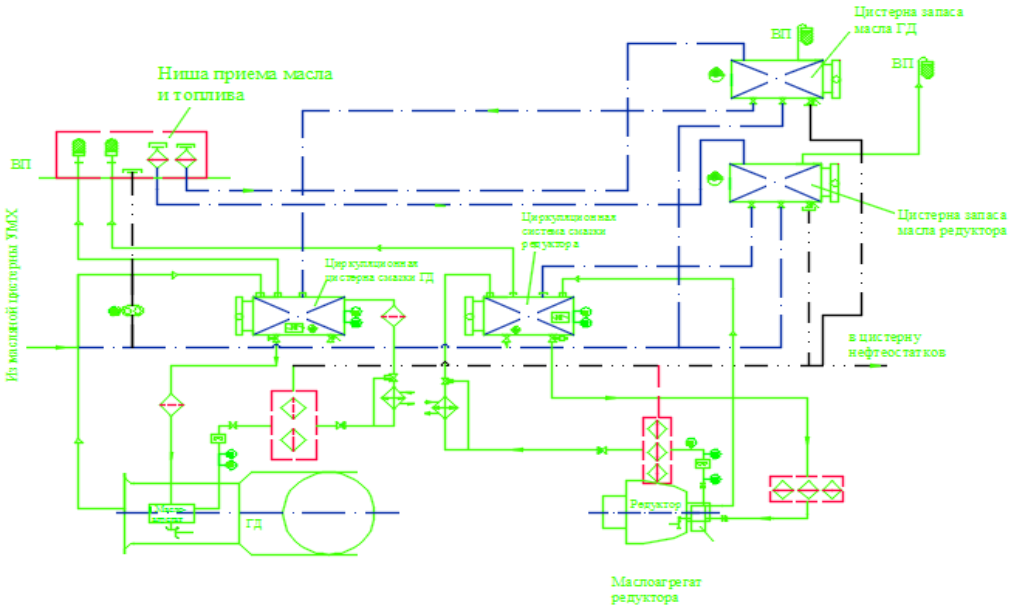


Рис.2. Схема масляної системи головного двигуна і редуктора, виконана в системі AutoCAD

З плином часу в процесі розвитку програмне забезпечення системи *AutoCAD* суттєво змінюється та дає можливість створювати не тільки плоскі двовимірні кресленики, а й тривимірні зображення. На відміну від плоского кресленика тривимірна геометрична модель є однозначним поданням геометрії й кількісного состава об’єкта.

Система *AutoCAD* підтримує створення твердотільних та поверхневих моделей. Твердотільне моделювання реалізується операціями *EXTRUDE*, *REVOLVE*, *SWEEP*, *LOFT*, які дозволяють отримувати об’ємні тіла із двовимірних профілів та використовується частіше у машинобудуванні. Поверхневе моделювання застосовується для об’єктів зі складною криволінійною геометрією – корпусів, обшивок, елементів інтер’єру, в інструментальному виробництві, в авіа- і кораблебудуванні та архітектурі. Інструменти візуалізації та освітлення дозволяють виконувати фото реалістичне відображення моделі, а також проводити попередню оцінку зовнішнього вигляду виробу.

Твердотільне моделювання засновано на побудові тривимірних об’єктів, використовуючи або методи створення простих форм (паралелепіпед, циліндр, сфера тощо), або більш складних із використанням функцій обертання (*REVOLVE*), видавлювання (*EXTRUDE*), ковзання (*LOFT*) тощо. Програма *AutoCAD* підтримує створення тривимірних

об’єктів на основі геометричних примітивів та їх подальшу модифікацію використовуючи операції трансформації, тобто складні об’ємні моделі створюються на основі існуючих тіл за допомогою операцій булевої алгебри шляхом їх об’єднання, віднімання та перетину (*Union*, *Subtract*, *Intersect*). На рис. 3 показано змодельовані окремі деталі, що входять до складу одноступінчастого косозубого редуктора та сформована реалістична модель редуктора.

