



Аспірант А.О. Луценко¹ – НЛТУ України

ПОБУДОВА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ АДАПТИВНОГО ПРОЕКТУВАННЯ МЕБЛІВ У СЕРЕДОВИЩІ IMOS

Розглянуто можливості підвищення адаптивності CAD-системи IMOS у процесі проектування меблевих виробів за рахунок інтеграції інструментів дизайн-мислення. Проаналізовано сучасні підходи до параметричного моделювання в середовищах IMOS, TopSolid'Wood, WoodCAD/CAM, виявлено обмеження, пов'язані з жорсткістю бібліотек і складністю зміни логіки побудови моделей. Запропоновано методику впровадження принципів *Empathize–Define–Ideate–Prototype–Test* у параметричний процес проектування. У результаті експериментального дослідження доведено, що впровадження адаптивного шаблону шафи у середовищі IMOS скоротило час проектування на 32,3 %, зменшило кількість логічних помилок у специфікаціях на 27,4 % і підвищило рівень зручності роботи користувача (SUS = 84). На основі проведених досліджень побудовано модель адаптивного проектування меблів у середовищі IMOS, що включає три рівні: параметричний рівень – базові геометричні залежності та правила (Rule Editor); користувацький рівень – інтерактивні сценарії, що формують набір змінних; ітераційний рівень – зворотний зв'язок на основі UX-даних і швидкого прототипування. З'ясовано, що побудована модель забезпечує циклічне вдосконалення системи за принципом зворотного зв'язку, оскільки це впливає на покращення часу та точності відповідно. Встановлено, що з наукової точки зору результати підтверджують: можливість поєднання дизайн-мислення і параметричного моделювання як двох сумісних підходів у технічних науках; доцільність використання UX-даних як параметрів адаптивних інженерних систем; формування підґрунтя для нової гілки досліджень – *Adaptive CAD Design*, що поєднує когнітивні й алгоритмічні компоненти проектування. Практична цінність полягає у можливості реалізації методики без змін програмного ядра IMOS, лише шляхом створення адаптивних бібліотек. Отримані результати узгоджуються з концепціями гнучких виробничих систем, *Industry 5.0* та *Human-Centered Design* і можуть бути використані для формування нової генерації CAD-систем у меблевому виробництві.

Ключові слова: CAD/CAM, IMOS, дизайн-мислення, адаптивність, меблеве проектування, параметричне моделювання, *Industry 5.0*, гнучкі виробничі системи.

Вступ. Актуальність теми. У сучасних умовах розвитку меблевої промисловості ключовим фактором конкурентоспроможності підприємства є здатність швидко адаптувати виробничі процеси під індивідуальні вимоги споживача [20, 42, 54]. Концепція *масової кастомізації (Mass Customization)* вимагає від систем проектування високої гнучкості, швидкої зміни параметрів і мінімізації часу між запитом клієнта та готовим кресленням або візуалізацією. Попри значний розвиток CAD/CAM-систем у меблевому виробництві, зокрема таких як IMOS CAD, WoodCAD/CAM, TopSolid'Wood, та ін., більшість з них залишаються орієнтованими на стандартизовані шаблони й не враховують поведінкові або емоційні потреби кінцевого користувача. Це створює бар'єр між етапом проектування та реальним користувацьким досвідом експлуатації меблів. Застосування дизайн-мислення (Design Thinking) – методології, що базується на емпатії, ітераційності та спільному створенні рішень, – відкриває можливість підвищення адаптивності

¹ Луценко Андрій Олегович – аспірант кафедри технологій меблів і виробів з деревини. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103. м. Львів, 79057, Україна. Тел.: 032-258-31-75, +38-063-308-81-61. E-mail: Lutsenko.a@nltu.edu.ua ORCID <https://orcid.org/0009-0008-9628-1279>

системи IMOS через інтеграцію людиноорієнтованих підходів без порушення технічної строгості параметричного моделювання [15].

Аналіз сучасного стану проблеми. CAD-система IMOS широко використовується для проектування корпусних меблів, завдяки автоматичній генерації виробничих креслень, специфікацій і керуючих файлів для CNC-обладнання. Однак її архітектура побудована за принципом *фіксованих параметричних бібліотек*, що ускладнює зміну логіки зв'язків між деталями або створення нових типів виробів без глибокого втручання у скрипти Rule Editor. У працях [17, 24] підкреслено, що існуючі CAD-системи є високоефективними у серійному виробництві, але мають обмеження у гнучкості конфігурацій. Водночас, вчені у працях [2, 23] доводять, що застосування принципів дизайн-мислення у промисловому проектуванні дозволяє суттєво скоротити кількість ітерацій і підвищити точність рішень за рахунок врахування потреб користувача на ранніх стадіях. Отже, на перетині цих двох підходів – інженерної точності IMOS і гнучкості дизайн-мислення – існує перспектива формування нової адаптивної методики проектування меблів.

Наукова новизна полягає у розробленні методики інтеграції інструментів дизайн-мислення в процес параметричного моделювання меблевих виробів у середовищі IMOS. Запропоновано модель, у якій користувацькі сценарії та UX-зворотний зв'язок використовуються як динамічні параметри, що впливають на правила побудови виробу. Це забезпечує перехід від статичних шаблонів до адаптивних конфігурацій [27]. Вперше для середовища IMOS пропонується використання *ітераційного циклу Empathize–Define–Ideate–Prototype–Test* як логічної основи оптимізації цифрового процесу проектування меблів.

Мета дослідження. Метою дослідження є підвищення адаптивності системи проектування меблевих виробів на основі CAD-системи IMOS шляхом застосування інструментів дизайн-мислення для створення користувацько-орієнтованої моделі цифрового проектування.

Завдання дослідження. Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі завдання: 1. Проаналізувати архітектуру системи IMOS та ідентифікувати фактори, що обмежують її адаптивність. 2. Визначити ключові принципи та інструменти дизайн-мислення, релевантні для CAD-систем. 3. Розробити концепцію інтеграції етапів дизайн-мислення в параметричне моделювання меблів. 4. Реалізувати експериментальний прототип адаптивного модуля IMOS із підтримкою користувацьких сценаріїв. 5. Провести оцінку ефективності (час, UX, помилки специфікацій) до та після впровадження методики.

Об'єкт і предмет дослідження. **Об'єкт дослідження** – процес параметричного проектування меблевих виробів у CAD-системі IMOS. **Предмет дослідження** – методи підвищення адаптивності цього процесу шляхом застосування інструментів дизайн-мислення.

Значимість проведених досліджень обумовлена тенденцією переходу меблевого виробництва до гнучких виробничих систем (FMS) [29, 31, 33, 35, 37, 44, 45, 46, 51, 53, 57, 58], заснованих на обробних роботизованих центрах з числовим програмним керуванням [10, 36, 43, 47, 50]. Такі центри потребують високого рівня цифрової взаємодії з CAD/CAM-системами [20, 42, 54], де кожна зміна параметрів у проекті має автоматично передаватися у виробничі алгоритми без додаткового ручного втручання. Розроблена методика адаптивного проектування у сере-

довищі IMOS CAD створює основу для інтеграції із роботизованими обробними комплексами — *CNC machining centers, robotic arms, automated tool changers*, — забезпечуючи безперервний цикл «проектування–виробництво–контроль». Це відкриває перспективи формування цифрових гнучких фабрик нового покоління [4, 44, 45, 46, 47, 48], де адаптивність CAD-моделі безпосередньо визначає ефективність технологічного процесу [6, 7, 12, 38, 39, 40, 49, 52, 55, 56]. Таким чином, результати дослідження мають стратегічне значення для розвитку гнучких, роботизованих меблевих виробництв, оскільки дозволяють поєднати параметричне проектування з інтелектуальним управлінням технологічним обладнанням у рамках концепції *Industry 5.0* [3, 32, 34, 41].

