

Усенко В. Г.

*доктор технічних наук, професор кафедри будівництва та цивільної інженерії
Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*

valery_usenko@ukr.net

orcid.org/0000-0002-4937-6442

ТОПОЛОГІЧНІ ТА ФУНКЦІОНАЛЬНІ ЗАЛЕЖНОСТІ В АРХІТЕКТУРНИХ СТРУКТУРАХ

© Усенко В. Г., 2026

<https://doi.org/10.32347/2519-8661.2026.35-36.347-353/>

Анотація. Дослідження присвячене аналізу геометричних, топологічних і функціональних залежностей у структурі архітектурного середовища. Основна увага зосереджена на виявленні закономірностей зв'язності між елементами простору, їхньої взаємної залежності або незалежності, а також впливу окремих структурних компонентів на загальну систему.

Розглядаються різні типи зв'язків, включаючи геометричні (просторові характеристики, відстані, пропорції), топологічні (зв'язність, безперервність, суміжність), функціональні (взаємодія між зонами), семантичні (сприйняття та символічна значущість) і соціальні (вплив на поведінкові моделі користувачів). Особлива увага приділяється адаптивності архітектурних структур до змін у просторі та їхній здатності зберігати функціональність у випадку модифікацій або обмежень у зв'язності.

Аналізуються випадки, коли певний елемент архітектурної структури визначає функціональні властивості інших елементів, не змінюючи власних характеристик. Наприклад, положення і форма атріуму впливає на зв'язок між приміщеннями, тоді як ізолювання окремої зони на периферії не змінює комунікаційні властивості центрального простору. Також досліджується принцип взаємної незалежності, коли зміна одного з елементів не впливає на загальну функціональність системи, як у випадку міських транспортних мереж із альтернативними маршрутами.

Формуються теоретичні основи для проектування оптимально організованих, адаптивних і стійких архітектурних середовищ. Практичне застосування отриманих результатів сприятиме підвищенню ефективності використання простору, покращенню навігації, забезпеченню комфортності та гнучкості архітектурних рішень відповідно до змінних потреб користувачів.

Ключові слова: архітектурна структура, топологічна зв'язність, комунікаційні зв'язки, взаємозалежність елементів.

Постановка проблеми. Ефективна організація архітектурного середовища залежить від зв'язності його елементів та їхніх структурних взаємозалежностей. Недостатнє розуміння цих зв'язків може призводити до неефективного планування, комунікаційних бар'єрів та зниження функціональності простору. Проблема полягає у визначенні закономірностей впливу просторових елементів на загальну структуру, розмежуванні їх за ступенем значущості та оцінці адаптивності архітектурних систем до змін. Зокрема, важливо вивчити, як положення ключових вузлів впливає на взаємодію між іншими компонентами, і які елементи можуть функціонувати незалежно.

Актуальність дослідження полягає у розробці методів аналізу та оптимізації структурної зв'язності, що дозволить створювати ефективні, адаптивні та стійкі архітектурні системи.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

У роботі [Помилка! Джерело посилання не знайдено.] розроблено концепцію «мови шаблонів» в архітектурі, описано підходи до проектування архітектурних просторів, підкреслюючи важливість зв'язності та гармонії між компонентами архітектурного середовища. Праця [2] зосереджена на аналізі морфології будівель та їх впливу на енергоспоживання, що сприяє розвитку сталого дизайну. У цій публікації досліджується використання графів для моделювання та аналізу архітектурних планувань, що дозволяє краще розуміти просторові взаємозв'язки між приміщеннями та оптимізувати їх розташування. Цей підхід є важливим для розробки ефективних та функціональних архітектурних рішень, оскільки графи надають математичний інструментарій для вивчення структурних властивостей будівель. планування та вплив інформаційних технологій на архітектуру та міста.

Робота [3] досліджує концепцію функціональних граматики у контексті архітектури та дизайну. Вона аналізує, як формальні правила та алгоритмічні методи можуть бути використані для генерації архітектурних форм і структур. Розглядаються граматики як інструмент для моделювання архітектурних процесів, що дозволяє автоматизувати та систематизувати дизайн-рішення. Це дослідження є важливим внеском у розвиток обчислювальної архітектури та алгоритмічного дизайну. Дослідження [4] аналізує особливості штучного середовища, яке впливає на життєдіяльність людини. Розглядаються основні фактори, що формують цей простір, включаючи техногенні, екологічні та соціальні аспекти.