На рис. 4 показано тривимірну каркасну та реалістичну моделі балонів

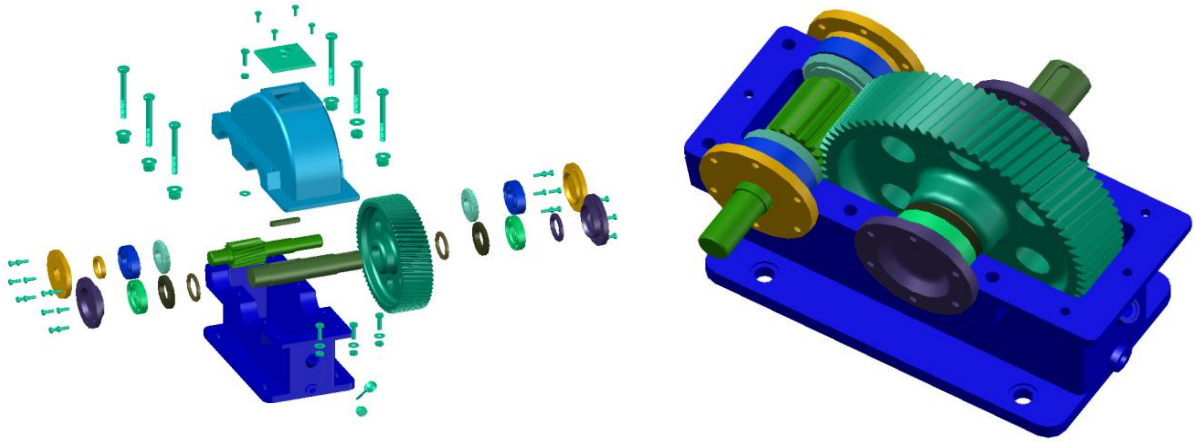
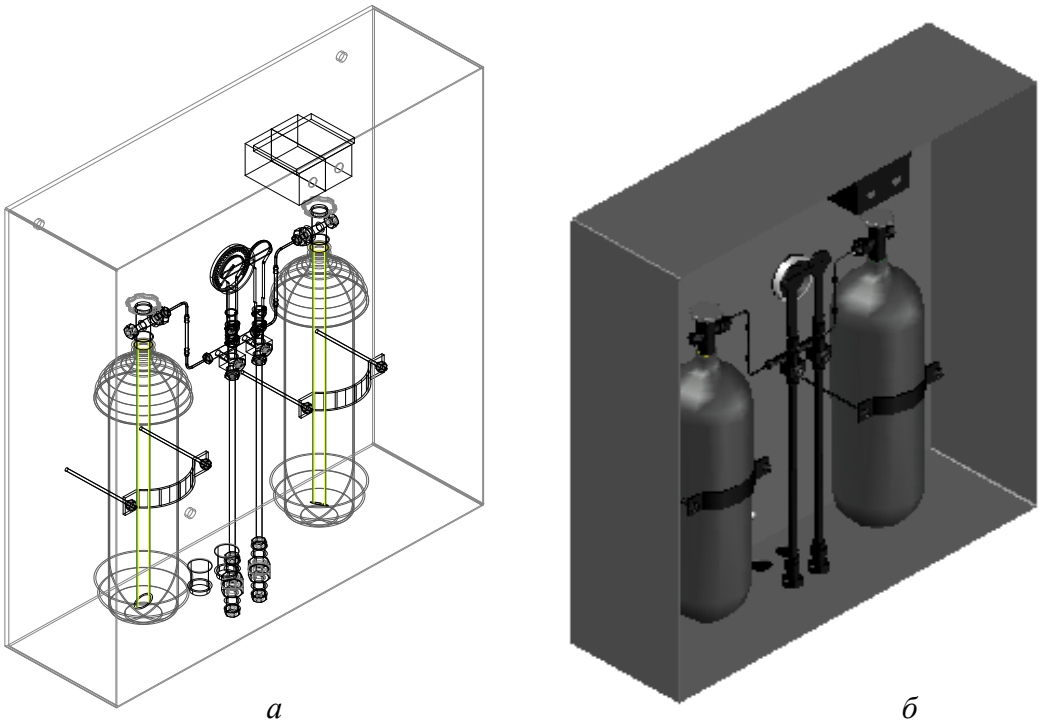


Рис.3. Складові елементи одноступінчастого косозубого редуктора та його 3-D модель

стислого повітря, які завжди є невід’ємною складовою суднових силових установок.



а *б*

Рис.4. Кріплення балонів стислого повітря:
а – каркасна модель, *б* – реалістична модель

Особливістю каркасних моделей є забезпечення мінімального обсягу даних про об’єкт моделювання, але вони не мають інформації про замкненість об’єкту, що не дає змогу проводити інженерний аналіз.

Потрібно відзначити, що процес тривимірного моделювання передбачає, що користувач впевнено працює з плоскими, двовимірними зображеннями. Об’ємне моделювання вимагає терплячості та наполегливості для багаторазового виконання тих чи інших операцій та застосування спеціальних команд роботи в тривимірному просторі.

Новим в останніх версіях системи AutoCAD є передбачена можливість автоматично створити плоский проекційний кресленик із наочного зображення об’єкта (рис. 5). Такий спосіб спрощує отримання кресленика, зменшує час на його формування, дозволяє легко виправляти помилки та суттєво пришвидшує процес отримання конструкторської документації.