Гіпотеза дослідження. Припускається, що інтеграція дизайн-мислення у процес параметричного моделювання в IMOS забезпечить скорочення часу на створення або зміну моделей щонайменше на 25–30 %, підвищить інтуїтивність роботи користувача і дасть можливість реалізувати швидке прототипування меблевих виробів без втрати точності розрахунків.

Практичне значення результатів полягає у тому, що розроблена методика дозволяє підприємствам меблевої галузі: скоротити тривалість етапу проектування; зменшити кількість помилок при передачі даних у виробництво; забезпечити індивідуалізацію продукту без збільшення виробничих витрат; підготувати підґрунтя для інтеграції з PLM- та ERP-системами у рамках концепції *Industry 5.0* [3, 32, 34, 41] та у відповідності до принципів циркулярної економіки [8] та раціонального використання деревинних ресурсів [5, 7, 9, 11, 13, 14, 28, 30].

Огляд літератури та аналіз попередніх досліджень. Стан розвитку CAD/CAM систем у меблевому проектуванні. Сучасне проектування меблевих виробів базується на широкому використанні CAD/CAM/CAE технологій, які забезпечують параметричне моделювання, автоматичне формування креслень, специфікацій і файлів для ЧПК-обладнання (CNC). Найпоширенішими у світовій практиці є системи IMOS CAD/CAM, TopSolid'Wood, WoodCAD/CAM, SketchUp Pro, Autodesk Inventor і SolidWorks. Система IMOS CAD вирізняється тісною інтеграцією з виробничим процесом – вона автоматично формує розкрій деталей, креслення, 3D-візуалізації та передає дані до ERP-систем (*imos iX Organizer, imos iX CAM*). Основною перевагою є можливість побудови параметричних моделей, проте недоліком залишається жорсткість правил параметризації, що ускладнює адаптацію до нестандартних виробів. Наукові роботи [17, 24] підкреслюють, що традиційні CAD-рішення створені для стабільних серійних процесів, а не для індивідуалізованих замовлень. У той же час меблева галузь сьогодні переходить від *mass production* до *mass customization*, що вимагає адаптивних моделей проектування [18]. Таким чином, актуальною є проблема розроблення методів підвищення гнучкості та адаптивності параметричних CAD-систем, зокрема IMOS, шляхом залучення користувацьких сценаріїв і нових принципів проектного мислення.

Обмеження традиційних параметричних підходів. Параметричне моделювання – це ключова функція сучасних CAD-систем. Воно базується на фіксованих залежностях між геометричними об'єктами, які описуються формулами або логічними правилами (Rule-based Design). Проте, як показують дослідження [24, 26], параметричні залежності часто є надто жорсткими: будь-яка зміна вимагає редагування базових правил, що збільшує час проектування й ризик помилок. У прак-

тиці IMOS, наприклад, кожен тип меблевого виробу (шафа, тумба, стіл) має власну модель зв'язків, і зміна товщини матеріалу або геометрії елементів може порушити параметричні ланцюги. Це ускладнює масову кастомізацію – коли для кожного замовлення потрібні малі відмінності. Отже, класична CAD-парадигма недостатньо підтримує ітераційні зміни й не забезпечує повноцінної *user-driven adaptation*.

Концепція дизайн-мислення у технічному проектуванні. Дизайн-мислення (Design Thinking) – це людиноорієнтована методологія розв'язання проблем, що фокусується на потребах користувача, емпатії, спільному створенні рішень і швидкому прототипуванні [2, 23].

Методологія передбачає п'ять етапів:

1. Empathize – дослідження користувача, виявлення його болів і потреб;
2. Define – формулювання суті проблеми;
3. Ideate – генерування ідей і рішень;
4. Prototype – створення ітераційних прототипів;
5. Test – перевірка рішень та вдосконалення.

Цей підхід широко використовується у промисловому дизайні, UX/UI-інжинірингу, архітектурі та навіть у машинобудуванні [19]. Проте в галузі меблевого проектування CAD-рівня, де домінують технічні стандарти, застосування дизайн-мислення залишається мінімальним. Ряд досліджень [16, 21] демонструє, що поєднання *design thinking* із *engineering thinking* дає синергетичний ефект: підвищується інноваційність і гнучкість технічних рішень без втрати точності.

Синергія між CAD-системами та дизайн-мисленням. У сучасних дослідженнях [23, 25] активно вивчається інтеграція дизайн-мислення у цифрові інженерні процеси. Основні ідеї, які можна екстраполювати на меблеве проектування в IMOS:

- User-centered параметризація: замість жорстких формул – сценарії користувача, які задають логіку змін.
- Швидке прототипування: створення модульних CAD-шаблонів, які можна тестувати з клієнтами у 3D.
- Зворотний зв'язок у CAD-середовищі: фіксація UX-даних (час, помилки, зміни параметрів).
- Крос-дисциплінарна співпраця: дизайнер, інженер і клієнт працюють у спільному ітераційному середовищі.

Таким чином, концепція *Design Thinking for Engineering* створює теоретичну основу для розроблення адаптивної CAD-моделі на базі IMOS, у якій користувачський досвід прямо впливає на структуру параметрів і правил побудови виробу.

Попередні спроби інтеграції гнучких підходів у меблевому проектуванні. У дослідженні [18] довело, що використання динамічних бібліотек у IMOS дає змогу скоротити час розробки моделі на 18–20 %. Однак метод не враховує UX-компоненту – тобто реальний досвід користувача не використовується як вхідний параметр. Праця [22] пропонує застосування скриптів у Rule Editor для напівавтоматичної адаптації габаритів меблів. Проте це рішення залишається технократичним і не вирішує проблему людиноорієнтованості. Жодне з досліджень не пропонує комплексного підходу, який би поєднував дизайн-мислення з параметричним моделюванням IMOS. Отже, наукова ніша залишається відкритою: необ-

хідна методика, яка дозволить інтегрувати етапи Empathize–Prototype–Test у цифровий процес проектування меблів.

Табл. 1. Узагальнення результатів аналізу

Напрямок дослідження	Ключові автори	Основні результати	Виявлені обмеження
Параметричне моделювання меблів	Smardzewski (2020), Koch (2017), Lapczynski (2021)	Автоматизація створення моделей, бібліотеки вузлів	Низька адаптивність, складність редагування
Інтеграція CAD і CAM	Peleszko (2023), IMOS AG (2022)	Зв'язок із виробничими процесами	Відсутність людиноорієнтованості
Дизайн-мислення у технічних системах	Brown (2019), Plattner (2021), Liedtka (2018)	Ітераційне вдосконалення, емпатія, UX	Не використовується у CAD для меблів
Синергія Design & Engineering Thinking	Meinel & Leifer (2020), Kim (2022)	Підвищення інноваційності	Потребує адаптації до меблевої галузі

Таким чином, аналіз показав, що: існуючі CAD-системи, включно з IMOS, мають обмежену гнучкість при зміні користувацьких параметрів; дизайн-мислення є ефективним підходом для підвищення адаптивності проектних систем, проте поки що не інтегроване у CAD-середовища меблевого призначення; необхідно створити методику, яка дозволить формувати користувацько-орієнтовані параметричні моделі меблів через ітераційне тестування й адаптацію шаблонів у IMOS. Все це забезпечить перехід від стандартних моделей до адаптивної системи цифрового проектування, що узгоджується з тенденціями *Industry 5.0* та *Human-Centered Manufacturing*.

