

ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЙ МОДУЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА НА ДИЗАЙН ІНТЕР'ЄРІВ ЖИТЛОВИХ БУДИНКІВ

Дар'я Колобанова,
<https://orcid.org/0000-0001-8044-5808>,
аспірантка,
Київський національний університет
будівництва і архітектури,
Київ, Україна
kolobanova_da@knuba.edu.ua

IMPACT OF MODULAR MANUFACTURING TECHNOLOGIES ON RESIDENTIAL INTERIOR DESIGN

Daria Kolobanova,
<https://orcid.org/0000-0001-8044-5808>,
PhD Student,
Kyiv National University
of Construction and Architecture,
Kyiv, Ukraine
kolobanova_da@knuba.edu.ua

Анотація

Мета статті полягає у визначенні закономірностей впливу модульної конструктивної системи різного ступеня заводської готовності на формування дизайну житлових інтер'єрів. **Методологія дослідження** ґрунтується на застосуванні методів теоретичного аналізу наукових джерел, порівняльного аналізу модульних житлових систем різного ступеня заводської готовності та узагальнення отриманих результатів. Модульне житло розглядається як інтегрована виробничо-проектна система, у межах якої конструктивні, інженерні та інтер'єрні рішення формуються у взаємозв'язку. **Наукова новизна** полягає в розгляді інтер'єру модульного житла як складника виробничо-проектного процесу. Встановлено залежність характеру формування внутрішнього простору від ступеня заводської готовності конструктивної системи, що проявляється у зміні моменту прийняття інтер'єрних рішень та рівня їхньої інтеграції. Результати дослідження свідчать, що в системах з повною заводською готовністю внутрішній простір формується на ранніх стадіях і реалізується у виробничому середовищі як частина єдиної модульної структури. У системах з частковою заводською готовністю значна частина рішень переноситься на етап будівельної реалізації, що забезпечує більшу варіативність, але знижує рівень попередньої узгодженості. У дослідженні

Abstract

The purpose of this article is to define patterns of influence of modular structural systems with different levels of factory readiness on the formation of residential interior design. **The research methodology** grounds on the application of methods of theoretical analysis of scientific sources, comparative analysis of modular housing systems with different levels of factory readiness, and generalisation of the obtained results. Modular housing is viewed as an integrated production and design system, within which structural, engineering and interior solutions are formed in interrelation. **The scientific novelty** lies in considering the interior of modular housing as a component of the production and design process rather than a final decorative stage. This study establishes the dependence of the nature of interior space formation on the degree of factory readiness of the structural system, which is manifested in the shift in the timing of interior design decisions and the level of their integration. The research results demonstrate that in systems with full factory readiness, the interior space is formed at early design stages and implemented in the manufacturing environment as part of a unified modular structure. In systems with partial factory readiness, a significant part of the decisions is transferred to the construction stage, which ensures greater variability, but still, it reduces the level of prior coordination. The article develops a structural and logical

розроблено структурно-логічну схему формування інтер'єру, що відображає послідовність етапів та зміщення моменту прийняття рішень залежно від рівня заводської готовності, а також аналітичну матрицю, яка систематизує складники інтер'єру за етапами їхнього формування. Крім того, запропонована модель може бути використана у проектній практиці для обґрунтованого вибору модульної системи відповідно до вимог до житлового середовища та прогнозування рівня інтеграції інтер'єрних рішень. Її застосування дає змогу на ранніх стадіях визначити ступінь фіксації просторових, інженерних і предметних складників інтер'єру в межах виробничого процесу й етапу реалізації. **Висновки** підтверджують, що ступінь індустріалізації модульного будівництва визначає морфологію житлового середовища та впливає на просторову організацію та логіку формування інтер'єрних рішень.

scheme of interior formation that reflects the sequence of stages and demonstrates the shift in decision-making depending on the level of factory readiness, as well as an analytical matrix that systematises interior components according to the stages of their formation. In addition, the proposed model can be used in design practice to justify the selection of a modular system according to the requirements of the residential environment and to predict the level of integration of interior solutions. Its application makes it possible to determine at early stages the degree of fixation of spatial, engineering and furnishing components within the production process and the construction stage. **The conclusions** confirm that the level of industrialisation of modular construction determines the morphology of the residential environment and influences spatial organisation and the logic of interior design decision-making.

Ключові слова:

модульне житло, індустріалізоване будівництво, дизайн інтер'єру, житлове середовище.

Keywords:

modular housing, industrialised construction, interior design, residential environment.

Вступ **1**

Сучасний етап розвитку житлового будівництва характеризується активним впровадженням індустріалізованих технологій, зокрема фабричного виробництва елементів будівель. Умови зростання вартості будівництва, дефіцит трудових ресурсів, потреба в скороченні термінів реалізації проектів та підвищення енергоефективності зумовлюють пошук нових моделей організації будівельного процесу. Одним із перспективних напрямів є розвиток модульного житла різного ступеня заводської готовності.