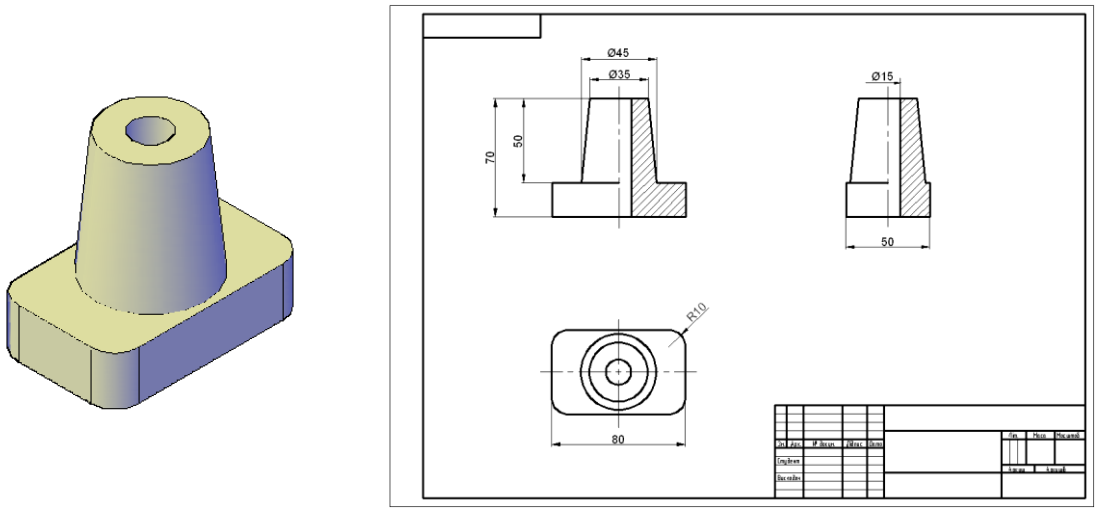


Рис. 5. Тривимірна модель деталі та отриманий із неї двовимірний кресленик

Виходячи із вище викладеного можна зробити висновок, що система *AutoCAD* є універсальною платформою для інженерного проектування об’єктів різного технічного призначення. Вона уявляє собою міцний інструмент для створення геометричних об’єктів різного рівня складності. Можливість комбінування 2*D*- и 3*D*-моделювання, параметризації та автоматизації є незамінною в інженерній практиці. Використання автоматизованої системи *AutoCAD* сприяє підвищенню точності конструкторських робіт, скороченню часу проектування та забезпечує інтеграцію із сучасними системами цифрового інжинірингу.

Такий підхід щодо формування двовимірного кресленика із тривимірної моделі об’єкта характерний для іншої автоматизованої графічної системи – системи середнього рівня *SolidWorks*. Це міцна система автоматизованого проектування, що розроблена компанією *Dassault Systèmes*, широко використовується в інженерних та виробничих галузях для створення тривимірних моделей, збірок та виробництва креслеників.

На відміну від системи *AutoCAD* система *SolidWorks* має дерево моделі, тобто відкриту математичну модель. Це дає можливість конструктору на будь-якому етапі моделювання побачити попередні кроки виконуваних побудов. Однією із головних особливостей системи є високо розвинуті можливості геометричного моделювання, яке забезпечує високу точність та функціональність при проектуванні деталей та збірок. Система *SolidWorks* призначена як для *3D*-моделювання виробів, так і для виконання розрахунків та автоматизації проектування допоміжних систем різного призначення.

На відміну від традиційного креслярського підходу, де об'єкт моделюється у двовимірному просторі, *SolidWorks* використовує *3D*- підхід, що дозволяє значно підвищити точність і швидкість проектування. Моделювання в *SolidWorks* може бути представлено у виді деяких основних етапів та методів, які включають створення *3D*- об'єктів за допомогою як базових, так і більш складних операцій. Проектант працює з так би мовити твердими тілами, звідки і виник термін «твердотільне моделювання».

Твердотільне моделювання дозволяє описувати об'єкт як сукупність об'ємних елементів із чітко визначеними межами та фізичними властивостями, що робить його незамінним для машинобудівних та приладобудівних додатків. Основою роботи в *SolidWorks* є параметричне моделювання, що базується на введенні залежностей параметрів, які визначають геометрію об'єкта. Такий підхід дозволяє проектанту задавати розміри, кути, взаємні розташування та інші характеристики об'єкта, а при зміненні одного параметру інші елементи моделі автоматично підлаштовуються під нові значення. Параметричне моделювання дозволило гнучко змінювати конструкцію без порушення цілісності моделі, що особливо важливо при модифікації проектних даних. Потрібно відзначити, що система підтримує як параметричне, так і вільне моделювання, що робить її універсальною для розв'язання різноманітних задач.

Система *SolidWorks* дає можливість моделювати як окремі деталі, так і збирати їх у збірки. Система дозволяє працювати з декількома взаємопов'язаними деталями, встановлювати їх положення відносно одна одної, а також задавати їх взаємний рух. Важливо відзначити, що геометрія збірної конструкції автоматично відновлюється при зміненні на моделі хоча би одного компонента.

Працюючи в автоматизованій програмі *SolidWorks* розробник використовує електронні копії реальних моделей, що дозволяє задіяти для проектування логіку складальних об'єктів. Яким чином буде здійснюватися збірка на виробництві, такий шлях і повинен бути реалізованим в моделі. Ключовими функціями роботи із збірками у системі є механізми та спряження компонентів моделі (*Mates*). Це дозволяє встановлювати залежності між окремими частинами збірки, такі як зафіксовані з'єднання, обертання та ковзання. Наприклад, деталі можна закріпити, обмеживши їх рух вздовж осі або площини. Крім того *SolidWorks* дозволяє автоматично

перевіряти наявність зазорів або стикань між деталями збірки, що є особливо важливим для функціональних та рухливих конструкцій. Такий підхід вилучає багато проблем та суттєво зменшує кількість помилок при моделюванні, але вимагає високої кваліфікації розробника та точних знань щодо вимог до об’єкту моделювання.

Модель, що створюється, повинна відображати інженерний задум, тобто демонструвати, які параметри є змінними, а які – фіксованими, що спрощує отримання наступних модифікацій моделі. Функція мінімізації зайвих перетинів елементів та групування логічно пов’язаних операцій в окремі підпроєкти, які виконуються в системі, дає можливість управління історією, сценарієм створення геометричної моделі.

Під час геометричного моделювання об’єктів в системі *SolidWorks* пропонуються такі операції формоутворення, як *Extrude, Revolve, Sweep, Loft* для створення об’ємів, *Fillet, Chamfer, Shell* для доопрацювання форми моделі, *Pattern, Mirror* – для багаторазового копіювання елементів моделі. Якщо розроблена модель є недостатньо гнучкою, то для її удосконалення передбачені такі поверхневі інструменти, як *Loft (surface), Boundary Surface, Freeform*. На рис. 6 наведено наочне зображення вентиля, який широко використовується на суднах як запірна арматура у суднових системах різного цільового призначення, виконане у системі *SolidWorks* з використанням описаних вище операцій.