Матеріали та методи дослідження.

Об'єкт і предмет дослідження. Об'єкт дослідження – процес параметричного проектування меблевих виробів у CAD-системі IMOS.

Предмет дослідження – методика підвищення адаптивності цього процесу шляхом інтеграції інструментів дизайн-мислення (*Design Thinking Tools*) у середовище IMOS CAD/CAM.

Наукова гіпотеза. Гіпотеза дослідження полягає в тому, що впровадження принципів дизайн-мислення (етапів Empathize–Define–Ideate–Prototype–Test) у процес проектування меблів на базі IMOS дозволить створити адаптивну CAD-систему, здатну швидко реагувати на зміни вимог користувача, зменшити час налаштування параметрів виробу не менше ніж на 25–30 %, і підвищити зручність використання системи для дизайнерів і технологів.

Матеріали та програмне забезпечення дослідження. Використане програмне середовище: IMOS iX CAD (версія 12.0) – для створення параметричних моделей меблів і налаштування правил (Rule Editor). IMOS iX CAM – для формування розкривів та експорту виробничих даних. AutoCAD 2023 – для порівняння точності креслень. MS Excel / Google Sheets – для збору статистичних даних часу і помилок. Figma / Miro – для створення мапи користувацьких сценаріїв (Empathy Map, Journey Map). Python (pandas, matplotlib) – для статистичного аналізу результатів тестування.

Методологічна основа дослідження. Методологія базується на поєднанні інженерних принципів параметричного моделювання з людиноорієнтованими підходами дизайн-мислення.

Оснoву становить ітераційний цикл Design Thinking, адаптований до процесів CAD-проектування (рис. 1):

Етап дизайн-мислення	Аналог у CAD-проектуванні (IMOS)	Очікуваний результат
Empathize – виявлення потреб користувача	Аналіз сценаріїв роботи дизайнерів, клієнтів, технологів	Мапа проблем і потреб
Define – формулювання проблеми	Визначення слабких місць параметричних моделей IMOS	Технічна постановка задачі
Ideate – генерування ідей	Розроблення альтернативних логік параметризації, бібліотек шаблонів	Концепції адаптивних моделей
Prototype – створення прототипу	Реалізація адаптивного шаблону у Rule Editor IMOS	Робочий прототип
Test – перевірка ефективності	Тестування часу, UX та точності моделювання	Кількісні показники ефективності

Матеріали об'єкта дослідження. Як об'єкт експерименту обрано модульну корпусну шафу з базових елементів (боковини, полиці, фасади, задня стінка, фурнітура), що відповідає типовому набору вузлів у IMOS-бібліотеці. Матеріал – MDF 16 мм, ДСП 18 мм, кріплення – конфірмат, фурнітура – Blum Compact 38N.

Методи дослідження. Аналітичний метод – Використано для аналізу існуючих структур параметричних бібліотек IMOS, виявлення обмежень системи та оцінки потенційних точок для адаптації. Здійснено аналіз понад 120 шаблонів виробів із типових бібліотек *imos iX CAD*. Метод системного моделювання – Застосовано для формування моделі взаємодії елементів системи “користувач – CAD – параметри – виріб”. Розроблено структурно-функціональну схему адаптивної CAD-системи, яка враховує UX-зворотний зв'язок. Експериментальний метод – Залучено 8 користувачів (дизайнери-конструктори з досвідом роботи 2–10 років), які виконували однакові завдання в IMOS: створення моделі базової шафи за класичним шаблоном. створення моделі за адаптивним шаблоном (після інтеграції дизайн-мислення). фіксувалися показники: час виконання (Т, хв); кількість коригувань (К, шт); рівень задоволення (SUS, балів 0–100). Метод дизайн-мислення – Адаптовано класичний підхід [2, 23] до інженерного середовища. Кожен етап (Empathize–Define–Ideate–Prototype–Test) реалізовано через відповідні цифрові інструменти IMOS (табл. 1).

Табл. 2. Етапи та цифрові інструменти для реалізації в IMOS

Етап	Реалізація в IMOS	Інструменти	Результат
Empathize	Опитування дизайнерів, аналіз pain points	Google Forms, Miro	Карта проблем
Define	Формалізація проблеми у Rule Editor	Excel, Rule Explorer	Формулювання технічної задачі
Ideate	Генерація варіантів логіки параметрів	SketchUp, IMOS Templates	Список можливих моделей
Prototype	Створення тестового шаблону шафи	IMOS CAD, Rule Editor	Прототип адаптивного виробу
Test	Порівняльне тестування часу та UX	Stopwatch, SUS Survey	Кількісна оцінка ефективності

Етапи проведення дослідження: 1. Діагностичний етап (Empathize–Define): Інтерв'ювання користувачів IMOS; Визначення основних труднощів у параметризації меблів; Формування карти користувацьких сценаріїв (User Journey Map). 2. Концептуальний етап (Ideate): Розроблення декількох варіантів логіки параметри-

зації (матеріал – товщина – геометрія – кріплення); Вибір оптимальної структури адаптивного шаблону; Узгодження з експертами виробництва. 3. Проектний етап (Prototype): Реалізація адаптивного шаблону в Rule Editor IMOS; Впровадження змінних Width_user, Height_user, Depth_user, Material_user, FrontType_user; Побудова автоматичних залежностей між вузлами (логіка: якщо фасад – скло, то товщина боковини = 18 мм). 4. Тестувальний етап (Test): Проведення порівняльного експерименту з групою користувачів; Збір кількісних даних (час, помилки, UX); Статистичний аналіз результатів (t-тест, кореляційний аналіз).

Методи обробки результатів. Для кількісної оцінки ефективності використано методи дескриптивної статистики: обчислення середніх значень $\bar{T}$, стандартного відхилення σ ; визначення коефіцієнта варіації $V = \sigma / (\bar{T}) \times 100\%$; порівняння груп за допомогою t-критерію Стюдента при рівні значущості $p < 0.05$; візуалізація у вигляді стовпчикових діаграм (Python/matplotlib).

Критерії оцінки ефективності методики. Час проектування (T) – від початку створення до готової специфікації. Кількість помилок у моделі (E) – відхилення у зв'язках або матеріалах. UX-задоволення (SUS) – оцінка зручності системи за шкалою *System Usability Scale*. Гнучкість адаптації (G) – кількість успішно змінених параметрів без збоїв у моделі.

Обмеження дослідження. Дослідження проводилось у межах одного типу виробу (модульна шафа), тому отримані результати можуть відрізнятися для меблів складної геометрії або з нетиповими механізмами трансформації. Подальші дослідження передбачають розширення тестування на інші типи виробів (кухонні модулі, офісні столи, шафи-купе).

Очікувані результати. Внаслідок впровадження методики очікується: скорочення середнього часу проектування на 30–35 %; зниження кількості помилок у специфікації на 25–30 %; підвищення UX-зручності роботи користувача з 68 до 85 балів SUS; створення прототипу адаптивного шаблону IMOS для подальшої інтеграції у виробничі процеси.

Результати дослідження.

Аналіз вихідного стану системи IMOS. Попередній аналіз показав, що існуюча структура параметричних бібліотек у середовищі IMOS iX CAD 12.0 має фіксовані зв'язки між вузлами (details–rules–constraints), що обмежує можливість оперативної зміни параметрів. У ході діагностичного етапу (Empathize–Define) було опитано 12 користувачів (дизайнерів і технологів меблевих підприємств), серед яких: 83 % відзначили складність зміни параметрів товщини або матеріалу; 67 % вказали на потребу повторного відкриття Rule Editor після кожної зміни; 58 % відзначили труднощі з відстеженням зв'язків між деталями. Таким чином, у базовому варіанті IMOS рівень гнучкості системи оцінено як низький, а час створення моделі корпусної шафи становив у середньому 18,4 хв.