Публікація [5] досліджує, як культурні кліше трансформуються в архетипи, що впливають на сприйняття та комунікацію в суспільстві. Робота [6] розглядає системний підхід як методологію для моделювання, аналізу та оптимізації складних систем у різних сферах – від інженерії до управління. Видання містить детальний опис концепцій багаторівневої абстракції, невизначеності, інформаційної складності та прийняття рішень. Праця [7] аналізує методи моделювання, оптимізації та управління складними системами, пропонуючи практичні підходи до їхньої реалізації.

Мета статті. Аналіз та визначення закономірностей зв'язності та взаємозалежності елементів архітектурних структур для оптимізації їхньої просторової організації, підвищення ефективності, адаптивності та стійкості.

Виклад основного матеріалу. Архітектурні об'єкти формуються під впливом природних законів та соціокультурних чинників. Їхні геометричні та структурні властивості визначаються функціональними, естетичними та конструктивними вимогами, а також антропометричними параметрами людини. Важливим аспектом дослідження є аналіз закономірностей формоутворення в природному середовищі, оскільки природні структури мають оптимальні механічні та просторові характеристики. Одним із основних принципів є фрактальність, що проявляється у повторенні подібних форм на різних рівнях, наприклад, у будові рослин, кристалів чи морфології гірських порід. Також важливими є пропорційність і симетрія, які визначають баланс між статичними та динамічними характеристиками об'єкта. Біонічні конструкції, що імітують природні форми, сприяють підвищенню ефективності використання матеріалів та енергії, а також забезпечують аеродинамічні властивості.

Геометричні та структурні характеристики архітектури визначають її стійкість, естетичну виразність і ергономіку. Традиційно використовуються евклідові геометричні форми, які забезпечують простоту побудови та функціональність. Водночас сучасна архітектура дедалі частіше звертається до неевклідової геометрії, що дозволяє створювати криволінійні форми, підвищуючи комфортність і ефективність використання простору. Параметричне моделювання на основі алгоритмічних підходів дає змогу створювати складні адаптивні структури, які наслідують природні форми та змінюються відповідно до зовнішніх умов. Використання модульності та структурності дозволяє розбивати об'єкти на повторювані елементи, що сприяє їхній оптимізації з точки зору ресурсів і просторової організації.

Антропометричні чинники відіграють ключову роль у формуванні архітектурного простору, оскільки вони визначають комфортність і функціональність середовища для людини. Важливою складовою є ергономічні параметри, що впливають на розміри приміщень, проходів, висоту меблів та інші елементи. Зорова перспектива також є важливим чинником, що враховується при проектуванні висоти стелі, розташування елементів та кутів огляду. Соціокультурні аспекти визначають особливості організації простору відповідно до звичок і традицій певних спільнот, що впливає на планування житлових і громадських приміщень.

Прикладами успішного застосування цих принципів є біонічна архітектура, де природні структури використовуються в конструктивних рішеннях. Так, Ейфелева вежа була спроектована за принципом кісткової структури, що забезпечує високу міцність при відносно малій вазі. Роботи Гауді також демонструють гармонійне поєднання природних форм та ергономічних рішень, створюючи унікальну архітектуру, що відповідає природним і людським потребам. Сучасні параметричні конструкції, зокрема адаптивні фасади, реагують на зміну температури та освітлення, оптимізуючи комфорт і енергоспоживання будівель.

Дослідження геометричних та структурних залежностей будови штучного середовища відкриває нові перспективи для вирішення задач розміщення в архітектурному просторі. Просторові структури та їхні взаємозв'язки можуть бути проаналізовані та оптимізовані з урахуванням закономірностей природних процесів, ергономічних вимог та функціональних потреб. Завдяки розвитку цифрових технологій, комп'ютерне моделювання дозволяє не лише вивчати структури в різних масштабах, а й прогнозувати їхню поведінку під впливом зовнішніх факторів.