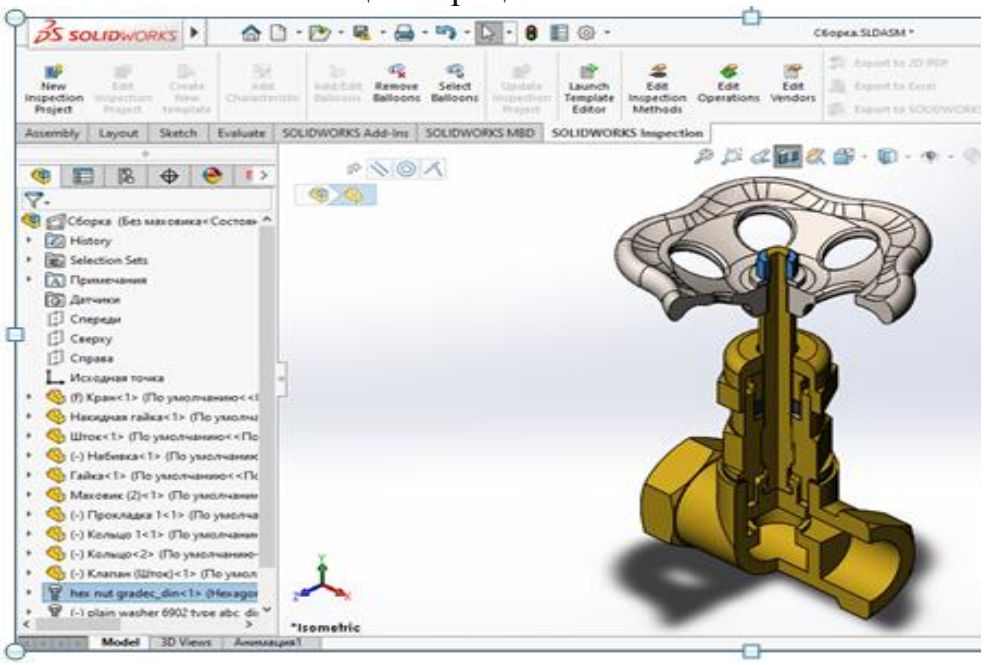


Рис.6. Кресленик складальної одиниці, виконаний у системі *SolidWorks*.

Але кінцевою метою моделювання деталі або вузла є отримання плоского кресленика, який може бути виконаним автоматично із складального кресленика вузла. При формуванні креслеників система *SolidWorks* виконує автоматичну генерацію видів, прив’язку розмірів до

параметрів моделі, а також може складати специфікації. Рис. 7 демонструє складальний кресленик, що сформовано із *3D* моделі вентиля.