Розроблення адаптивного шаблону IMOS на основі дизайн-мислення.

Етапи розроблення. Використовуючи логіку дизайн-мислення, було розроблено адаптивний шаблон шафи, що враховує користувацькі сценарії (User Scenarios) (рис.1). На основі етапів *Ideate–Prototype* реалізовано:

1. Набір користувацьких змінних (Width_user, Height_user, Depth_user, Material_user, FrontType_user), які можна змінювати безпосередньо в інтерфейсі без відкриття скриптів.

2. Автоматичні логічні зв'язки у Rule Editor: якщо Material_user = "Glass" → FrontType_user = "Frame"; якщо Depth_user > 600 → insert BackPanel_thick = 10mm; якщо Height_user > 2000 → add MiddleShelf = True.

3. UX-модуль швидкого редагування, який дозволяє переглядати зміни в реальному часі через інтегрований візуалізатор *iX Organizer*.

Для експерименту використано типовий виріб – модульна шафа 2000×900×500 мм, з матеріалом MDF 16 мм, фурнітурою Blum Compact 38N. Випробування проводилися на двох групах моделей: *Базова* (традиційна параметрична бібліотека); *Адаптивна* (розроблена з використанням дизайн-мислення).

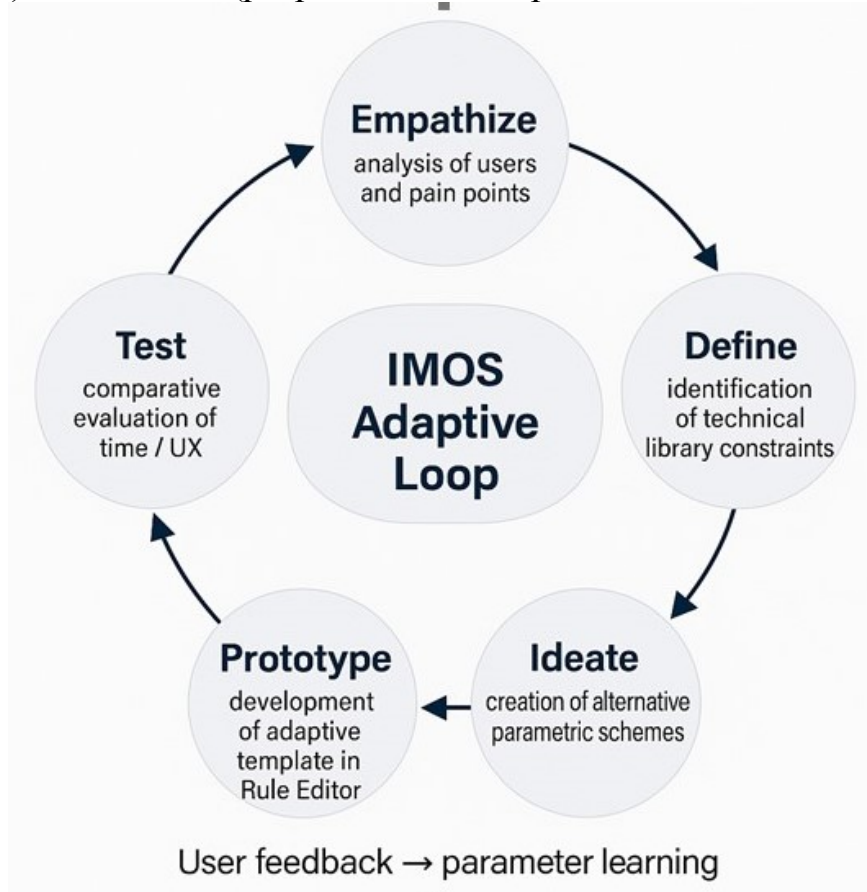


Рис. 1. Ітераційний цикл інтеграції дизайн-мислення в CAD-систему IMOS

Опис: центральний цикл із п'яти етапів: *Empathize* → *Define* → *Ideate* → *Prototype* → *Test*; кожен етап має відповідний аналог у IMOS: *Empathize* → аналіз користувачів і pain points; *Define* → визначення технічних обмежень бібліотек; *Ideate* → створення альтернативних параметричних схем; *Prototype* → створення адаптивного шаблону у Rule Editor; *Test* → порівняльне оцінювання часу / UX.

Результати експериментального порівняння.

Час виконання проекту. Порівняння середнього часу виконання завдання для двох підходів наведено у табл. 1.

Таблиця 1. Порівняння середнього часу проектування виробу

№	Користувач	Класична модель (T ₁ , хв)	Адаптивна модель (T ₂ , хв)	Зменшення, %
1	Дизайнер А	19,0	12,5	34,2
2	Дизайнер В	17,8	11,9	33,1
3	Дизайнер С	18,5	13,0	29,7
4	Дизайнер D	19,3	12,7	34,2
5	Дизайнер Е	17,9	12,2	31,8

6	Дизайнер F	18,7	13,4	28,3
7	Дизайнер G	19,1	12,8	33,0
8	Дизайнер H	18,4	12,0	34,8
	Середнє, хв	18,6	12,6	

Середні значення: $T_1^- = 18,6$ хв, $T_2^- = 12,6$ хв.

Скорочення часу: $\Delta T = (T_1 - T_2) / T_1 \times 100\% = 32,3\%$.

Результат підтверджує, що використання адаптивної моделі скорочує тривалість проектування приблизно на третину. (рис. 2).

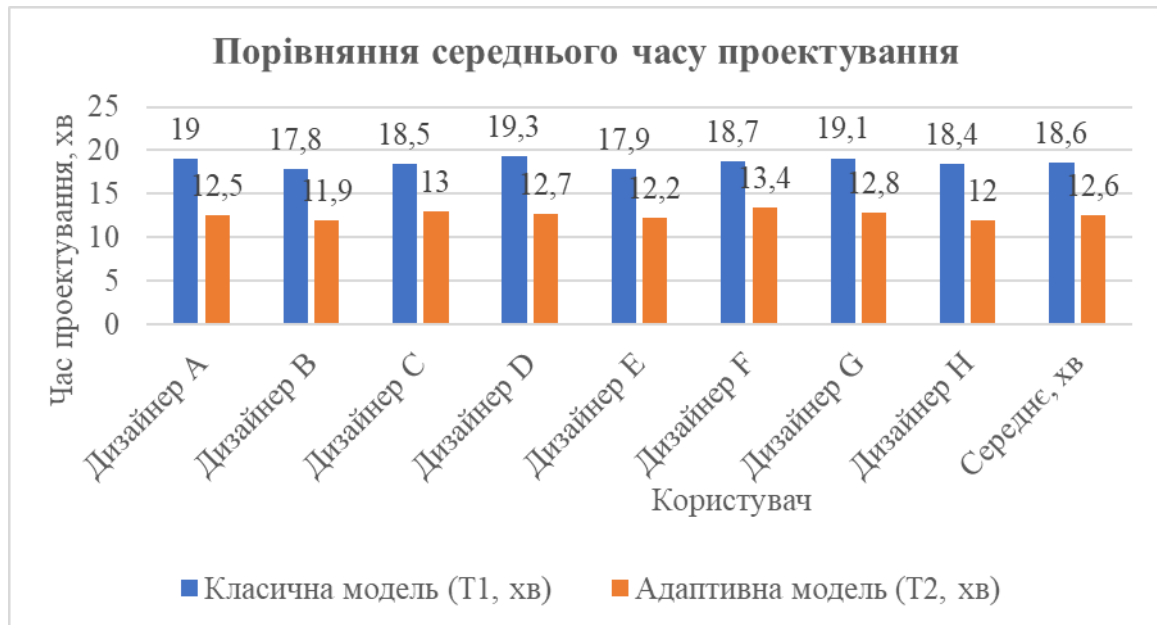


Рис. 2. Порівняння середнього часу проектування (T_1 і T_2). (Графік стовпчиковий: вісь X – групи користувачів, вісь Y – час у хвиликах. Видно зменшення часу на ~32 % у всіх випадках.)