Комп'ютерні технології забезпечують ефективні методи проектування та аналізу архітектурних об'єктів, використовуючи алгоритмічні підходи, параметричне моделювання. Завдяки таким методам можна досліджувати оптимальні конфігурації приміщень, розподіл навантажень у конструкціях, а також взаємодію об'єктів із навколишнім середовищем. Геометричні закономірності та структурні особливості можуть бути змодельовані з високою точністю, що дозволяє створювати ефективні, ресурсозберігаючі та адаптивні архітектурні рішення. Використання цифрових технологій також сприяє розширенню можливостей архітектурної композиції. Параметричний дизайн дозволяє змінювати форму та структуру об'єктів у режимі реального часу, адаптуючи їх під конкретні вимоги проекту. Віртуальні симуляції допомагають аналізувати природне освітлення, вентиляцію, акустику та інші характеристики середовища, що є важливими для підвищення комфортності та енергоефективності будівель.

Структурна зв'язність є важливим аспектом дослідження архітектурного середовища, оскільки вона визначає взаємозв'язки між компонентами системи, їхні можливі стани та форми організації. Вона характеризує не лише фізичне розташування елементів у просторі, а й логічні та функціональні зв'язки між ними, що забезпечують цілісність архітектурного об'єкта та його адаптивність до умов навколишнього середовища. В архітектурному моделюванні та аналізі структурної зв'язності штучного середовища ключове місце займає топологічна зв'язність. Вона визначає рівень взаємопов'язаності компонентів у системі та їхню здатність функціонувати як єдине ціле. Наприклад, у міському плануванні топологічна зв'язність визначає, наскільки ефективно організована транспортна мережа, взаємодія між житловими, комерційними та громадськими зонами.

У параметричній архітектурі топологічна зв'язність використовується для створення адаптивних структур, де взаємопов'язані елементи можуть змінювати свою форму та конфігурацію відповідно до зовнішніх умов. Ці підходи застосовуються в проектуванні фасадних систем, які змінюють свою структуру залежно від освітлення чи температури, або в конструкціях, що реагують на навантаження, розподіляючи сили найбільш ефективним чином. Аналіз структурної зв'язності дозволяє оцінювати не лише стійкість і цілісність архітектурних об'єктів, а й їхню ефективність у взаємодії з простором і користувачами. Використання комп'ютерного моделювання та алгоритмічних методів дає можливість

аналізувати великі масиви даних про взаємозв'язки та оптимізувати структури для підвищення їхньої ефективності. Це сприяє створенню більш інтегрованого та гнучкого архітектурного середовища, яке відповідає сучасним вимогам сталого розвитку та ергономіки.

Топологія розглядає зв'язність, безперервність і суміжність, що є фундаментальними характеристиками будь-якої архітектурної системи. Зв'язність визначає, наскільки елементи простору взаємопов'язані та чи можуть вони утворювати єдину цілісну структуру. Безперервність описує плавність переходів між окремими зонами, забезпечуючи зручність навігації та логічність розміщення елементів. Суміжність аналізує взаємне розташування об'єктів, їхню доступність та вплив один на одного. У контексті архітектури топологічні дослідження використовуються для оптимізації просторового планування, розробки ефективних міських структур і створення адаптивних форм. Наприклад, у міському середовищі топологічний аналіз допомагає зрозуміти, як різні райони пов'язані між собою транспортною мережею або як розподіляються соціальні функції у просторі. Сучасні архітектурні методи широко використовують топологічне моделювання для створення складних динамічних структур. Параметричний дизайн, заснований на алгоритмічних методах, дозволяє враховувати взаємозв'язки між різними частинами будівлі та їхню реакцію на зовнішні чинники. Це відкриває можливості для створення більш адаптивних і стійких архітектурних рішень.

. У дослідженнях архітектурних структур розглядаються різні види залежностей елементів, які описують зв'язки між просторами. Зокрема, геометричні залежності визначають просторові характеристики об'єктів, такі як їх розташування, розміри, пропорції та взаємне розміщення (рис. 1). Вони є основою для проектування форм та їхньої адаптації до середовища. До них належать відстані між об'єктами, кутові співвідношення, масштабні пропорції та взаємопроникнення форм. Топологічні залежності характеризують зв'язність і суміжність просторів незалежно від їхніх розмірів та форми. Вони визначають логіку переміщення між різними зонами будівлі чи міського середовища, структуру проходів, взаємне розташування зон та доступність різних об'єктів. Наприклад, такі дослідження застосовуються у спейс-синтаксичному аналізі, що дозволяє оцінити навігаційні властивості простору та його інтеграцію в ширшу міську структуру. Функціональні залежності описують, як простори взаємодіють відповідно до своїх призначень. Вони визначають логічність розміщення приміщень та їхню взаємозалежність у будівлі. Наприклад, у лікарнях операційні блоки мають бути безпосередньо пов'язані з палатами інтенсивної терапії, а в навчальних закладах класи повинні бути організовані з урахуванням логічного переміщення студентів між ними.