Попри значну кількість досліджень, присвячених конструктивним, технологічним та економічним аспектам фабрично виготовленого житла, питання впливу рівня заводської готовності модульної системи на формування дизайну житлових інтер'єрів залишається недостатньо систематизованим. У традиційній практиці проектування інтер'єру розглядається як похідний етап, що реалізується після зведення конструктивної основи. Водночас у системах високої заводської готовності інтер'єр набуває статусу інтегрованого компонента конструктивно-виробничої моделі та формується на ранніх етапах проектування з урахуванням вимог заводського виготовлення, транспортування й монтажу. У наявних дослідженнях питання внутрішнього середовища переважно розглядається через окремі функціональні елементи, зокрема кухонні та санітарно-технічні

модулі, які є готовими компонентами ще на стадії проектування (Lessing et al., 2015; Kim, 2025; Jaillon & Poon, 2009). Проблема теоретичного опрацювання теми полягає у відсутності цілісної аналітичної моделі, що дає змогу встановити взаємозв'язок між ступенем індустріалізації будівельної системи та характером формування житлового інтер'єру, зокрема його просторової організації, інженерної інтеграції, меблевих стратегій та естетичних рішень. Недостатнє врахування цього взаємозв'язку у проектній практиці призводить до розриву між архітектурно-конструктивними та інтер'єрними рішеннями.

Актуальність дослідження зумовлена потребою в системному осмисленні впливу технології виробництва модульного житла на формування внутрішнього середовища в умовах поширення індустріалізованого будівництва, зокрема у сфері доступного, соціального і тимчасового житла. Виявлення та систематизація зазначених закономірностей створює підґрунтя для формування підходів до проектування інтер'єру, узгоджених із технологічними та конструктивними параметрами модульної системи.

Мета дослідження **2**

Мета дослідження – визначити й систематизувати закономірності впливу модульної конструктивної системи різного ступеня заводської готовності на формування дизайну житлових інтер'єрів, а також розробити аналітичну модель взаємозв'язку між ступенем індустріалізації будівництва та просторово-функціональними, інженерними й естетичними характеристиками внутрішнього середовища модульних житлових будинків.

Методологія та аналіз джерельної бази **3**

У межах дослідження модульне житло розглядається як система взаємопов'язаних компонентів: конструктивної структури (тип модуля, габарити, стикові вузли), інженерних рішень (інтеграція комунікацій, технічні зони), рівня заводської готовності (ступінь інтеграції оздоблення й обладнання) та інтер'єрних параметрів (функціональне зонування, меблеві системи, декоративні елементи). Взаємодія цих компонентів визначає принципи формування внутрішнього середовища та сценарії його використання.

У процесі аналізу опрацьовано дві групи джерел. Перша група охоплює дослідження, присвячені загальним засадам індустріалізованого модульного будівництва, у яких модульна архітектура та дизайн розглядаються як інтегрована виробничо-просторова система (Д. Воллес (D. Wallace, 2021); С. Кім (Kim, 2025); Л. Жаййон і Ч. Пун (Jaillon & Poon, 2009); А. Дарко та ін. (Darko et al., 2020); М. Камалі і К. Хевадж (Kamali & Hewage, 2016); В. Пан та ін. (Pan et al., 2012); Р. Сміт (Smith, n.d.)). У цих роботах підкреслюється поєднання проектування, виробництва та монтажу в еди-

ний процес, що впливає на характер формування житлового середовища, а також розглядаються питання життєвого циклу, сталості та факторів упровадження модульного будівництва.

Друга група джерел зосереджена на дослідженнях, що деталізують вплив технологічних і конструктивних параметрів на організацію інтер'єру. Зокрема, С. Кім (Kim, 2025) розглядає перенесення інтер'єрних рішень на ранні стадії проектування, І. Зогуріан та ін. (Zohourian et al., 2025) акцентують на ролі виробничого контролю якості, а Ю.-В. Лім та ін. (Lim et al., 2022) – значенні цифрової координації інженерних систем. Д. Ллука (D. Lluca, 2024) відзначає доцільність інтеграції оздоблювальних та меблевих елементів у структуру модуля на етапі виробництва.

Вплив конструктивної системи на формування інтер'єру розкривається в роботах Й. Лессінг та ін. (Lessing et al., 2015), де підкреслюється, що стандартизація й габаритні обмеження модулів визначають планувальну структуру простору. Водночас І. Вуні та Г. Шень (Wuni & Shen, 2020) і С. Чжан та ін. (Zhang et al., 2014) звертають увагу на технологічні й організаційні обмеження індустріалізованого будівництва, що також впливають на формування внутрішнього середовища.