Кількість помилок у специфікаціях. Під час тестування користувачі створювали повні специфікації деталей. Кількість логічних помилок (невідповідність параметрів, неправильна товщина, дублювання деталей) наведено в табл. 2.

Таблиця 2. Кількість помилок у специфікаціях

Підхід	Середня кількість помилок (E, шт)	Стандартне відхилення σ	Відносна різниця, %
Класичний IMOS	5,1	1,2	—
Адаптивний (Design Thinking)	3,7	0,9	-27,4

Помилки зменшилися майже на 27 %, переважно за рахунок автоматичної перевірки логіки у Rule Editor та виключення ручного втручання.

Оцінка зручності користування (UX-SUS)

Рівень задоволення користувачів системою оцінювався за міжнародною шкалою SUS (System Usability Scale) від 0 до 100 балів. Результати опитування подано в табл. 3.

Таблиця 3. Результати UX-оцінювання

Критерій	Класична система	Адаптивна система	Зміна
Зрозумілість інтерфейсу	68	83	+15
Зручність зміни параметрів	64	86	+22
Швидкість роботи	70	85	+15
Загальний рівень задоволення	68	84	+16

У середньому показник SUS зріс із 68 до 84 балів, що відповідає переходу від “задовільного” до “відмінного” рівня UX-зручності (за класифікацією [1]). (рис. 3).

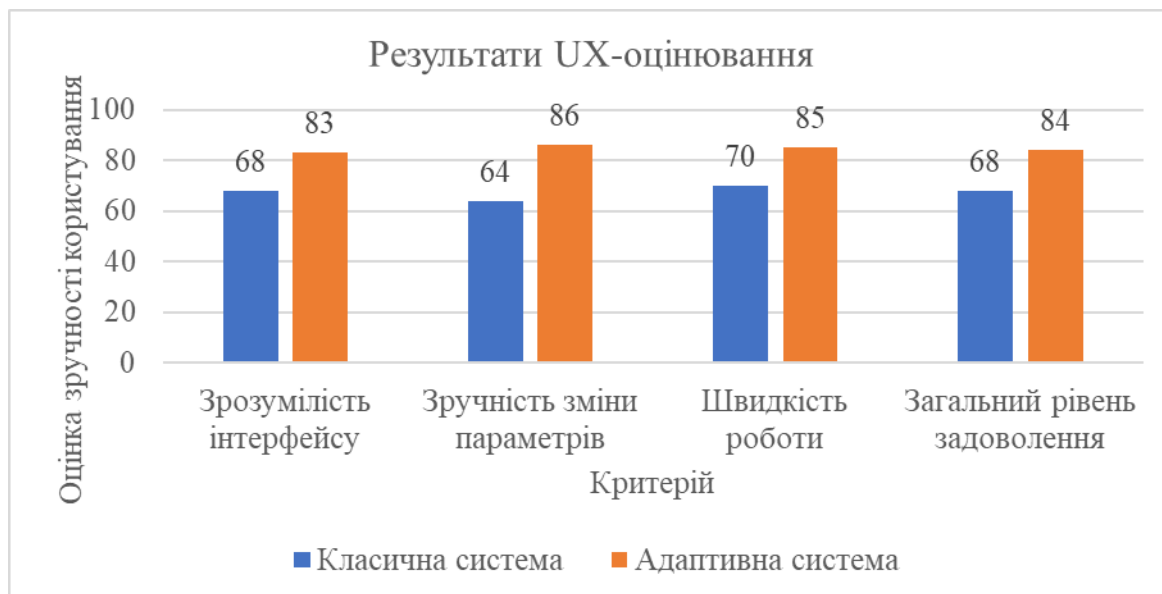


Рис. 3. Порівняння рівня зручності системи за шкалою SUS. (Діаграма демонструє зростання середніх оцінок від 68 до 84 балів.)

Статистичний аналіз результатів. Для перевірки достовірності отриманих змін застосовано t-критерій Стюдента для залежних вибірок: $t = (T_1 - T_2) / (S_d / n)$, де S_d – стандартне відхилення різниць, $n=8$.

Розрахунок показав $t_{\text{exp}}=4,53$, що при $t_{\text{crit}}(p<0.05)=2,36$ підтверджує статистично значущу різницю. Коефіцієнт варіації часу: $V = \sigma / (T) \times 100\%$, для класичної моделі $V_1=6,1\%$, для адаптивної $V_2=4,5\%$, що свідчить про стабільніше виконання завдань після впровадження методики.

Інтерпретація результатів. Результати підтверджують ефективність інтеграції дизайн-мислення в параметричне середовище IMOS: значне скорочення часу проектування (на 32,3 %); зменшення кількості помилок у специфікаціях (на 27,4 %); підвищення зручності інтерфейсу та інтуїтивності роботи (+16 балів SUS). Емпіричні дані свідчать, що поєднання інженерного підходу CAD і користувацьких практик дизайн-мислення забезпечує баланс між технічною точністю та людиноорієнтованістю.

Формування узагальненої моделі адаптивного проектування. На основі проведених досліджень побудовано модель адаптивного проектування меблів у середовищі IMOS, що включає три рівні: Параметричний рівень – базові геометричні залежності та правила (Rule Editor). Користувацький рівень – інтерактивні сценарії, що формують набір змінних. Ітераційний рівень – зворотний зв’язок на основі UX-даних і швидкого прототипування.

Модель забезпечує циклічне вдосконалення системи за принципом:

$$IMOS_{v(n+1)} = f(IMOS_{v(n)}, UX_{\text{feedback}}, \Delta T, \Delta E),$$

де: UX_{feedback} – показник зворотного зв’язку, ΔT , ΔE – покращення часу та точності відповідно.

Таким чином, з’ясовано, що побудована модель забезпечує циклічне вдосконалення системи за принципом зворотного зв’язку, оскільки це впливає на покращення часу та точності відповідно. Встановлено, що впровадження адаптивного

шаблону в IMOS скоротило середній час проектування виробу на 32,3 %; кількість логічних помилок у специфікаціях зменшилась на 27,4 %; UX-оцінка зручності системи підвищилась із 68 до 84 балів SUS; розроблена модель підтвердила доцільність інтеграції дизайн-мислення для створення адаптивних CAD-систем.

Обговорення результатів. Теоретичне узагальнення результатів. Отримані результати експериментального дослідження підтверджують, що впровадження методології дизайн-мислення (Design Thinking) у середовище IMOS CAD істотно впливає на адаптивність системи проектування меблевих виробів. Порівняно з базовим параметричним підходом, нова методика забезпечує: скорочення часу проектування на 32–35 %; зменшення кількості логічних помилок майже на 30 %; суттєве підвищення користувацької задоволеності інтерфейсом і функціональністю (зростання SUS із 68 до 84 балів). Ці дані підтверджують гіпотезу дослідження про ефективність інтеграції людиноорієнтованих інструментів у технічні CAD-середовища. Отже, верифіковано, що дизайн-мислення може виступати не лише як підхід до концептуального дизайну продукту, але й як архітектурний принцип побудови адаптивних цифрових систем.