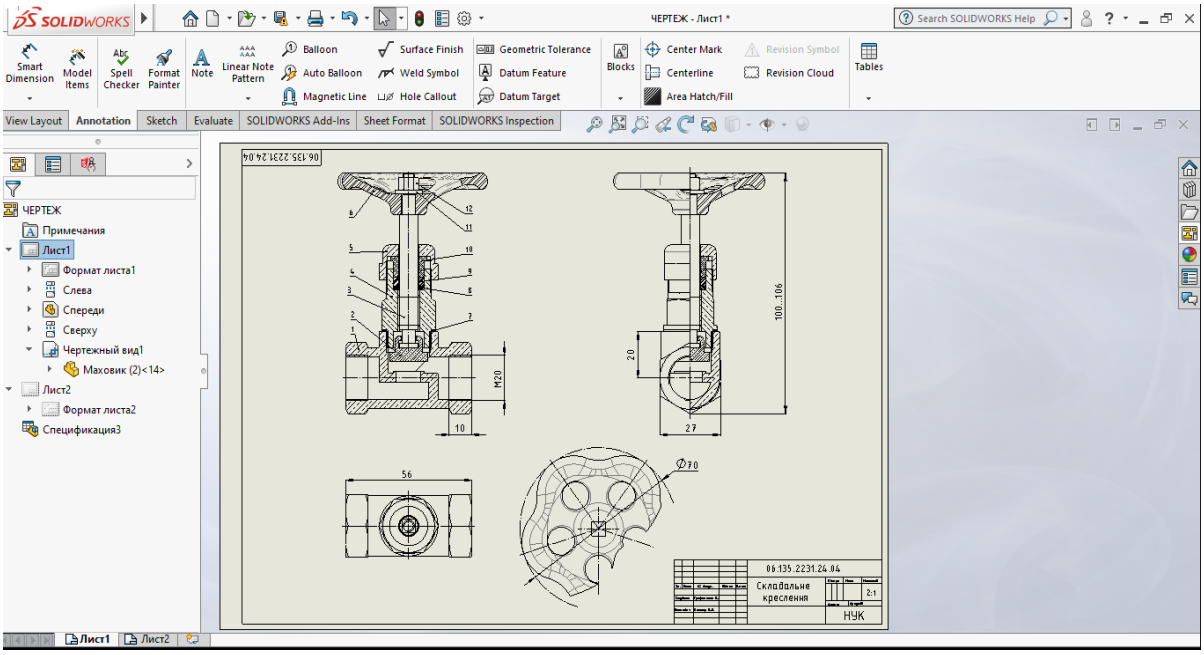


Рис. 7. Складальний кресленик вузла, отриманий із *3D*-моделі

Інший приклад стосується геометричного моделювання опалубки для відливання сегментів бетонних труб циліндричної форми великого діаметру, що практично використовуються для прокладання трас під землею. Особливістю для бетонних конструкцій вважається наявність тонкого бортика по контуру, який дозволить елементам з'єднуватися шляхом входження один в одного. На рис. 8 представлена сформована в графічній системі *SolidWorks* геометрична модель опалубки для заливання бетону, що виконана із метала. Вона уявляє собою зовнішній та внутрішній розбірні циліндричні конструкції різних діаметрів, що спираються на плато. В конструкції внутрішнього циліндра передбачено установка клину для можливості розібрати форму. Для отримання тонкого приливу по контуру циліндра в нижній та верхній частини опалубки приварені труби прямокутного перерізу відповідних розмірів. Циліндричні форми скріплюються спеціальними кріпленнями. Подано варіант із кришкою, на яку заливається бетон та стікає у форму, а також конструкція без кришки, що зображена на рис. 9.

Після сформованої тривимірної геометричної моделі опалубки автоматично згенеровано проекції моделі збірки опалубки на плоскому кресленику (рис. 10). Особливо важливі елементи збірної конструкції, які вказані проектантом, автоматично моделюються та зображуються зі збільшенням в обраному масштабі. Для остаточного оформлення кресленика було додано позиції та назви деталей, деякі розміри і специфікацію. За необхідності система *SolidWorks* дає можливість отримати кресленики окремо для кожної деталі, що складають збірку.

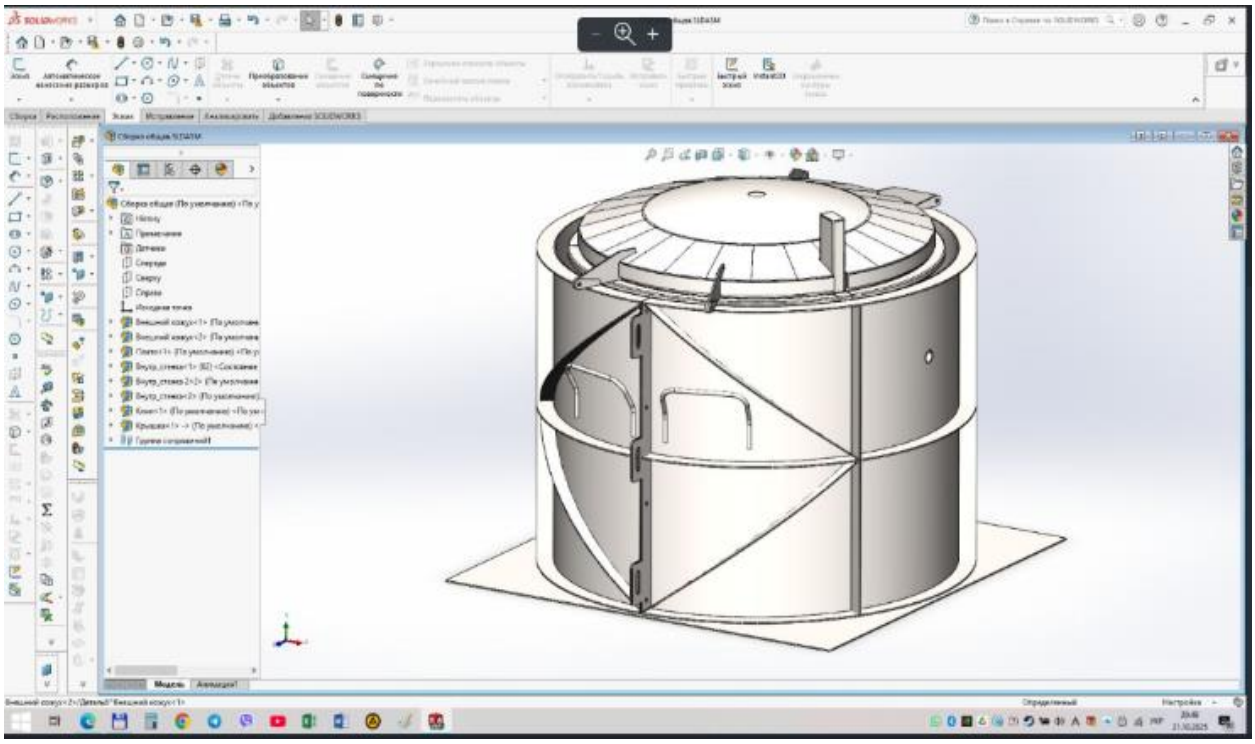


Рис.8. Геометрична модель металевої опалубки, виконана в системі *SolidWorks*

Отже, при створенні геометричних моделей технічних об’єктів різного рівня складності міцними і сучасними інструментами є автоматизовані графічні системи. Можливість комбінування 2*D*- и 3*D*-моделювання, параметризації та автоматизації робить системи незамінними в інженерній практиці при створенні об’єктів різного цільового призначення.