Окремі дослідження (Х. Луо та ін. (Luo et al., 2024); П. Феменіас і Ф. Жеромел (Femenias & Geromel, 2020); Ву Шилін (Wu, 2022)) фокусуються на параметрах внутрішнього середовища та ролі меблевих систем у забезпеченні функціональної адаптивності інтер'єру, розглядаючи модуль як базову координатну одиницю організації простору та меблі як ключовий інструмент його трансформації. У дослідженні Г. Ю та ін. (Yu et al., 2019) доведено, що модульний підхід до формування предметного середовища зумовлює організацію інтер'єру через комбінування й трансформацію елементів, що сприяє адаптації простору до заданих габаритних і функціональних обмежень.

Методи дослідження містять: порівняльний аналіз (зіставлення модульних систем різного ступеня заводської готовності та особливостей організації інтер'єру на різних стадіях реалізації), морфологічний аналіз (виокремлення складників інтер'єру та встановлення їхнього розподілу між виробничим процесом і будівельною реалізацією).

Результати дослідження **4**

Формування житлового інтер'єру в умовах модульного будівництва розглядається як поетапно організований процес, що охоплює стадії від аналізу вихідних даних до реалізації середовища та передбачає послідовність взаємопов'язаних проектно-будівельних дій. У дослідженнях модульного будівництва (Wuni & Shen, 2020; Lim et al., 2022) початковим етапом прийняття проектних рішень є аналіз вихідних даних, у межах

якого здійснюється оцінка умов реалізації проекту і техніко-економічних параметрів модульної конструктивної системи.

Перший етап охоплює аналіз соціальних, просторово-контекстуальних, нормативних та конструктивних чинників, що визначають вибір типу модульної системи. Соціальні чинники включають вимоги до типу житла, сценарії використання простору та рівень адаптивності середовища, що є особливо актуальним для тимчасового або доступного житла. Просторово-контекстуальні умови охоплюють характеристики ділянки, щільність забудови, транспортні обмеження та можливості монтажу модулів (Zhai et al., 2014; Kamali & Hewage, 2016). Нормативні вимоги регламентують допустимі габарити модулів, умови транспортування, пожежну безпеку та інженерне забезпечення, що безпосередньо впливає на параметри внутрішнього простору. У дослідженнях (Lawson et al., 2014; Smith, n.d.; Lessing et al., 2015) підкреслюється, що ці чинники формують вихідні обмеження для подальших планувальних і конструктивних рішень.

Проведений аналіз свідчить, що на цьому етапі визначаються вихідні умови та обмеження, які впливають на подальші просторові та конструктивні рішення. Водночас цей етап є спільним для всіх типів модульних систем, оскільки забезпечує вихідні дані для формування інтер'єру незалежно від ступеня заводської готовності.

Після етапу аналізу вихідних даних здійснюється вибір типу модульної системи відповідно до виявлених вимог, що визначає подальшу організацію проектування, виробництва й реалізації. Подальший розвиток процесу може відбуватися за різними сценаріями залежно від обраного типу системи. Для їхнього структурованого розгляду використано підхід, представлений в аналітичному звіті «An Exploratory Study of Factory-Built Homes and Their Implications for Affordability» (U.S. Department of Housing and Urban Development, 2017), оскільки в ньому модульні системи розглядаються через ступінь перенесення будівельних процесів у виробниче середовище. Така логіка дає підстави співвіднести конструктивні рішення з етапами проектування, виготовлення та реалізації, що є принципово важливим для аналізу послідовності формування інтер'єру. З огляду на це, зазначений підхід було узагальнено до двох типів систем, що відображають принципово різні моделі організації процесу: системи з повною заводською інтеграцією та системи з частковою заводською готовністю.

У системах з повною заводською готовністю проектування виробництво й монтаж розглядаються як взаємопов'язані етапи єдиного процесу, що передбачає високий рівень координації конструктивних, інженерних та планувальних рішень у межах цифрової моделі. В. Пан та ін. (Pan et al., 2012) наголошують, що

в умовах застосування заводського виготовлення ефективність реалізації проекту значною мірою залежить від попереднього узгодження рішень, що дає змогу забезпечити прогнозованість витрат і результатів на етапі реалізації. Ю. Ло та ін. (Luo et al., 2024) інтерпретують ці процеси в контексті індустріалізації будівництва, де поєднання проектування та виробництва сприяє підвищенню узгодженості елементів. Важливими також є ергономічні аспекти, які враховуються на цьому етапі та передбачають узгодження параметрів людського тіла із просторовими характеристиками середовища, що забезпечує ефективне використання обмеженого об'єму (Trisno et al., 2020). Отже, інтегрована організація проектно-виробничого процесу формує замкнену систему прийняття рішень, у якій стандартизація конструктивної основи трансформується в уніфікацію просторових, функціональних та естетичних параметрів інтер'єру.