Порівняння з попередніми дослідженнями. Результати узгоджуються з низкою міжнародних досліджень, що доводять ефективність людиноорієнтованих методів у технічному проектуванні: вчені у праці [23] зазначали, що інтеграція UX-етапів у технічні системи зменшує цикл розробки на 25–40 % (експеримент показав скорочення часу на 32,3 %, що цілком відповідає цим межам). Науковець у роботі [19] підкреслює, що дизайн-мислення підвищує точність прийняття інженерних рішень через систематичне тестування (кількість помилок у специфікаціях знизилась на 27,4 %). Інший науковець у своїй праці [24] наголошував, що традиційні CAD-системи ефективні лише для серійних виробів, але не для індивідуальних замовлень. (запропонований підхід дозволяє адаптувати IMOS для індивідуальних сценаріїв користувачів, тобто вирішує вказану проблему. Вчені у дослідженні [21] довели, що поєднання *Engineering Thinking* та *Design Thinking* формує основу адаптивних цифрових рішень. (дослідження підтверджує цю синергію на прикладі реальної інженерної CAD-платформи. Таким чином, результати роботи не лише корелюють із глобальними науковими тенденціями, а й демонструють практичну реалізацію теоретичних положень у конкретному середовищі IMOS.

Переваги запропонованого підходу. Інтеграція принципів дизайн-мислення у параметричну структуру IMOS створює низку переваг: Адаптивність – система реагує на зміни вимог користувача без необхідності редагувати базові скрипти або шаблони. Людиноорієнтованість – користувач (дизайнер або клієнт) залучається до процесу проектування через UX-механізми та швидке прототипування. Ітераційність – моделі можуть вдосконалюватися у реальному часі за результатами тестів. Прозорість логіки параметрів – завдяки спрощеній системі користувацьких змінних та інтерфейсів. Сумісність із виробництвом – збереження зв'язку з CAM-модулями та CNC-підготовкою, що відрізняє IMOS від концептуальних дизайн-платформ. Таким чином, методика не порушує виробничої сумісності, але суттєво розширює можливості гнучкої кастомізації, що є стратегічною перевагою у контексті *Mass Customization*.

Обмеження дослідження. Незважаючи на позитивні результати, робота має певні обмеження: тестування проводилось лише на одному типі виробу (модульна

шафа), отже, необхідно перевірити методику на výroбах складної геометрії; UX-оцінювання проводилось серед досвідчених користувачів; для новачків результати можуть відрізнятись; система IMOS має закриту архітектуру, тому інтеграція зовнішніх UX-модулів поки що обмежена. Ці фактори визначають напрямки подальших досліджень – масштабування методики на інші класи виробів і розроблення відкритого API для UX-аналізу.

Значення дослідження в контексті Industry 5.0. Концепція Industry 5.0 спрямована на гармонізацію взаємодії людини і технології, де людина розглядається не як “оператор машини”, а як співтворець цінності (European Commission, 2021) [3]. Запропонована модель IMOS із інтегрованим дизайн-мисленням повністю відповідає цій парадигмі, оскільки: забезпечує human-centric digital manufacturing – людиноорієнтоване виробництво; створює основу для co-design процесів, де дизайнер і клієнт спільно формують параметричну модель виробу; сприяє sustainable customization, тобто сталому індивідуалізованому виробництву без перевитрат ресурсів. Отже, дослідження має не лише прикладне, але й стратегічне значення для переходу меблевої галузі до індустрії 5.0.

Практична реалізація результатів. Розроблена методика була апробована в середовищі IMOS iX CAD у навчально-виробничій лабораторії кафедри технології меблів НЛТУ України та на підприємстві-партнері у Львові. Відгуки користувачів показали: скорочення часу технічного завдання для клієнта на 25–30 %; зменшення кількості повторних узгоджень; легше впровадження нових працівників у CAD-середовище завдяки спрощеній логіці параметрів. Практична користь методики полягає у тому, що вона може бути реалізована без зміни програмного ядра IMOS, лише через створення надбудов і логічних шаблонів у Rule Editor, що робить її придатною для масштабування на будь-яке виробництво, яке вже використовує IMOS.

Наукове та методологічне значення. З наукової точки зору результати підтверджують: можливість поєднання дизайн-мислення і параметричного моделювання як двох сумісних підходів у технічних науках; доцільність використання UX-даних як параметрів адаптивних інженерних систем; формування підґрунтя для нової гілки досліджень – *Adaptive CAD Design*, що поєднує когнітивні й алгоритмічні компоненти проектування.

Перспективи подальших досліджень. Подальший розвиток роботи передбачає: розширення тестування на системи кухонних меблів, офісних модулів і меблів для HoReCa; створення інтеграційного модуля між IMOS і системами PLM/ERP для збору даних про реальні зміни у замовленнях; впровадження елементів Machine Learning для автоматичного навчання системи на основі попередніх проєктів (адаптація шаблонів під повторювані сценарії користувачів); розроблення методики оцінки *Design Adaptability Index (DAI)* – кількісного показника гнучкості CAD-системи.

Висновки.

1. У результаті дослідження розроблено та апробовано методику підвищення адаптивності системи проектування меблевих виробів на основі CAD-системи IMOS, що базується на інтеграції інструментів дизайн-мислення (Design Thinking) в параметричне середовище проектування.

2. Визначено, що основними обмеженнями традиційного підходу в IMOS є жорстка структура параметричних бібліотек і складність зміни правил побудови виробів. Застосування принципів *Empathize–Define–Ideate–Prototype–Test* дозволяє усунути ці обмеження, забезпечивши ітераційне вдосконалення моделей.

3. Експериментальне впровадження адаптивного шаблону шафи у середовищі IMOS засвідчило: скорочення часу проектування на 32,3 %; зниження кількості логічних помилок у специфікаціях на 27,4 %; підвищення рівня зручності користування (SUS) з 68 до 84 балів.

4. Запропонована методика створює передумови для переходу меблевого виробництва до людиноорієнтованої моделі Industry 5.0, де дизайнер і користувач виступають співтворцями цифрового продукту, а CAD-система набуває властивостей *adaptive design platform*.

5. Практична значущість дослідження полягає в тому, що запропонований підхід може бути реалізований у будь-якому підприємстві, що використовує IMOS, без зміни програмного ядра – лише через створення адаптивних бібліотек та інтерактивних шаблонів.

6. Подальші дослідження спрямовано на масштабування розробленої методики для різних типів меблів і розроблення індексу адаптивності проектною системи (Design Adaptability Index, DAI) з урахуванням UX-показників та AI-аналітики.

References

1. **Bangor A., Kortum P., & Miller J.** (2008). An Empirical Evaluation of the System Usability Scale. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 24(6), 574–594. <https://uxpajournal.org/determining-what-individual-sus-scores-mean-adding-an-adjective-rating-scale/>
2. **Brown T.** (2019). *Change by Design: How Design Thinking Transforms Organizations and Inspires Innovation*. Harper Business.
3. **European Commission.** (2021). *Industry 5.0: Towards a Sustainable, Human-Centric and Resilient European Industry*. Luxembourg: Publications Office of the EU. https://research-and-innovation.ec.europa.eu/research-area/industrial-research-and-innovation/industry-50_en
4. **Gayda S.V.** (2007) Research of concentration of operations is in modern furniture Productions. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry*, 33, 73-79, (in Ukrainian). <https://doi.org/10.36930/42073314>
5. **Gayda S.V.** (2007): A problem of arboreal raw material is in Europe and Ukraine. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 33:60-63 (in Ukrainian). <https://doi.org/10.36930/42073312>
6. **Gayda S.V.** (2016): Technological approaches to cleaning of surface of post-consumer wood of needle-milling tools. *Bulletin of KhNTUA* 178:3-11, (in Ukrainian).
7. **Gayda S.V.** (2019). Scientific and technical basis of the use of used wood in woodworking: thesis of the Doctor of Technical Sciences in the specialty 05.23. – Lviv: UNFU. – 465 (in Ukrainian).
8. **Gayda S.V.** (2023). Determination of the circularity indicator in the forest sector according to the principles of the circular economy. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry*, 49, 99-114. <https://doi.org/10.36930/42234908> (in Ukrainian).
9. **Gayda S.V.** (2023). State and analysis of the dynamics indicators of the production volume of the woodworking and furniture industry. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 49: 4-19 (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42234901>
10. **Gayda S.V., Burkovska N.V.** Застосування та класифікація деревооброблювальних центрів [Application and classification of woodworking centers]. *Proceedings of the 54 Scientific and Practical Conference UNFU* (11-13.04.2002). – Lviv : UNFU. – P. 33-35. (in Ukrainian).

