

РОЛЬ ПРОСТОРОВОГО МИСЛЕННЯ У ЗАБЕЗПЕЧЕННІ ЯКОСТІ ІНЖЕНЕРНИХ РІШЕНЬ В УМОВАХ ЦИФРОВОГО ПРОЄКТУВАННЯ

Колосова О.П., к.т.н., доцент,
mrsekolosova@gmail.com, ORCID: 0000-0001-7795-6412
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського», (Україна, м. Київ)

***Анотація.** У статті розглянуто роль просторового мислення у забезпеченні якості інженерних рішень в умовах поширення цифрових технологій проєктування. Просторове мислення трактується як інтегральна когнітивна здатність, що забезпечує аналіз, уявне перетворення та синтез геометричних форм і відношень під час створення моделей технічних об'єктів. Показано, що саме рівень сформованості цієї здатності визначає обґрунтованість вибору конструктивних рішень, коректність інтерпретації геометричних даних і ефективність використання засобів комп'ютерного моделювання. Обґрунтовано, що інженерна графіка виступає ключовим дидактичним інструментом розвитку просторового мислення, оскільки спирається на проєкційні методи, геометричні перетворення та принцип інваріантності просторової структури технічних систем. Проаналізовано вплив САД-систем на характер пізнавальної діяльності студентів, зокрема тенденцію до зниження рівня самостійного геометричного аналізу в умовах зростання автоматизації побудов і візуалізації. Підкреслено, що недостатній розвиток просторового мислення може призводити до помилок у конструюванні, ускладнень технологічної підготовки виробництва та зниження якості інженерних рішень. Зроблено висновок про необхідність поєднання традиційної геометричної підготовки з використанням цифрових засобів проєктування як умови формування цілісної інженерної компетентності майбутніх фахівців.*

***Ключові слова:** просторове мислення, інженерна графіка, цифрове проєктування, САД-системи, геометричне моделювання, інженерна освіта.*

Постановка проблеми. Сучасне інженерне проєктування здійснюється переважно в цифровому середовищі із застосуванням систем автоматизованого моделювання. Це забезпечує високу швидкість створення та модифікації геометричних моделей, проте водночас змінює характер взаємодії інженера з об'єктом проєктування. У багатьох випадках процес проєктування зводиться до виконання стандартних операцій у програмному середовищі, що може призводити до зниження рівня усвідомленого геометричного аналізу форми, структури та просторових властивостей об'єкта.

У сучасних умовах дедалі чіткіше проявляється перехід від мислення геометричною формою до мислення операціями, коли увага інженера

зосереджується не на аналізі просторової структури об'єкта, а на послідовності виконання дій у програмному середовищі.

У зв'язку з цим виникає проблема збереження просторового мислення як важливої професійної здатності інженера. Недостатнє розуміння просторової структури форми та її конструктивної логіки може негативно впливати на якість проектних рішень і проявлятися на етапах внесення змін у модель, технологічної підготовки виробництва та експлуатації виробу. Тому актуальним є дослідження впливу цифрових технологій моделювання на характер інженерного мислення та визначення ролі геометричного аналізу в сучасному проектуванні.

Аналіз останніх досліджень. Питання розвитку просторового мислення та його значення для інженерної підготовки розглядаються у багатьох працях, присвячених інженерній графіці, геометричному моделюванню та використанню цифрових технологій у навчанні. Дослідження показують, що робота з просторовими образами є важливою умовою успішного опанування технічних дисциплін і виконання проектних завдань. Зокрема, у працях S. Sorby підкреслюється зв'язок між рівнем розвитку просторових уявлень і результатами навчання студентів інженерних спеціальностей [1], що підтверджується також результатами інших досліджень, у яких доведено значущість просторових здібностей як чинника академічної успішності та професійної підготовки інженерів [2, 3].

У науковій літературі також відзначається, що використання САД-систем розширює можливості візуалізації та аналізу геометричних моделей, сприяє підвищенню наочності навчального процесу та ефективності проектної діяльності [4, 5]. Разом з тим окремі автори звертають увагу на зміну характеру інженерного мислення в умовах цифровізації, зокрема на ризик формального підходу до моделювання та зниження ролі геометричного аналізу форми [6, 7]. Це зумовлює необхідність поєднувати використання сучасних програмних засобів із здатністю до уявного перетворення просторових об'єктів, читання креслеників і оцінювання обґрунтованості інженерних рішень.