Семантичні залежності розглядають значення та символіку простору. Вони описують, як різні архітектурні елементи формують сприйняття середовища. Наприклад, вхідні групи громадських будівель часто проектуються так, щоб створювати враження відкритості та гостинності, тоді як адміністративні будівлі можуть використовувати монументальність форм для підкреслення авторитетності. Соціальні залежності визначають зв'язки між просторами відповідно до поведінкових моделей користувачів. Вони враховують особливості використання простору людьми, їхні комунікаційні потоки та зони взаємодії. Це важливо при проектуванні публічних просторів, житлових кварталів та робочих середовищ. Наприклад, відкриті офісні простори сприяють комунікації між співробітниками, тоді як приватні кабінети забезпечують ізоляцію для концентрації.

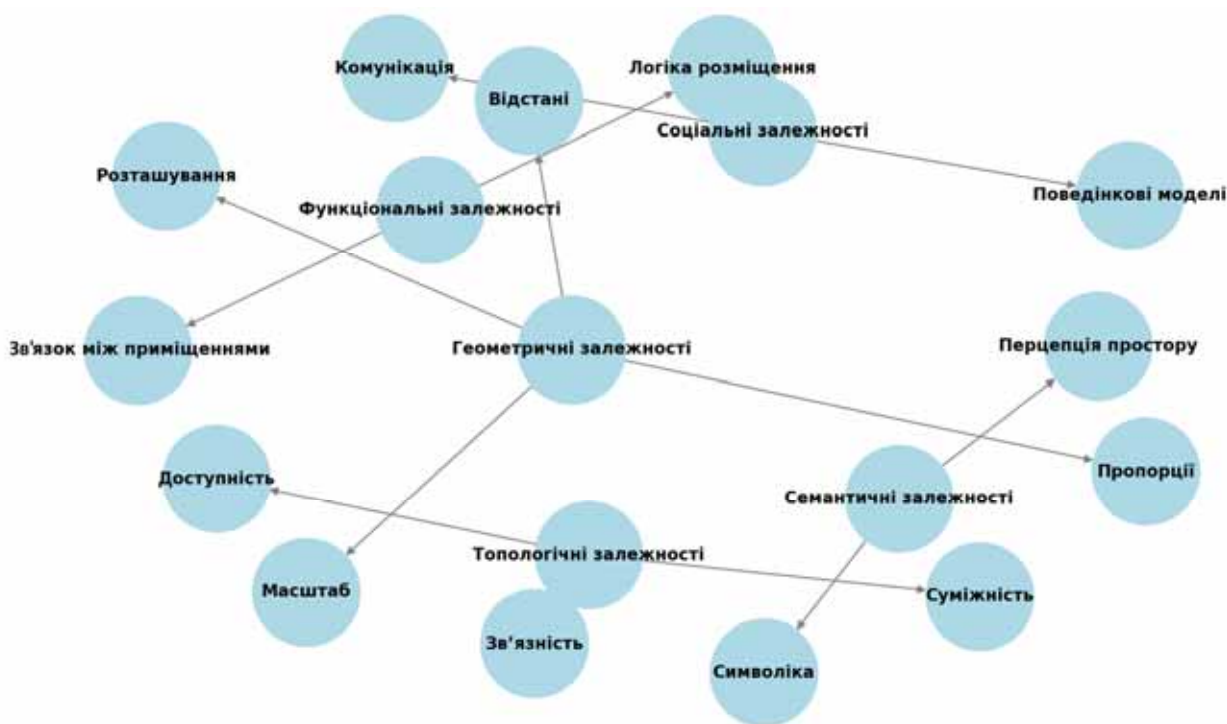


Рис. 1 Типи залежностей в структурі архітектурних об'єктів

Взаємне розташування компонентів архітектурної системи безпосередньо впливає на їхні функціональні властивості, формуючи просторову взаємодію між різними зонами та визначаючи рівень доступності, зв'язності та комунікативних можливостей. Наприклад, якщо в будинку змінюється конфігурація дверних прорізів, перегородок або коридорів, це може кардинально вплинути на використання простору, маршрути переміщення та навіть психологічне сприйняття середовища.