Особливості світлового середовища в таких інтер'єрах пов'язані з його попереднім проектуванням як складника просторової композиції. Розташування джерел світла, їхня інтенсивність та характер освітлення визначаються з урахуванням геометрії модуля і функціонального зонування, що відповідає принципам формування візуального комфорту та ієрархії простору (Steffy, 2002). Отже, освітлення в умовах повної заводської інтеграції виступає заздалегідь визначеним елементом просторової структури, що обмежує можливості його подальшої трансформації в процесі експлуатації.

У дослідженнях, присвячених модульному проектуванню та предметному наповненню середовища, вбудовані меблі та обладнання розглядаються як елементи, інтеграція яких може відбуватися на різних стадіях формування об'єкта. Зокрема, Ву (Wu, 2022) зазначає, що в модульних системах меблі можуть проектуватися як частина єдиної цифрової моделі та інтегруватися в структуру модуля з урахуванням інженерних мереж і габаритних обмежень. Подібний підхід також відображено в роботах Ло та ін. (Luo et al., 2024), де підкреслюється роль стандартизації та координації елементів у забезпеченні узгодженості просторових і предметних рішень. Отже, рівень інтеграції вбудованих меблів визначається стадією їхнього включення у проектно-виробничий процес: у більш інтегрованих системах вони формуються як частина модульної структури, тоді як у менш інтегрованих – залишаються відносно автономними елементами.

У системах з частковою заводською готовністю виробнича координація зосереджується переважно на формуванні конструктивної оболонки та базовій інтеграції інженерних мереж. За таких умов проектні рішення не фіксуються повністю на ранніх стадіях, а уточнюються в процесі реалізації, що зу-

мовлено розмежуванням етапів проектування, виробництва та монтажу (Zhang et al., 2014; Kamali & Hewage, 2016; Darko et al., 2020). Це визначає нижчий рівень попередньої деталізації та формування частини рішень безпосередньо на будівельному майданчику. Відповідно, такі системи характеризуються відкритішою моделлю організації процесу, у якій внутрішнє середовище не є повністю заданим на виробничому етапі. Просторова структура при цьому задається геометрією конструктивної системи та розташуванням основних інженерних вузлів, тоді як планувальні, оздоблювальні й предметні рішення зберігають вищий ступінь варіативності. Це забезпечує адаптаційний потенціал середовища, водночас підвищуючи залежність якості інтер'єру від точності виконання робіт і рівня координації між учасниками процесу.

Узагальнення наведених підходів виявляє принципову відмінність у розподілі обсягу робіт між виробничим етапом і етапом реалізації. У системах з повною заводською готовністю на виробничому етапі зосереджується основний обсяг робіт із формування внутрішнього середовища, включаючи інтеграцію інженерних систем, виконання оздоблювальних робіт і встановлення вбудованих елементів. Натомість у системах з частковою заводською готовністю на цьому етапі формується переважно конструктивна основа та здійснюється базова інженерна підготовка.

Наступним етапом у структурі формування житлового об'єкта є будівельна реалізація, у межах якої відбувається безпосереднє втілення проєктних рішень. У системах із повною заводською готовністю будівельна реалізація зводиться до монтажу об'ємних модулів, їхнього точного позиціонування та з'єднання, а також підключення інженерних систем. М. Лоусон та ін. (Lawson et al., 2014) зазначають, що на цьому етапі основна увага приділяється забезпеченню точності стикування елементів і контролю геометрії, оскільки більшість конструктивних та інженерних рішень реалізується ще у виробничих умовах. Дж. Гібб (Gibb, 1999) відзначає, що перенесення основних операцій у виробниче середовище сприяє значному скороченню обсягів «мокрих» процесів на майданчику та зменшенню тривалості будівництва.

У системах із частковою заводською готовністю будівельний майданчик виконує значно ширшу функцію. Х. Чжан а ін. (Zhang et al., 2014) зазначають, що на цьому етапі здійснюється не лише монтаж конструктивної системи, а й прокладання інженерних мереж і виконання оздоблювальних робіт, які не були інтегровані у виробничий процес. А. Камалі та К. Хевадж (Kamali & Hewage, 2016) розглядають таку організацію будівництва як процес, у межах якого проєктні рішення уточнюють-

ся та адаптуються безпосередньо в умовах будівельного майданчика.

Окрему увагу приділено послідовності виконання робіт. У дослідженнях зазначається, що в разі часткової заводської готовності процес набуває переважно лінійного характеру, де монтаж конструкції, інженерні роботи й оздоблення виконуються послідовно, що впливає на тривалість реалізації та обмежує можливості паралельного виконання процесів (Gibb, 1999; Kamali & Hewage, 2016).

