

УДК 72.012:004.94:69.002

Ященко О. Ф., канд. арх., доцент, <https://orcid.org/0000-0001-6181-6597>*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ, Україна*

ОБ'ЄМНЕ ФОРМУВАННЯ АГРЕГАТИВНИХ АРХІТЕКТУРНО-ПРОЄКТНИХ СТРУКТУР З УРАХУВАННЯМ BIM-МОДЕЛЮВАННЯ**Анотація**

Вступ. Стаття зосереджена на принципах об'ємного формування для агрегативних архітектурно-дизайнерських структур, які широко застосовуються в міському розвитку, враховуючи інтегроване середовище даних BIM моделювання. Вона демонструє співпрацю композиційних правил (модульність, ієрархія, сумісність) з цифровими стандартами (IFC, MVD, ISO 19650, LOIN) та інструментами параметричного дизайну (Rhino/Grasshopper, Dynamo, Revit, Tekla) для забезпечення контрольованих, відтворюваних та відстежуваних об'ємно-просторових рішень.

Проблематика. Уніфікація підходів «генерація → фільтрація → пояснення» до багатоваріантного формування, відсутність міцного зв'язку між геометрією та даними життєвого циклу (4D / 5D / 6D), а також розрив між авторською концепцією та обмеженнями виробництва/збирання.

Мета. Систематизувати підходи до агрегативного об'ємного формування на основі BIM шляхом визначення типології модулів та правил композиції, запропонувати робочий процес GFE з вбудованими критеріями якості та невизначеності.

Матеріали та методи. Морфологічні карти, ієрархічна декомпозиція WBS → PBS → SBS, DSM / міждисциплінарна координація, параметричні скрипти, прогностичні перевірки (Solibri / IDS), 4D / 5D-зв'язування, базова оптимізація RCPSP.

Результати. Встановлено структурну схему переходу від морфологічного набору до федеративної BIM моделі, представлені матриці сумісності модулів, можна вивчати енергетичні та логістичні KPI, а також представлено таблицю, що містить «правила → перевірки → артефакти».

Висновки. BIM, приймаючи агрегативний метод, забезпечує контрольовану різноманітність форм, мінімізує колізії, прискорює 4D планування та робить прийняття рішень прозорим через відстежуваність даних та представлення цифрових моделей.

Ключові слова: агрегативні структури, BIM, IFC, ISO 19650, LOIN, морфологічні карти, параметричне моделювання, 4D/5D, RCPSP, цифровий двійник.

Вступ

Об'ємне формування сучасної архітектури частіше є результатом контрольованого складання модулів, блоків та типових підсистем. У випадку міського розвитку це можна побачити у змішаному використанні будівництва та житлового розвитку, а також у громадських зонах, де різноманітні «зерна» обробляються для формування масштабованих агрегаційних утворень. Кожна з цих структур має кілька рівнів: модуль (кімната, секція), кластер (секція-ядро), будівля, блок та ансамбль. Традиційні методи створення форми зазвичай розглядають окремі об'єкти, тоді як агрегаційні системи потребують ієрархічної структури для створення інформаційної сумісності (в плані інформації між різними частинами). Тут BIM бере на себе роль операційної системи проєкту: вся геометрія, атрибути, параметри часу та вартості об'єднані в спільному CDE з чіткими визначеннями ролей, статусів, ревізій та правил валідації. Проблема полягає у балансуванні морфологічної різноманітності (багато варіантів конфігурації), конструктивної / інженерної

здійсненності та виробничої логістики, не втрачаючи при цьому відстеження рішень і стандартів протягом усього життєвого циклу.

Проблеми:

- Фрагментація процесів. Генерація форми, інженерні перевірки та вартість/графік іноді проводяться окремо, що призводить до браку інформації.
- Колізії та перемодельовання. Відсутність єдиного «джерела правди» та формалізованих перевірок (IDS/BCF) на несумісність є перешкодою для раннього виявлення.
- Обмежене управління різноманітністю. Без цих композиційних правил варіація відбувається, вона або «вибухає», або «звужується» занадто швидко.
- Відсутність відстежуваності рішень. Цю конкретну конфігурацію важко продемонструвати — немає прозорих критеріїв «генерація → фільтрація → пояснення».