Одним із важливих аспектів є зв'язність приміщень, яка визначає, наскільки зручно вони взаємодіють між собою. Блокування сполучення між кімнатами може ізолювати окремі простори, змінюючи їхню функціональність, наприклад, коли перетворення відкритого планування на закриті сегменти обмежує можливість вільного пересування або змінює сценарії використання простору. Відновлення зв'язків між приміщеннями, навпаки, може покращити комунікативні властивості середовища, полегшуючи доступ до різних зон та сприяючи інтеграції функціональних блоків. Такі зміни можуть також впливати на ергономіку та зручність користування простором. Наприклад, якщо у житловому будинку ізольовано кухню від їдальні або вітальні, це може ускладнити взаємодію між мешканцями, тоді як відкритий план дозволяє створити більш інтегровану зону спільного використання. У громадських будівлях такі принципи важливі для планування ефективних евакуаційних шляхів, логістичних процесів та розподілу людських потоків.

У архітектурних структурах існують елементи, які без зміни власних властивостей здатні впливати на характеристики інших компонентів. Це явище є ключовим у проектуванні функціональних та взаємопов'язаних просторових систем. Наприклад, атриум у будівлі може відігравати роль центрального комунікативного вузла, визначаючи способи з'єднання та рівень взаємодії між іншими приміщеннями. Його положення та форма впливають на просторову організацію всієї будівлі: якщо атриум знаходиться у центрі, він сприяє радіальній схемі переміщень, а якщо він розташований вздовж одного з фасадів – створює напрямлені зв'язки між приміщеннями. При цьому сам атриум залишається незмінним, а його ефект проявляється в організації інших зон.

Водночас, зміна властивостей одного з периферійних приміщень, наприклад, його ізоляція від загальної системи комунікацій, не впливає на зв'язність атриуму та його функціональну роль. Це пояснюється тим, що атриум виконує центральну функцію у просторовій системі, а окремі приміщення можуть змінювати свої характеристики без суттєвого впливу на загальну зв'язність ядра будівлі. Такі особливості взаємозалежності просторових компонентів важливі для ефективного архітектурного

проектування, оскільки дозволяють передбачати, які елементи будуть визначальними для організації руху, функціональності та взаємодії між зонами. Розуміння цих залежностей допомагає створювати адаптивні та добре інтегровані просторові структури, які відповідають вимогам комфорту, зручності та логіки використання приміщень.

В архітектурних та міських структурах існують випадки, коли елементи системи мають взаємну відносну незалежність, тобто їхні функціональні властивості та зв'язність не залежать один від одного. Це означає, що зміни у комунікаційних можливостях одного елемента не впливають на загальне функціонування інших частин системи. Яскравим прикладом такої взаємозалежності є міські вуличні мережі, де вузли сполучаються через різні маршрути. Якщо в межах такої структури один із вузлів стає недоступним (наприклад, внаслідок ремонту дороги або обмеження руху), транспортні потоки можуть бути перенаправлені альтернативними шляхами, і загальна зв'язність мережі суттєво не змінюється. Інші вузли продовжують виконувати свої функції, а мережа залишається працездатною. Цей принцип є ключовим для забезпечення стійкості та гнучкості системи. У міському плануванні така особливість дозволяє створювати розгалужені транспортні мережі, які здатні функціонувати навіть при локальних змінах. В архітектурному середовищі аналогічні підходи застосовуються у великих громадських або комерційних будівлях, де просторові вузли (наприклад, евакуаційні шляхи, ліфтові зони або внутрішні переходи) проектуються таким чином, щоб забезпечити альтернативні маршрути пересування та мінімізувати залежність між окремими компонентами будівлі.

Висновки. Архітектурні об'єкти тісно пов'язані із закономірностями функціонування природних структур і антропометричними характеристиками людини. Використання цих принципів дає змогу створювати гармонійні, ефективні та комфортні архітектурні рішення, які не лише відповідають вимогам безпеки та функціональності, а й сприяють інтеграції архітектури в природне середовище. Інтеграція комп'ютерних технологій у дослідження геометричних та структурних залежностей архітектурного середовища дозволяє значно розширити діапазон можливих рішень для розміщення елементів простору, оптимізувати використання ресурсів та підвищити якість архітектурного середовища в цілому.