Отже, проведений аналіз свідчить, що характер будівельної реалізації визначається рівнем інтеграції виробничих процесів і по-різному формує роль будівельного майданчика в загальній структурі проекту. У разі повної заводської готовності він виконує функцію точного монтажу попередньо виготовлених елементів, що забезпечує високу передбачуваність результату і стабільність якості. Натомість у системах із частковою заводською готовністю майданчик стає середовищем безпосереднього формування простору, де значна частина рішень формується у процесі виконання робіт.

Завершальний етап формування житлового об'єкта відображає наслідки різної логіки організації проектно-виробничого процесу та ступеня інтеграції рішень. Характер сформованого інтер'єру визначається співвідношенням попередньої міждисциплінарної координації та обсягу рішень, які уточнюються на пізніших стадіях, що впливає на рівень цілісності, узгодженості й адаптивності внутрішнього середовища.

На основі порівняльного аналізу модульних систем різного ступеня заводської готовності та узагальнення наукових підходів до організації проектно-виробничого процесу встановлено відмінності в послідовності формування житлового інтер'єру, що дало змогу систематизувати виявлені закономірності й представити їх у вигляді структурно-логічної схеми (рис. 1).

Розроблена структурно-логічна схема відображає залежність характеру формування житлового інтер'єру від рівня заводської готовності модульної конструктивної системи та демонструє зміщення моменту прийняття проектних рішень у межах повної та часткової виробничої інтеграції.

У практиці проектування це забезпечує більш обґрунтований вибір конструктивної системи відповідно до вимог до житлового середовища, а також дає підстави прогнозувати рівень варіативності простору, ступінь інтеграції інженерних рішень та характер формування предметно-просторового середовища.

Окрім того, модель може бути використана як інструмент концептуалізації модульного проектування, оскільки дає змогу співвіднести просторові, технологічні й естетичні параметри інтер'єру з логікою виробничого процесу. Це створює підґрунтя

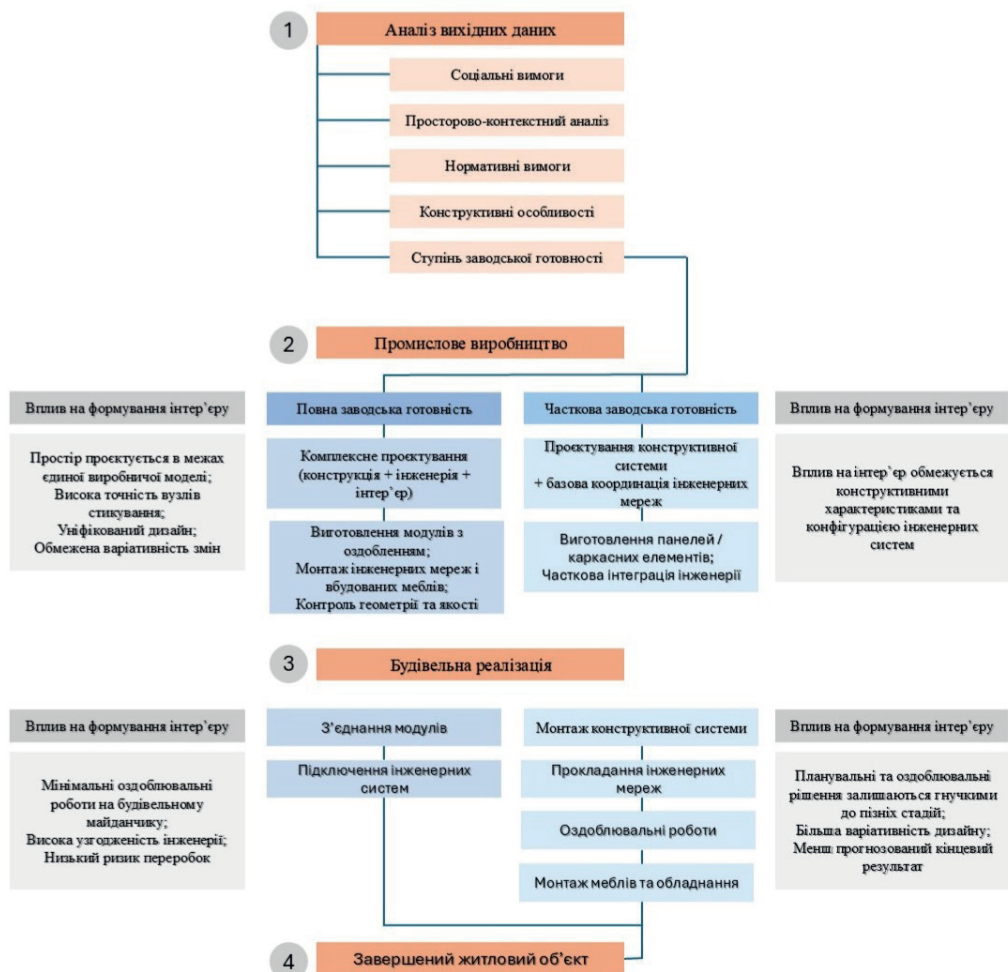


Рис. 1. Порівняльна схема поетапного формування модульного житлового об'єкта за умов повної та часткової заводської готовності.