Попри значну кількість робіт, присвячених розвитку просторового мислення та використанню цифрових технологій у проектуванні, питання збереження його ролі у підготовці майбутніх інженерів залишається актуальним. Особливої уваги потребує обґрунтування цінності просторового мислення як професійної здатності, що забезпечує не лише розуміння геометричної форми, а й більш усвідомлене прийняття інженерних рішень у контексті загальної теорії інженерного мислення [8, 9].

Формулювання цілей. Метою статті є аналіз особливостей інженерного мислення в умовах цифрового проектування, зокрема переходу від мислення геометричною формою до мислення операціями, та обґрунтування ролі просторового мислення як ключової складової професійної підготовки майбутніх інженерів. У роботі передбачається з'ясувати значення геометричного аналізу форми у процесі проектування, визначити вплив використання САД-систем на характер розуміння просторової структури об'єкта, а також обґрунтувати необхідність поєднання використання інструментів моделювання з формуванням здатності до уявного перетворення просторових об'єктів.

Основна частина. У процесі інженерного проектування робота з формою займає центральне місце. Інженеру необхідно не лише створити модель об'єкта, а й зрозуміти її будову, взаємозв'язок елементів і можливі варіанти зміни конструкції. Саме тому важливою професійною здатністю є геометричне мислення, тобто вміння уявляти просторову форму, аналізувати її структуру та виконувати уявні перетворення.

Наприклад, під час проектування корпусної деталі інженер має оцінити, як зміна товщини стінки вплине на загальну конфігурацію виробу, чи не з'являться додаткові перерізи або складні переходи між поверхнями. У багатьох випадках таке рішення приймається ще до побудови моделі — на рівні уявного аналізу форми [10].

Аналогічно, при читанні кресленика необхідно відновити в уяві просторовий образ деталі за її плоским зображеннями. Без розвинених просторових уявлень цей процес стає складним і потребує значно більше часу.

Просторове мислення також допомагає інженеру працювати з різними способами подання інформації про форму. Одна й та сама деталь може бути представлена у вигляді кресленика, тривимірної моделі або навіть словесного опису конструкції. Здатність швидко переходити від одного подання до іншого дозволяє краще розуміти проєктну ситуацію, знаходити помилки в побудовах і приймати більш обґрунтовані рішення.

Крім того, робота з геометричною формою часто пов'язана з необхідністю передбачати результат майбутніх змін. Інженер має уявити, як поводитиметься модель після редагування параметрів, додавання нових елементів або об'єднання декількох частин конструкції. У цьому випадку просторове мислення виступає інструментом прогнозування, що дозволяє уникнути зайвих перебудов моделі та зменшити кількість помилок у процесі проектування.

Отже, геометричне мислення є не допоміжною навичкою, а важливою професійною здатністю інженера, яка забезпечує свідоме і ефективне використання сучасних засобів моделювання.

Використання сучасних САД-систем суттєво змінює спосіб роботи інженера з геометричною формою. Якщо раніше побудова моделі вимагала послідовного аналізу просторової структури об'єкта, то сьогодні значна частина дій виконується за допомогою готових інструментів. Модель створюється через набір стандартних операцій: побудову ескізу, видавлювання, обертання, вирізання, об'єднання тіл. У такому процесі увага часто зосереджується не на самій формі, а на правильному виборі команди або порядку виконання дій.

Це призводить до поступового переходу від мислення формою до мислення операціями. Інженер може добре пам'ятати послідовність побудови деталі, але при цьому не завжди уявляти її як цілісну просторову систему. Наприклад, під час редагування параметричної моделі змінюється один із розмірів, після чого програма автоматично перебудовує всю конструкцію. Якщо форма сприймається лише як результат виконаних операцій, інженеру складно передбачити, де можуть виникнути помилки або небажані деформації геометрії.

Подібна ситуація виникає і тоді, коли модель створюється шляхом копіювання або адаптації вже готових рішень. Робота з історією побудови дозволяє

швидко отримати потрібний результат, але не завжди сприяє розумінню логіки формоутворення. У результаті модель може бути правильною з точки зору програмного середовища, але недостатньо обґрунтованою з геометричної або конструктивної позиції.

Разом з тим цифрові технології не є причиною втрати просторового мислення самі по собі. Проблема виникає тоді, коли процес навчання зводиться лише до опанування інструментів моделювання. Якщо ж робота з CAD-системами супроводжується аналізом форми, виконанням ескізних побудов, дослідженням перерізів і взаємного розташування елементів, цифрове середовище може, навпаки, сприяти розвитку просторових уявлень.