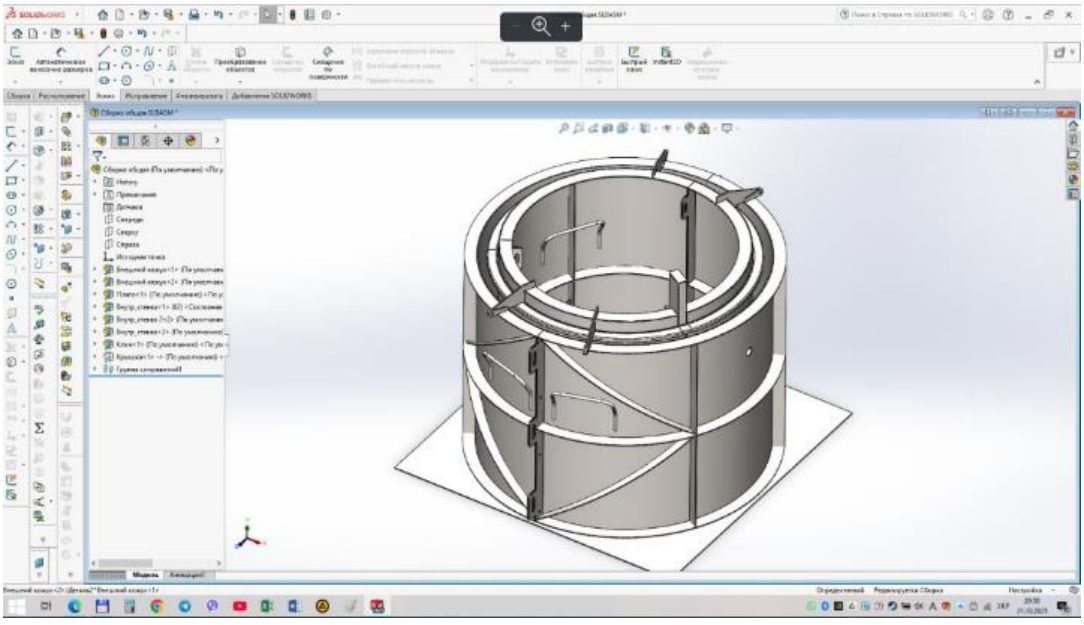


Рис. 9. Геометрична модель опалубки зі знятою кришкою

У графічних автоматизованих системах використовуються принципи аналітичної геометрії для математичного опису геометричних форм (точки, лінії, багатокутники, поверхні), застосовуються матричні методи для опису та перетворення даних, що дозволяє ефективно обробляти складні геометричні об’єкти. Графічні системи широко використовуються в інженерії та архітектурі, де властивості моделі визначаються певним набором параметрів, що дозволяє легко їх змінювати у процесі геометричного моделювання об’єктів.

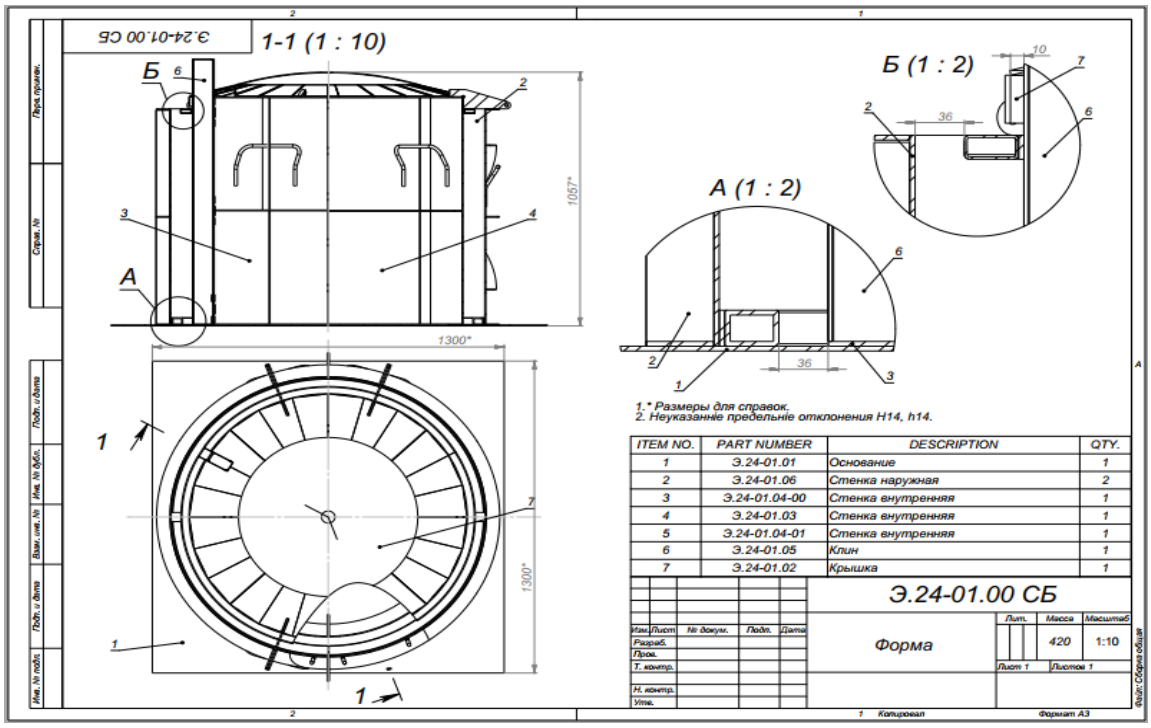


Рис. 10. Складальний кресленик опалубки

Перевагами автоматизованих графічних систем є підвищення точності моделі, що проектується, та зниження помилок при проектуванні, оскільки всі розрахунки та аналіз проводяться на основі точної цифрової моделі. Можливість моделювання та аналізу складних об’єктів дають скорочення часу на розробку проекту та зниження витрат за рахунок зменшення кількості матеріальних ресурсів, необхідних для прототипів та тестування. Крім того, для автоматизованого моделювання притаманна покращена візуалізація об’єкту, що проектується, завдяки наочним тривимірним цифровим моделям.