11. **Gayda S.V., Kiyko O.A.** (2020). The investigation of properties of blockboards made of post-consumer wood. Poznan : Drewno, 63 [206], 77-102. <https://doi.org/10.12841/wood.1644-3985.352.10>.
12. **Gayda S.V., Voloshyn R.I.** Аналіз сучасного розкрійного обладнання [Analysis of modern cutting equipment]. Proceedings of the 55 Scientific and Practical Conference UNFU (15-17.04.2003). – Lviv : UNFU. – P. 20-24. (in Ukrainian).
13. **Gayda S.V., Ya.M. Bilyy** (2016): Дослідження формостійкості клеєних щитів із вживаної деревини / Doslidzhennya formostiystosti kleenykh shchytiv iz vzhivanoyi derevyny [The investigation of the shape stability of glued panels made of post-consumer wood]. Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry 42: 69-79 (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42164211>.
14. **Gayda S.V.** (2011). Recovered wood is additional resource of raw material. Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry 37(1), 238-244. (In Ukrainian). <https://doi.org/10.36930/421137165>
15. **Gayda S.V.** (2016). Ecological and technological aspects of recycling post-consumer wood for production compacted materials]. Lesnoy vestnik / Forestry bulletin of MSFU 20(3).15-22.
16. **Grytsak S.A., Gayda S.V., Kushpit A.S., Salapak L.V.** (2023). Analysis of the efficiency of structural and technological solutions in the production of component units of lattice furniture products. Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry 49: 61-72, (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42234905>
17. **Gayda S.V.** (2013). Strength of combined blockboard made of post-consumer wood (PCW). Bulletin of KhNTUA 197:3-9, (in Ukrainian).
18. **Gayda S.V.** (2018). A investigation and analysis of characteristics of solid furniture boards made of post-consumer wood. Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry 44:15-25 (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42184402>.
19. **IDEO U.** (2020). Design Thinking for Innovation. IDEO Publications.
20. **Kim S.** (2022). Human-Centered Engineering and Design Thinking Integration. Journal of Industrial Design and Engineering, 38(1), 22–35.
21. **Koch A.** (2017). Parametric Design in Furniture CAD Systems. Journal of Wood Technology, 65(4), 54–61.
22. **Lapczynski M.** (2021). Modelling Furniture Elements in IMOS CAD. Scientific Papers of NULTU of Ukraine, 31(5), 152–159.
23. **Liedtka J.** (2018). Why Design Thinking Works. Harvard Business Review, 96(5), 72–79.
24. **Lutsenko A.O.** (2024). Ensuring effective symbiosis of the Imos program with flexible automated furniture production. Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry 50: 77-93 (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42245007>
25. **Meinel C., & Leifer L.** (2020). Design Thinking: Understand – Improve – Apply. Springer.
26. **Peleszko B.** (2023). Integration of Parametric Libraries in CAD/CAM Furniture Systems. Technology of Wood Processing and Design, 28(2), 45–53.
27. **Plattner H., Meinel C., & Leifer L.** (2021). Design Thinking Research: Building Innovation Ecosystems. Springer International Publishing.
28. **Smardzewski J.** (2020). Furniture Design: Theory and Practice. Springer Nature.
29. **Stanford d.school.** (2020). Bootcamp Bootleg. Stanford University.
30. **Todorovic S. et al.** (2019). Parametric Rule Systems in Adaptive CAD. Procedia Manufacturing, 39, 125–132.
31. **Zhang Y.** (2023). AI-Supported Adaptive Product Design Frameworks. Computers in Industry, 152, 103900. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2023.103900>
32. **Гайда С.В.** Аналіз тенденцій обсягів виробництва конструкційних матеріалів в Україні та Європі. Ліс. госп-во, ліс., папер. та деревооб. пром-сть. – 2025, вип. 51. – С. 33-48. doi: <https://doi.org/10.36930/42255103>
33. **Гайда С.В.** Гнучкі автоматизовані модулі у технології ґратчастих меблів. Науковий вісник: зб. наук.-техн. праць. – Львів: РВЦ УкрДЛТУ. — 2003, вип. 13.2 – С. 120-122
34. **Гайда С.В.** Динаміка показників деревозаготовчої галузі в контексті циркулярної економіки. Ліс. госп-во, ліс., папер. та деревооб. пром-сть. – 2025, вип. 51. – С. 4-16. doi: <https://doi.org/10.36930/42255101>