Таким чином, сучасне інженерне проєктування потребує усвідомленого поєднання двох підходів: роботи з операціями моделювання та геометричного аналізу форми, для чого просторове мислення є необхідною навичкою (рис. 1). Лише в цьому випадку цифрові інструменти стають засобом розвитку професійного мислення, а не його спрощення.

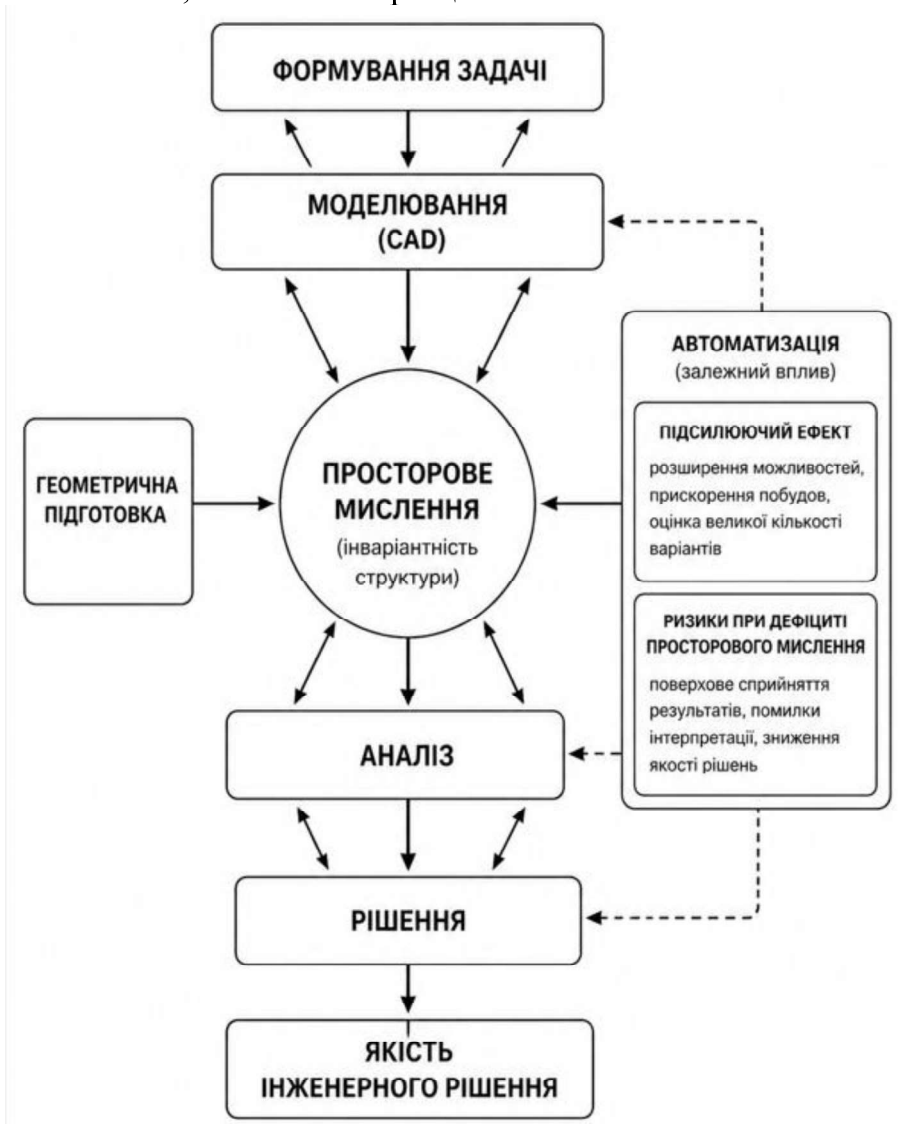


Рис. 1. Структурна модель ролі просторового мислення у формуванні якості інженерних рішень в умовах цифрового проєктування

У цифровому середовищі модель можна створити відносно швидко, але якщо під час проєктування основна увага зосереджується на послідовності виконання операцій, а не на аналізі просторової структури форми, зростає ризик появи конструктивно або технологічно недосконалих рішень. Інженер може отримати геометрично коректну модель без урахування особливостей її виготовлення, умов роботи або взаємодії з іншими елементами виробу. Подібна ситуація часто виникає, коли форма сприймається як результат побудови в CAD-системі, а не як об'єкт для свідомого геометричного і конструктивного аналізу.