Пришвидшення процесу створення технічних об’єктів геометричним моделюванням на сучасному етапі можливо шляхом створення нових або поширення існуючих бібліотек стандартних елементів, що характерні для певної галузі виробництва.

Висновки та перспективи подальших досліджень.

1. Практичний досвід створення геометричних моделей технічних об’єктів шляхом геометричного моделювання в автоматизованих графічних системах показав, що використання сучасних графічних систем суттєво

підвищило ефективність і точність проектування. Використання таких технологій дозволяє створювати складні та деталізовані моделі, які можна аналізувати, тестувати та оптимізувати раніше, ніж перейти до фізичного виробництва. В сучасних умовах такий підхід є невід'ємною частиною всіх інженерних та дизайнерських процесів.

2. Проаналізовано системи автоматизованого моделювання *AutoCAD* і *SolidWorks*, досліджено переваги та недоліки кожної із систем. Подано рисунки спроектованих різнопланових геометричних моделей технічних об'єктів, виконаних у системах *AutoCAD* і *SolidWorks*.

3. Доведено можливості використання автоматизованих графічних систем для моделювання об'єктів різних галузей промисловості (машино- та суднобудування, будівництва тощо), різного конструктивного виконання і різнопланового призначення.

4. Перспективою пришвидшення процесу створення нових моделей технічних об'єктів є формування нових або поширення існуючих бібліотек стандартних геометричних елементів, що характерні для певної галузі виробництва.

Література

1. *Борисенко В. Д., Біднічeнко О. Г., Устенко І. В.* Об'ємне моделювання в AutoCAD : навчальний посібник. Миколаїв : ФОП Швець В. Д., 2014. 224 с.
2. *Меркулов В. С.* Системи автоматизованого проектування рухомого складу : конспект лекцій. Харків : УкрДУЗТ, 2018. Ч. 2. 108 с.
3. Dassault Systèmes. Surface Modeling Course Materials. URL: https://www.solidworks.com/training-courses/surface-modeling
4. Automatic Feature Recognition Techniques – ASTM review (2024). Короткий огляд технік FR та інтеграції CAD–CAM. ASTM, 2024. URL: [вкажіть посилання, якщо є] (дата звернення: 04.01.2026).
5. Esanakula, J. R. (2024). *A Process for Creating and Designing Automated CAD Models Through the SolidWorks API*. Scribd. URL:https://www.scribd.com/document
6. ISO 10303-1:2024. Industrial automation systems and integration — Product data representation and exchange. Part 1: Overview and fundamental principles. URL: https://www.iso.org/standard/72237.html (дата звернення: 15.05.2025).
7. *Ботвіновська С.І.* Теоретичні основи формоутворення в дискретному моделюванні об'єктів архітектури та дизайну : автореф. дисертації на здобуття наукового ступеня д-ра техн. наук : 05.01.01 Київ : КНУБА, 2018. 43с.
8. *Ботвіновська С.І., Золотова А.В.* Загальний параметричний аналіз задачі геометричного моделювання дискретної рівноланкової кривої статико-геометричним методом / *«Прикладна геометрія та інженерна*

графіка» Київ: КНУБА, 2024. №106. С. 41–56. DOI: https://doi.org/10.32347/0131-579x.2024.106.
9. *Калюжняк А. В.* Функціональне геометричне моделювання в розподілених комп'ютерних системах : дис. ... д-ра філософії : 122. Запоріжжя : ЗНУ, 2024.
URL: https://uacademic.info/ua/document/0824U001948 (дата звернення: 04.02.2025).
10. *Бідніченко О. Г.* Сучасні тенденції розвитку систем автоматизованого комп'ютерного моделювання / *Управління розвитком складних систем*. 2022. № 49. С. 59–65. URL: http://mdcs.knuba.edu.ua/article/view/265290
11. Autodesk. AutoCAD 2024 User Guide. – [Електронний ресурс]. URL: https://help.autodesk.com (дата звернення: 06.11.2025).
12. *Gindis E.* AutoCAD 2023 and AutoCAD LT 2023 Essentials. New York: Wiley, 2023. 720 p.
13. *Shih, R. H.* Learning SOLIDWORKS 2025: Modeling, Assembly and Drawings. SDC Publications, 2025. URL: https://www.sdcpublications.com/Textbooks/Learning-SOLIDWORKS-2025/ISBN/9781630577049/
14. SolidWorks Intro & API Guide : official documentation. *SolidWorks*. URL: https://help.solidworks.com.
15. Types of CAD Softwares used by Civil Engineers. (n.d.). *EngineeringCivil.com – Civil Engineering Digital Library*. https://www.engineeringcivil.com/types-of-cad-softwares-used-by-civil-engineers.html