Топологічний підхід у дослідженні архітектурних об'єктів дає змогу не лише аналізувати взаємозв'язки між просторовими елементами, а й проектувати ефективні, гнучкі та інтегровані системи, що відповідають сучасним вимогам ергономіки, функціональності та сталого розвитку. Дослідження архітектурних структур спираються на різні види залежностей, що визначають зв'язки між просторами, дозволяючи створювати гармонійні, функціональні та інтегровані середовища.

Положення компонентів у просторі не лише визначає його функціональне наповнення, а й формує комунікативні можливості, які відіграють критичну роль у зручності, доступності та загальній ефективності архітектурного середовища. Принцип взаємної відносної незалежності є важливим аспектом проектування складних систем, що дозволяє створювати більш стійкі, функціонально гнучкі та адаптивні архітектурні та міські структури.

Бібліографія

1. Александер, К. (2020). *Як будувати на віки. Архітектура поза часом* (пер. Микола Климчук). Київ: Основи. ISBN 978-966-500-864-4.
2. Steadman, P. (1973). Graph-theoretic representation of architectural arrangement. *Architectural Research and Teaching*, 2(3), 161–172.
3. Mitchell, W. J. (1991). *Functional grammars: An introduction*. MIT Press.
4. Usenko, V., Zinenko, T., & Zinenko, A. (2018). Research features of the artificial environment of human vital activity. *International Journal of Engineering & Technology*, 7(3.2), 555–558. <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i3.2.14588>
5. McLuhan, M., & Watson, W. (2011). *From Cliché to Archetype*. Gingko Press.
6. Klir, G. J. (1985). *Architecture of systems problem solving*. Plenum Press. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-9224-6>
7. Dekkers, R. (2014). *Applied Systems Theory*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-10846-9>

Bibliography

1. Alexander, C. (2020). *The Timeless Way of Building* (trans. Mykola Klymchuk). Kyiv: Osnovy. ISBN 978-966-500-864-4.
2. Steadman, P. (1973). Graph-theoretic representation of architectural arrangement. *Architectural Research and Teaching*, 2(3), 161–172.
3. Mitchell, W. J. (1991). *Functional grammars: An introduction*. MIT Press.
4. Usenko, V., Zinenko, T., & Zinenko, A. (2018). Research features of the artificial environment of human vital activity. *International Journal of Engineering & Technology*, 7(3.2), 555–558. <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i3.2.14588>
5. McLuhan, M., & Watson, W. (2011). *From Cliché to Archetype*. Gingko Press.
6. Klir, G. J. (1985). *Architecture of systems problem solving*. Plenum Press. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-9224-6>
7. Dekkers, R. (2014). *Applied Systems Theory*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-10846-9>

Valerii Usenko

*Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Building and Civil Engineering
National University “Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic”*

valery_usenko@ukr.net
orcid.org/0000-0002-4937-6442

**TOPOLOGICAL AND FUNCTIONAL DEPENDENCIES IN
ARCHITECTURAL STRUCTURES**

© Usenko V. H., 2026

Abstract. The study is dedicated to the analysis of geometric, topological, and functional dependencies within the structure of the architectural environment. The primary focus is on identifying patterns of connectivity between spatial elements, their mutual dependence or independence, and the impact of individual structural components on the overall system.

Various types of relationships are examined, including geometric (spatial characteristics, distances, proportions), topological (connectivity, continuity, adjacency), functional (interaction between zones), semantic (perception and symbolic significance), and social (influence on user behavior patterns). Special attention is given to the adaptability of architectural structures to spatial changes and their ability to maintain functionality in cases of modifications or constraints in connectivity.

The study analyzes cases where a specific architectural element determines the functional properties of other elements without altering its own characteristics. For instance, the position and shape of an atrium influence the connection between rooms, whereas isolating a separate zone on the periphery does not affect the communicative properties of the central space. The principle of mutual independence is also explored, where the modification of one element does not impact the overall system functionality, as seen in urban transport networks with alternative routes.

Theoretical foundations are established for designing optimally organized, adaptive, and resilient architectural environments. The practical application of the obtained results will contribute to enhancing space efficiency, improving navigation, and ensuring the comfort and flexibility of architectural solutions in response to users' evolving needs.

Keywords: architectural structure, topological connectivity, communicative links, element interdependence.