Fig. 1. Comparative diagram of the step-by-step formation of a modular residential unit under full and partial factory completion.

для формування цілісних проєктних рішень, у яких інтер'єр розглядається не як окремий етап, а як інтегрований складник індустріалізованого житлового середовища.




Для узагальнення отриманих результатів та виявлення закономірностей формування інтер'єру модульного житла відповідно до етапів проєктно-реалізаційного процесу розроблено аналітичну матрицю, яка відображає віднесення основних складників інтер'єру до відповідних етапів залежно від ступеня заводської готовності модульної системи. Матриця сформована на основі проведеного аналізу особливостей організації

проекування, промислового виробництва та будівельної реалізації модульних систем, що дало змогу узагальнити розподіл процесів формування внутрішнього середовища між виробничим середовищем та будівельним майданчиком.

Таблиця 1. Розподіл складників інтер'єру за етапами формування залежно від ступеня заводської готовності модульної системи.

Table 1. Distribution of interior components across formation stages depending on the level of factory readiness of the modular system.

Складова інтер'єру	Повна заводська готовність	Часткова заводська готовність
Опорна конструктивна система		
Планувальна структура		
Інженерні системи		
Вузли примикання		
Оздоблення		
Вбудовані меблі та обладнання		
Освітлювальні електричні прилади		

-  • складник формується переважно у виробничому середовищі;
-  • складник частково формується у виробничому середовищі та уточнюється під час будівельної реалізації;
-  • складник формується переважно на будівельному майданчику.

Джерело: складено автором
Source: created by the author

Отже, узагальнення даних таблиці свідчить, що спільною для обох типів систем є визначальна роль конструктивної основи, яка задає базові просторові параметри інтер'єру незалежно від рівня заводської готовності. Водночас відмінності полягають у ступені перенесення формування складників інтер'єру між виробничим середовищем і будівельним майданчиком: при вищому рівні інтеграції переважає їхня попередня визначеність й узгодженість, тоді як у менш інтегрованих системах зростає роль поетапного уточнення та варіативності рішень.

Наукова новизна та практична значимість дослідження **5**

Наукова новизна дослідження полягає в системному аналізі взаємозв'язку між рівнем виробничої готовності модульного житла та механізмом формування дизайну інтер'єру. Запропоновано модель, що дає змогу розглядати інтер'єр не як автономний декоративний компонент, а як результат перерозподілу проектних рішень у межах виробничо-будівельного циклу.

Висновки **6**

Узагальнення наукових підходів до модульного будівництва засвідчило, що інтер'єр житлових модульних будинків доцільно розглядати як складник виробничо-проектної системи, у межах якого ступінь заводської готовності визначає логіку його формування. Інтер'єр у цьому контексті є не завершальним етапом після зведення конструкції, а інтегрованим елементом процесу,

що формується у взаємозв'язку із конструктивними та інженерними рішеннями.

Рівень індустріалізації конкретизується через момент прийняття інтер'єрних рішень, ступінь їхньої міждисциплінарної координації та характер просторової організації житлового середовища. У системах із повною заводською інтеграцією інтер'єр формується на ранніх стадіях і реалізується у виробничому середовищі, що забезпечує його цілісність, геометричну точність та узгодженість складників. Натомість у системах із частковою заводською готовністю формування інтер'єру відбувається переважно на етапі будівельної реалізації, що підвищує варіативність середовища, але знижує рівень попередньої інтеграції рішень.

Перерозподіл процесів формування інтер'єру між виробничим середовищем і будівельним майданчиком має законний характер та безпосередньо залежить від ступеня заводської готовності модульної системи. Підвищення рівня індустріалізації супроводжується перенесенням інтер'єрних рішень у виробничу фазу, тоді як його зниження зумовлює їхню реалізацію у процесі будівництва.

Отже, тип виробничої моделі модульного житла є структуро-твірним чинником, що визначає принципи організації інтер'єру, рівень інтеграції його складників та характер просторової композиції житлового середовища.