References

1. *Borysenko V.D.* Ob'yemne modelyuvannya v AutoCAD: navchal′nyy posibnyk / V.D. Borysenko, O.H. Bidnichenko, I.V. Ustenko. Mykolayiv: FOP Shvets′ V.D., 2014. 224 s. {in Ukranian}
2. *Merkulov V. S.* Systemy avtomatyzovanoho proektuvannya rukhomoho skladu: Konspekt lektsiy. Kharkiv: UkrDUZT, 2018. CH. 2. 108 s.
3. Dassault Systèmes. *Surface Modeling Course Materials.* URL: https://www.solidworks.com/training-courses/surface-modeling {in English}
4. Automatic Feature Recognition Techniques – ASTM review (2024). Korotkyy ohlyad tekhnik FR ta intehratsiyi CAD–CAM. (ASTM). {in English}
5. Esanakula, J. R. (2024). *A Process for Creating and Designing Automated CAD Models Through the SolidWorks API*. Scribd. URL:https://www.scribd.com/document. {in English}

6. ISO 10303-1:2024. Industrial automation systems and integration – Product data representation and exchange. Part 1: Overview and fundamental principles. URL: https://www.iso.org/standard/72237.html {in English}
7. *Botvinovs'ka S.I.* Teoretychni osnovy formoutvorennya v dyskretnomu modelyuvanni ob″yektiv arkhitektury ta dyzaynu : avtoref. dysertatsiyi na zdobuttya naukovoho stupenya d-ra tekhn. nauk : 05.01.01 Kyyiv : KNUBA, 2018. 43s. {in Ukranian}
8. *Botvinovs'ka S.I., Zolotova A.V.* Zahal′nyy parametrychnyy analiz zadachi heometrychnoho modelyuvannya dyskretnoyi rivnolankovoyi kryvoyi statyko-heometrychnym metodom/ *Zbirnyk naukovykh prats' «Prykladna heometriya ta inzhenerna hrafika»* Kyiv: KNUBA, 2024. №106. S. 41–56. DOI: https://doi.org/10.32347/0131-579x.2024.106 {in Ukranian}
9. *Kalyuzhnyak A. V.* Funktsional′ne heometrychne modelyuvannya v rozpodilenykh komp″yuternykh systemakh. Dysertatsiya na zdobuttya naukovoho stupenya doktora filosofiyi za spetsial′nistyu 122 “Komp″yuterni nauky”. Zaporiz′kyy natsional′nyy universytet, Zaporizhzhya, 2024. URL: https://uacademic.info/ua/document/0824U001948 {in Ukranian}
10. *Bidnichenko O.H.* Suchasni tendentsiyi rozvytku system avtomatyzovanoho komp″yuternoho modelyuvannya/ Mizhvidomchyy naukovyy zbirnyk «Upravlinnya rozvytkom skladnykh system». ISSN 2219-5300 (Print), 2419-9933 (Online) №49. Kyiv: KNUBA, 2022. S. 59-65. URL: http://mdcs.knuba.edu.ua/article/view/265290 {in Ukranian}
11. Autodesk. AutoCAD 2024 User Guide. – [Electronnyy resurs]. URL: https://help.autodesk.com (data zvernennia: 06.11.2025). {in English}
12. Gindis E. AutoCAD 2023 and AutoCAD LT 2023 Essentials. –New York: Wiley, 2023. 720 p. {in English}
13. Shih, R. H. *Learning SOLIDWORKS 2025: Modeling, Assembly and Drawings.* SDC Publications, 2025. URL: https://www.sdcpublications.com/Textbooks/Learning-SOLIDWORKS-2025/ISBN/9781630577049 {in English}
14. SolidWorks Intro & API Guide – ofitsiyna dokumentatsiya SolidWorks. Korysno dlya praktyky avtomatyzatsiyi ta skryptiv. (SolidWorks) {in English}
16. 15. Types of CAD Softwares used by Civil Engineers. (n.d.). *EngineeringCivil.com – Civil Engineering Digital Library*. https://www.engineeringcivil.com/types-of-cad-softwares-used-by-civil-engineers.html. {in English}/

Cand. tech. Sciences, Assoc. **Bidnichenko O.G.**
helenbidnichenko@gmail.com, ORCID: 0000-0002-0548-3481
Admiral Makarov National University of Shipbuilding (Mykolaiv)

CREATION OF GEOMETRIC MODELS OF TECHNICAL OBJECTS IN GRAPHIC AUTOMATED SYSTEMS

This article examines the methodological and practical aspects of the process of creating geometric models of technical objects in automated graphics systems. The methods of geometric modeling, which underlies the design of objects, its capabilities and applications in various industries, are analyzed. It is shown that geometric modeling is an important element in the design process, which ensures the creation of accurate and detailed digital models of objects. In this regard, computer-aided design programs, such as AutoCAD and SolidWorks, are the main tool for creating new and modifying existing objects, they provide engineers, architects and designers with the opportunity to develop and modify 2D and 3D models. The paper describes the principles of parametric modeling, which are the basis for the formation of geometric three-dimensional models in automated systems, considers the features of constructing two-dimensional drawings, and draws attention to the automated method of obtaining drawing documentation. The advantages and disadvantages of the automated modeling systems AutoCAD and SolidWorks are analyzed. As examples of the use of graphic systems for modeling technical objects, two-dimensional drawings and three-dimensional models of real objects used in the shipbuilding and mechanical engineering industries and in construction, made by the author in AutoCAD and SolidWorks systems, are given. The possibility of automatically forming a two-dimensional drawing from a three-dimensional model of a part and from a prefabricated structure is proven. It is concluded that the use of automated technologies for modeling geometric models of technical objects allows creating complex and detailed models that can be analyzed, tested and optimized before moving to physical production. In modern conditions, such an approach is an integral part of all engineering and design processes.

Keywords: geometric model; computer-aided design system; digital model; geometric modeling; 2-D drawing; 3-D model.