Наслідки цього проявляються на наступних етапах проєктування і виробництва. Наприклад, під час внесення змін у модель можуть з'являтися небажані перерізи, самоперетини поверхонь або зони з недостатньою товщиною матеріалу. Або, в процесі технологічної підготовки виробництва можуть виявитись складні для обробки переходи між поверхнями або елементи, до яких ускладнений доступ інструменту. У результаті виникає потреба в додатковому коригуванні конструкції, що збільшує витрати часу і ресурсів.

Важливою причиною таких ситуацій є своєрідна ілюзія легкості цифрового моделювання. Візуально переконлива тривимірна модель створює відчуття завершеності проєктного рішення, хоча насправді це відчуття може бути оманливим, недостатньо перевіреним з точки зору геометричної логіки, конструктивної доцільності або технологічності. У цих умовах особливого значення набуває здатність інженера уявно аналізувати форму, передбачати наслідки змін і оцінювати модель не лише як результат роботи програми, а як майбутній реальний виріб.

Отже, збереження і розвиток просторового мислення є важливим чинником підвищення якості інженерних рішень. Воно дозволяє більш усвідомлено використовувати можливості цифрових технологій і забезпечує зв'язок між комп'ютерною моделлю та реальними умовами виготовлення і експлуатації виробу.

Висновки. Цифровізація інженерного проєктування зумовлює зміну характеру професійного мислення, що проявляється у переході від осмислення геометричної форми до переважання процедур побудови моделі. Така трансформація відображає зміну способів роботи з геометричною інформацією та потребує врахування у підготовці інженерів.

Показано, що недостатній рівень просторового мислення у поєднанні з орієнтацією на виконання операцій моделювання може негативно впливати на обґрунтованість інженерних рішень. У зв'язку з цим просторове мислення слід розглядати як ключову складову професійної компетентності, що забезпечує усвідомлений аналіз форми, прогнозування результатів змін і адекватну інтерпретацію цифрової моделі.

Отримані результати свідчать про необхідність цілеспрямованого врахування геометричного аналізу форми у процесі підготовки майбутніх інженерів поряд із використанням цифрових засобів моделювання. Це дозволяє підвищити якість проєктних рішень і забезпечити зв'язок між комп'ютерною моделлю та реальними умовами створення технічних об'єктів.

Бібліографічний список

1. Sorby S. A. *Developing Spatial Thinking*. Clifton Park: Delmar Cengage Learning, 2011.
2. Баскова Г. В., Колосова О. П., Міхлевська Н. В. Проблеми та шляхи реалізації дистанційного вивчення теми «Ескізи і робочі кресленики деталей»: методичні підходи та виклики інженерної графіки // *Сучасні проблеми моделювання*. 2025. Вип. 27. С. 12–24. <https://doi.org/10.33842/2313-125X-2025-19-12-24>
3. Shih R. H. *Parametric Modeling with Autodesk Inventor*. SDC Publications, 2018.
4. Bodein Y., Rose B., Caillaud E. Explicit reference modeling methodology in parametric CAD systems // *Computer-Aided Design*. 2014. Vol. 50. P. 54–67.
5. Sorby S. A., Veurink N. Enhancing spatial thinking in engineering students: Lessons learned from a longitudinal study // *Journal of Women and Minorities in Science and Engineering*. 2010. Vol. 16, No. 1. P. 1–17.
6. Uttal D. H., Meadow N. G., Tipton E., Hand L. L., Alden A. R., Warren C., Newcombe N. S. The malleability of spatial skills: A meta-analysis of training studies // *Psychological Bulletin*. 2013. Vol. 139, No. 2. P. 352–402.
7. Contero M., Naya F., Company P., Saorín J. L., Conesa J. Improving visualization skills in engineering education // *IEEE Computer Graphics and Applications*. 2005. Vol. 25, No. 5. P. 24–31.
8. Robertson B. F., Radcliffe D. F. Impact of CAD tools on creative problem solving in engineering design // *Computer-Aided Design*. 2009. Vol. 41, No. 3. P. 136–146.
9. Dym C. L., Agogino A. M., Eris O., Frey D. D., Leifer L. J. Engineering design thinking, teaching, and learning // *Journal of Engineering Education*. 2005. Vol. 94, No. 1. P. 103–120.
10. Баскова Г. В., Колосова О. П., Міхлевська Н. В. Розробка робочого кресленика деталі типу «корпус» в умовах дистанційного навчання: особливості, алгоритм і навчальна ефективність // *Прикладна геометрія, інженерна графіка та об'єкти інтелектуальної власності: зб. доп. XIV Міжнар. наук.-практ. конф. Київ, 2025. Вип. 14. С. 42–47. DOI: 10.20535/ngikg2024.XIII*