Список бібліографічних посилань

- Darko, A., Chan, A. P. C., Yang, Y., & Tetteh, M. O. (2020). Building information modeling (BIM)-based modular integrated construction risk management – Critical survey and future needs. *Computers in Industry*, 123, Article 103327. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103327>
- Femenias, P., & Geromel, F. (2020). Adaptable housing? A quantitative study of contemporary apartment layouts that have been rearranged by end-users. *Journal of Housing and the Built Environment*, 35, 481–505. <https://doi.org/10.1007/s10901-019-09693-9>
- Gibb, A. G. F. (1999). *Off-site fabrication: Prefabrication, pre-assembly and modularisation*. John Wiley & Sons.
- Jaillon, L., & Poon, C. S. (2009). The evolution of prefabricated residential building systems in Hong Kong: A review of the public and the private sector. *Automation in Construction*, 18(3), 239–248. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2008.09.002>
- Kamali, M., & Hewage, K. (2016). Life cycle performance of modular buildings: A critical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62, 1171–1183. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.031>
- Kim, S. (2025). Prefabricated and modularized residential construction: A review of present status, opportunities, and future challenges. *Buildings*, 15(16), Article 2889. <https://doi.org/10.3390/buildings15162889>
- Lawson, M., Ogden, R., & Goodier, C. (2014). *Design in modular construction*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b16607>
- Lessing, J., Stehn, L., & Ekholm, A. (2015). Industrialized house-building – Development and conceptual orientation of the field. *Construction Innovation: Information Process Management*, 15(3), 378–399. <https://doi.org/10.1108/CI-06-2014-0032>

- Lim, Y.-W., Ling, P. C. H., Tan, C. S., Chong, H.-Y., & Thurairajah, A. (2022). Planning and coordination of modular construction. *Automation in Construction*, 141, Article 104455. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104455>
- Lluka, D. (2024). Modular structure and BIM-enabled automation in design and construction. *Balkan Journal of Interdisciplinary Research*, 10(2). <https://doi.org/10.2478/bjir-2024-0011>
- Luo, X., Zheng, X., Liao, C., Xiao, Y., Deng, C., Liu, S., & Chen, Q. (2024). Research on the modular design method and application of prefabricated residential buildings. *Buildings*, 14(9), Article 3014. <https://doi.org/10.3390/buildings14093014>
- Pan, W., Gibb, A. G. F., & Dainty, A. R. J. (2012). Strategies for integrating the use of off-site production technologies in house building. *Journal of Construction Engineering and Management*, 138(11), 1331–1340. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000544](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000544)
- Smith, R. E. (n.d.). *Off-site and modular construction explained*. National Institute of Building Sciences. Retrieved January 21, 2026, from <https://www.arataumodular.com/app/wp-content/uploads/2022/07/Offsite-and-Modular-Construction-Explained.pdf>
- Steffy, G. G. (2002). *Architectural lighting design* (2nd ed.). John Wiley & Sons.
- Trisno, R., Lianto, F., Choandi, M., & Husin, D. (2020). Study of human dimensions and ergonomics. Case study: Transforming interior fashion to portable architecture. In *Advances in Social Science, Education and Humanities Research: Vol. 478. Proceedings of the 2nd Tarumanagara International Conference on the Applications of Social Sciences and Humanities* (pp. 1135–1140). Atlantis Press. <https://doi.org/10.2991/assehr.k.201209.180>
- U.S. Department of Housing and Urban Development. (2022). *An exploratory study of factory-built homes and their implications for affordability*. HUD User. <https://www.huduser.gov/portal/portal/sites/default/files/pdf/An-Exploratory-Study-of-Factory-Built-Homes-and-Their-Implications-for-Affordability-Final-Report.pdf>
- Wallace, D. (2021). *The future of modular architecture*. Routledge.
- Wu, S. (2022). Modular furniture design by using intelligent platform and wireless sensors. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022(1), Article 2586711. <https://doi.org/10.1155/2022/2586711>
- Wuni, I. Y., & Shen, G. Q. (2020). Barriers to the adoption of modular integrated construction: Systematic review and meta-analysis, integrated conceptual framework, and strategies. *Journal of Cleaner Production*, 249, Article 119347. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119347>
- Yu, G., Dai, C., Huang, S., Gan, L., Gao, W. (2019, May 17–19). Research on innovative applications of modular design in university student apartment furniture. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* [Conference proceedings] (Vol. 573, Article 012016). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/573/1/012016>
- Zhang, X., Skitmore, M., & Peng, Y. (2014). Exploring the challenges to industrialized residential building in China. *Habitat International*, 41, 176–184. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2013.08.005>
- Zohourian, M., Pamidimukkala, A., Kermanshachi, S., & Almaskati, D. (2025). Modular construction risks: A comprehensive review and digital-technology-coupled circular mitigation strategies. *Buildings*, 15(12), Article 2020. <https://doi.org/10.3390/buildings15122020>

References

- Darko, A., Chan, A. P. C., Yang, Y., & Tetteh, M. O. (2020). Building information modeling (BIM)-based modular integrated construction risk management – Critical survey and future needs. *Computers in Industry*, 123, Article 103327. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103327> [in English]