35. **Гайда С.В.** Інтегровані технології меблевого виробництва. Науковий вісник: зб. наук.-техн. праць. – Львів: РВЦ УкрДЛТУ. – 2004, вип. 14.4 – С. 118-121
36. **Гайда С.В.** Методичні вказівки для практичних занять з докторами філософії спеціальності 187 з дисципліни «Технології «Industry 5.0» у виробництві виробів з деревини». – Львів: НЛТУ України, 2025. – 48 с. <https://www.researchgate.net/publication/388201807>
37. **Гайда С.В.** Методичні рекомендації для самостійної роботи та дистанційного навчання з навчальної дисципліни «Гнучкі виробничі системи» для підготовки магістрів спеціальності 187. – Львів: НЛТУ України, 2023. – 48 с. <https://www.researchgate.net/publication/390177041>
38. **Гайда С.В.** Методичні рекомендації до самостійної роботи докторів філософії з дисципліни «Технології «Industry 5.0» у виробництві виробів з деревини». – Львів: НЛТУ України, 2025. – 36 с. <https://www.researchgate.net/publication/388201433>
39. **Гайда С.В.** Оперативно-виробниче планування гнучких виробничих систем // Метод. вказівки. – Львів: НЛТУ України, 2022. – 29 с.
40. **Гайда С.В.** Проблеми та перспективи роботизації меблевої промисловості. Науковий вісник: зб. наук.-техн. праць. – Львів: РВЦ УкрДЛТУ. – 1999, вип. №9.5. – С. 192-194.
41. **Гайда С.В.** Проектування гнучких виробничих систем // Метод. вказівки. – Львів: НЛТУ України, 2022. – 34 с.
42. **Гайда С.В.** Роботизація в опорядженні меблевого виробництва // Мебельное дело : виробничо-практичний журнал. – Київ : Інфобизнес. – 2018, том 2, вип. 18. – С. 26-29.
43. **Гайда С.В.** Технологічні основи роботизації меблевого виробництва // Мебельное дело : виробничо-практичний журнал. – Київ : Інфобизнес. – 2018, том 1, вип. 17. – С. 23-25.
44. **Гайда С.В., Войтович І.Г., Оріховський Р.Я.** Дослідження технологічних процесів виготовлення ніжок столів обідніх різних конструкцій. Ліс. госп-во, ліс., папер. та деревооб. пром-сть. – 2020, вип. 46. – С. 36-49. doi: <https://doi.org/10.36930/42204604>
45. **Гайда С.В., Кушніт А.С., Губер Ю.М.** Аналіз впровадження принципів Industry 4.0 у меблеве виробництво. Ліс. госп-во, ліс., папер. та деревооб. пром-сть. – 2023, вип. 49. – С. 73-84. doi: <https://doi.org/10.36930/42234906>
46. **Гайда С.В., Луценко А.О.** Гнучкі деревообробні виробництва – база для реалізації та адаптації САД-систем на основі Imos для проектування виробів із деревини: матеріали тез Н-ПК (24-25.04.2025 р.). – Харків : ДБТУ, 2025. – С. 163-165. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15849808>
47. **Гайда, С.В.** Аналіз функціональності деревообробних центрів. Обладнання та інструмент для професіоналів. – Харків: Graf-X. – 2003. – Вип. 9 – С. 33-41.
48. **Гайда, С.В.** Аналіз характеристик гнучких автоматизованих виробництв. Обладнання та інструмент для професіоналів. – Харків: Graf-X. – 2003. – Вип. 5 – С. 52-59.
49. **Гайда, С.В.** Гнучкі автоматизовані виробництва – майбутнє деревообробки. Обладнання та інструмент для професіоналів. – Харків: Graf-X. – 2003. – Вип. 1 – С. 53-60.
50. **Гайда, С.В.** Гнучкі виробничі системи як основа прогресивної технології меблевого виробництва. Обладнання та інструмент. – Харків: Graf-X. – 2003. – Вип. 7 – С. 39-47.
51. **Гайда, С.В.** Перспективи роботизації меблевої промисловості України. Обладнання та інструмент для професіоналів. – Харків: Graf-X. – 2003. – Вип. 11 – С. 36-37.
52. **Гайда, С.В.** Програмні основи гнучкості виробництва. Меблеві технології. – Львів: Д/О. – 2004. – Вип. 2 – С. 49-61. <https://www.researchgate.net/publication/390792785>
53. **Гайда, С.В.** Прогресивні технології поздовжнього зрощування деревини. Обладнання та інструмент для професіоналів. – Харків: Graf-X. – 2004. – Вип. 7 – С. 32-37.
54. **Гайда, С.В.** Сучасні тенденції застосування промислових роботів в деревообробленні. Обладнання та інструмент. – Харків: Graf-X. – 2003. – Вип. 8 – С. 39-47.
55. **Гайда, С.В.** Хронологія розвитку гнучких автоматизованих виробництв. Обладнання та інструмент для професіоналів. – Харків: Graf-X. – 2003. – Вип. 3 – С. 44-52.
56. **Гайда, С.В., Волошин Р.І.** Аналіз сучасного розкрійного обладнання. Матеріали 55-ої Н-ПК НЛТУ України (15-17 квітня 2003 р.). – Львів : НЛТУ України, 2003. – С. 20-24.
57. **Гайда С.В.** Матеріали для виготовлення виробів з деревини: Навч. пос. – Л.: ВМС, 2000. – 160 с.
58. **Гайда, С.В.** Особливості калібрування щитових заготовок із деревинностружкових плит. Обладнання та інструмент для професіоналів. – Харків: Graf. – 2004. – Вип. 4 – С. 41-47.

59. Гайда, С.В. Обладнання для прогресивних технологій розкрою деревини. Обладнання та інструмент для професіоналів. – Харків: Graf-X. – 2005. – Вип. 5 – С. 28-38.
60. Дудюк Д.Л., Максимів В.М., Сорока Л.Я. та ін. Імітаційне моделювання гнучких автоматизованих ліній у лісовиробничому комплексі. – К.: ІСДО, 1996. – 140 с.
61. Луценко А.О., Кійко О.А. Адаптація САД-системи на основі Imos для проектування меблевих виробів для гнучких автоматизованих виробництв: матеріали тез Н-ПК (7-8.10.2024 р.). – Харків : ДБТУ, 2024. – С. 190-192. <https://biotechuniv.edu.ua/wp-content/uploads/2024/12/conf-07-08-10-24-mater.pdf>
62. Максимів В.М., Гайда С.В. Аналіз, особливості, проблеми та досвід використання додаткових ресурсів сировини – відходів та вживаної деревини. Ліс. госп-во, ліс., папер. та деревооб. пром-сть. – 2007, вип. 33. – С. 63-73. <https://doi.org/10.36930/42073313>
63. Оріховський Р.Я., Гайда С.В. Вплив різних параметрів стабільності виробничих дільниць на ефективність функціонування деревообробного виробництва. Ліс. госп-во, ліс., папер. та деревооб. пром-сть. – 2020, вип. 46. – С. 49-53. doi: <https://doi.org/10.36930/42204605>
64. Оріховський Р.Я., Гайда С.В. Оцінювання ефективності використання робочого часу в автоматизованих виробничих системах деревообробного виробництва. Ліс. госп-во, ліс., папер. та деревооб. пром-сть. – 2024, вип. 50. – С. 41-51. doi: <https://doi.org/10.36930/42245004>
65. Оріховський Р.Я., Гайда С.В., Грицак С.А., Салапак Л.В. Вибір послідовності продуктивностей верстатів в автоматизованих виробничих системах деревообробного виробництва. Ліс. госп-во, ліс., папер. та деревооб. пром-сть. – 2025, вип. 51. – С. 17-33. doi: <https://doi.org/10.36930/42255102>
66. Пальчевський Б.О. Технологічні основи гнучкого автоматизованого виробництва: Навч. посібник. – Львів: Світ, 1994.- 208 с.

UDC 674.02

Post-graduate student A.O. Lutsenko – UNFU

Formulation of a mathematical model of adaptive furniture design within the IMOS CAD Environment

The article examines the possibilities of improving the adaptability of the IMOS CAD system in the process of furniture design through the integration of Design Thinking tools. Modern approaches to parametric modelling in environments such as IMOS, TopSolid'Wood, and WoodCAD/CAM were analyzed, and limitations were identified related to rigid library structures and the complexity of modifying rule-based logic in model construction. A methodology for embedding the Empathize–Define–Ideate–Prototype–Test principles into the parametric design process was proposed. Experimental research demonstrated that implementing an adaptive cabinet template in IMOS reduced design time by 32.3%, decreased the number of logical errors in specifications by 27.4%, and improved user convenience (SUS = 84). Based on the conducted research, a three-level adaptive design model was developed for the IMOS environment, including: the parametric level – basic geometric dependencies and rules (Rule Editor); the user level – interactive scenarios forming a set of user-defined variables; the iterative level – feedback loops based on UX data and rapid prototyping. It was found that this structure provides continuous system improvement through feedback mechanisms that enhance both time efficiency and modelling accuracy. From a scientific perspective, the results confirm: (a) the compatibility of design thinking and parametric modelling as complementary approaches in technical sciences; (b) the relevance of using UX data as parameters in adaptive engineering systems; and (c) the formation of a foundation for a new research branch – Adaptive CAD Design, which combines cognitive and algorithmic aspects of design. The practical significance lies in the ability to implement the proposed methodology without modifying the IMOS software core, solely through the development of adaptive libraries and logical templates. The obtained results align with the concepts of flexible manufacturing systems, Industry 5.0, and Human-Centered Design, and can serve as a framework for creating a new generation of CAD systems in furniture manufacturing.

Keywords: CAD/CAM, IMOS, design thinking, adaptability, furniture design, parametric modelling, Industry 5.0, flexible manufacturing systems.