- Femenias, P., & Geromel, F. (2020). Adaptable housing? A quantitative study of contemporary apartment layouts that have been rearranged by end-users. *Journal of Housing and the Built Environment*, 35, 481–505. <https://doi.org/10.1007/s10901-019-09693-9> [in English].
- Gibb, A. G. F. (1999). *Off-site fabrication: Prefabrication, pre-assembly and modularisation*. John Wiley & Sons [in English].
- Jaillon, L., & Poon, C. S. (2009). The evolution of prefabricated residential building systems in Hong Kong: A review of the public and the private sector. *Automation in Construction*, 18(3), 239–248. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2008.09.002> [in English].
- Kamali, M., & Hewage, K. (2016). Life cycle performance of modular buildings: A critical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62, 1171–1183. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.031> [in English].
- Kim, S. (2025). Prefabricated and modularized residential construction: A review of present status, opportunities, and future challenges. *Buildings*, 15(16), Article 2889. <https://doi.org/10.3390/buildings15162889> [in English].
- Lawson, M., Ogden, R., & Goodier, C. (2014). *Design in modular construction*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b16607> [in English].
- Lessing, J., Stehn, L., & Ekholm, A. (2015). Industrialized house-building – Development and conceptual orientation of the field. *Construction Innovation: Information Process Management*, 15(3), 378–399. <https://doi.org/10.1108/CI-06-2014-0032> [in English].
- Lim, Y.-W., Ling, P. C. H., Tan, C. S., Chong, H.-Y., & Thurairajah, A. (2022). Planning and coordination of modular construction. *Automation in Construction*, 141, Article 104455. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104455> [in English].
- Lluka, D. (2024). Modular structure and BIM-enabled automation in design and construction. *Balkan Journal of Interdisciplinary Research*, 10(2). <https://doi.org/10.2478/bjir-2024-0011> [in English].
- Luo, X., Zheng, X., Liao, C., Xiao, Y., Deng, C., Liu, S., & Chen, Q. (2024). Research on the modular design method and application of prefabricated residential buildings. *Buildings*, 14(9), Article 3014. <https://doi.org/10.3390/buildings14093014> [in English].
- Pan, W., Gibb, A. G. F., & Dainty, A. R. J. (2012). Strategies for integrating the use of off-site production technologies in house building. *Journal of Construction Engineering and Management*, 138(11), 1331–1340. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000544](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000544) [in English].
- Smith, R. E. (n.d.). *Off-site and modular construction explained*. National Institute of Building Sciences. Retrieved January 21, 2026, from <https://www.arataumodular.com/app/wp-content/uploads/2022/07/Offsite-and-Modular-Construction-Explained.pdf> [in English].
- Steffy, G. G. (2002). *Architectural lighting design* (2nd ed.). John Wiley & Sons. [in English]
- Trisno, R., Lianto, F., Choandi, M., & Husin, D. (2020). Study of human dimensions and ergonomics. Case study: Transforming interior fashion to portable architecture. In *Advances in Social Science, Education and Humanities Research: Vol. 478. Proceedings of the 2nd Tarumanagara International Conference on the Applications of Social Sciences and Humanities* (pp. 1135–1140). Atlantis Press. <https://doi.org/10.2991/assehr.k.201209.180> [in English]
- U.S. Department of Housing and Urban Development. (2022). *An exploratory study of factory-built homes and their implications for affordability*. HUD User. <https://www.huduser.gov/portal/portal/sites/default/files/pdf/An-Exploratory-Study-of-Factory-Built-Homes-and-Their-Implications-for-Affordability-Final-Report.pdf> [in English].
- Wallace, D. (2021). *The future of modular architecture*. Routledge [in English].
- Wu, S. (2022). Modular furniture design by using intelligent platform and wireless sensors. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022(1), Article 2586711. <https://doi.org/10.1155/2022/2586711> [in English].
- Wuni, I. Y., & Shen, G. Q. (2020). Barriers to the adoption of modular integrated construction: Systematic review and meta-analysis, integrated conceptual framework, and strategies. *Journal of*

- Cleaner Production*, 249, Article 119347. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119347> [in English].
- Yu, G., Dai, C., Huang, S., Gan, L., Gao, W. (2019, May 17–19). Research on innovative applications of modular design in university student apartment furniture. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* [Conference proceedings] (Vol. 573, Article 012016). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/573/1/012016> [in English].
- Zhang, X., Skitmore, M., & Peng, Y. (2014). Exploring the challenges to industrialized residential building in China. *Habitat International*, 41, 176–184. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2013.08.005> [in English].
- Zohourian, M., Pamidimukkala, A., Kermanshachi, S., & Almaskati, D. (2025). Modular construction risks: A comprehensive review and digital-technology-coupled circular mitigation strategies. *Buildings*, 15(12), Article 2020. <https://doi.org/10.3390/buildings15122020> [in English].

Надійшла 02.03.2026

Прийнята 23.04.2026

Стаття була вперше опублікована онлайн 22.05.2026