Мета і завдання

Мета: розробити цілісний підхід до об'ємного формування агрегативних структур у BIM, який забезпечує:

- 1) керовану генерацію варіантів;
- 2) автоматизовану валідацію;
- 3) зв'язування 3D-мас з 4D / 5D / 6D;
- 4) пояснюваність рішень.

Завдання:

- Запровадити морфологічні карти модулів із правилами сумісності.
- Описати ієрархію даних (WBS → PBS → SBS) та типи об'єктів BIM із рівнями LOD / LOIN.
- Визначити набір перевірок якості (information requirements → IDS/MVD) та метрик ефективності.
- Сформувані workflow GFE (Gen – Filter – Explain) з прикладними шаблонами.

Матеріали і методи:

- Параметричне моделювання: Grasshopper / Dynamo для генерації варіантів, Revit/ArchiCAD/ Tekla для авторського моделювання.
- Стандарти даних: IFC (ISO 16739), LOIN (EN 17412), класифікація за ISO 12006, вимоги до інформації та управління середовищем даних за ISO 19650.
- Валідація: Solibri / IDS-перевірки, BCF-комунікація колізій, правила топології (доступність, евакуація, інсоляція).
- Синхронізація життєвого циклу: 4D (Navisworks / Synchro), 5D (кошторисні плагіни), 6D (енергетичні / експлуатаційні атрибути), цифровий двійник для експлуатації.
- Оптимізація: еволюційний пошук (NSGA-II) за критеріями (площа / об'єм / енергія / інсоляція / шляхи евакуації / витрати), RCPSP для стиснення графіка.

Виклад основного матеріалу

Теоретичні засади: агрегативність і морфологічні карти

1. Формальна модель агрегативної структури

Агрегативна структура: Визначення 1. Якщо розглянути набір типових модулів, таких як модуль $M = \{m_1, \dots, m_k\}$, групу з'єднань $E \subseteq M \times M$ та набір правил R , що визначають прийнятні композиції. Атрибути $\text{attr}(m) = \langle \text{func, struct, MEP, fac, ade, comm, fitout} \rangle$, з властивостями як відповідними морфологічними осями модулів X_i , визначені. Набір правил R є (i) геометричними (розміри, сітки, висоти), (ii) топологічними (зв'язність коридорів, доступність, евакуація), (iii) регуляторними (інсоляція, акустика, пожежна безпека), (iv) виробничо-логістичними (транспорт, монтаж, 4D-последовність), (v) експлуатаційними (зонування HVAC, доступи для обслуговування). Визначення (2) Морфологічна карта. Нехай X_1, \dots, X_n є морфологічними осями (дискретними наборами альтернатив). Тоді морфологічна карта є декартовим добутком $X = X_1 \times \dots \times X_n$, а матриця

сумісності C є булевим предикатом над $X \times X$ (для бінарного відношення) або над підмножинами X (для вищої арності), що видаляє несумісні комбінації. З огляду на правила R та матрицю сумісності C , $N_{\text{valid}} = \sum_{x \in X} 1 \{x \text{ задовольняє } R \wedge C\}$ є кількістю дійсних конфігурацій. Це перетворює «творчий простір» у набір, що є керованим для автоматизованого генерування, фільтрації та відстежуваного вибору для середовища BIM. Обчислювальна примітка. Також, з помірним $|X|$ загальна складність повного перерахування є $O(\prod |X_i|)$. Отже, ми можемо фактично використовувати: (а) попередню фільтрацію (жорсткі правила обмежень), (б) стохастичний пошук (GA / SA / TS), (с) розв'язання CSP / SAT / ILP для важливих підзадач.

А саме:

- Функція: житлова / офісна / громадська / змішана.
- Несна (структурна система): RC-рамка / сталь / MCF / гібрид.
- Ядро / комунікації: центральне / зміщене / кільцеве.
- Оболонка: одинарна / подвійна / активна (BIPV / електрохромна).
- План модуля: $3,0 \times 6,0$ / $3,6 \times 7,2$ / $4,2 \times 8,4$ м.
- Індустріалізація: монолітна / збірна / модульна 2D / 3D. Проекція в BIM / IFC.
- Просторова ієрархія: IfcSite \rightarrow IfcBuilding \rightarrow IfcBuildingStorey \rightarrow IfcSpace.
- Елементи: IfcWall / IfcSlab / IfcBeam / IfcColumn / IfcCurtainWall / IfcElementAssembly.
- З'єднання: IfcRelAggregates (агрегація модулів), IfcRelContainedInSpatialStructure (вкладеність), IfcRelConnectsElements (вузли), IfcRelServicesBuildings (системне зв'язування).
- Атрибути / властивості: Pset_* (наприклад, Pset_WallCommon, Pset_SpaceThermalDesign), властивості оболонки (U-значення, g-фактор), зонування MEP; • LOIN (EN 17412): визначає, що (геометрія / дані / документація) і з якою точністю потрібно на кожному етапі. Ієрархія даних: WBS \rightarrow PBS \rightarrow SBS (в BIM) • WBS (Структура розподілу робіт): етап / пакети робіт (концепція \rightarrow проектування \rightarrow постачання \rightarrow монтаж \rightarrow введення в експлуатацію), з кодами робіт, ресурсами, календарями, вікнами шуму / доставки.
- PBS (Структура розподілу продукту): блок \rightarrow будівля \rightarrow секція \rightarrow поверх \rightarrow модуль; еквівалент IFC (RelAggregates).
- SBS (Структура розподілу систем): системи HVAC, електрика, водопостачання, пожежна безпека, BMS; зв'язування через IfcSystem / IfcZone. Відображення в CDE (ISO 19650) — статус WIP / Shared / Published / Archived, права доступу, контроль ревізій/штампів, шлях авторизації.

Класи правил: Правила складання та перевіряння якості:

1. Геометричні: модульність сітки; граничні розміри; мінімальні проходи; максимальний консольний виліт; зв'язність структурних осей.
2. Топологічні: безперервність маршрутів евакуації; з'єднання вертикальних комунікацій; доступ для обслуговування.
3. Регуляторні: інсоляція (мін. t_{min} годин/день), денне світло (sDA / ASE), акустичні обмеження, пожежні відсіки, доступ для осіб з обмеженими можливостями.
4. Виробничо-логістичні: транспортні розміри збірних елементів (макс. Вага / розмір), обмеження кранів, зони зберігання, темпи бетонування.
5. Операційний: зонування HVAC (максимальна площа контурів), інженерні маршрути без конфліктів, сервіси та оглядові люки.

Приклади перевірок (ідентичні до завдання):

- $d(\text{core}_i, \text{core}_j) \geq D_{\text{min}}$;
- безперервність евакуаційних коридорів (перевірка графа на існування шляхів з обмеженнями по довжині / поворотах);
- інсоляція житлових модулів $\geq t_{\text{min}}$ (сонячний аналіз за місцем розташування / орієнтацією);

- фасадна панель \in кратна сітці;
- відповідність розмірів панелей транспортним обмеженням. Інструменти валідації:
- IDS/MVD — формалізація вимог до моделі (назва, тип, обов'язкові Psets, діапазони значень);
- Solibri / Rule-Based Checking — топологія / регуляторні відстані;
- Grasshopper / Dynamo — геометрична перевірка / сценарії генерації;
- BCF — управління колізіями/зауваженнями з координатами та відповідальними сторонами.

Формування об'єму: траєкторія від «мас» до продукту M0 — Масування. Параметричні об'єми з базовими атрибутами: функція, коефіцієнти площі, висоти, орієнтація. Ранні індикатори: компактність, площі огороження, потенціал інсоляції, зони ризику рожевого кольору. M1 — Агрегація. Вставка типових модулів (житлова клітина, офісний блок, секція), планування секцій; перевірки інсоляції / тіні / пішохідних шляхів; попередня структурна раціональність (кроки колон, ядро). M2 — Система. Введення ядра, вертикальних комунікацій, технічних поверхів / «поясів», первинне зонування MEP, шахти, магістралі; перевірки без колізій на рівні маршрутів. M3 — Продукт. Розроблення до рівня продукту: панелі / вузли, бібліотеки продуктів (сімейства / IFC об'єкти) з повними Psets; специфікації; коди PBS. M4 — Виробництво / монтаж. 4D послідовності, план / маршрути кранів, пакування / транспорт, тимчасові конструкції; контроль колізій з тимчасовими елементами; паспорти панелей / рамки монтажу.

Цифрові стандарти та сумісність

1. IFC + MVD/IDS. Обмін відкритими моделями; цільовий MVD (Coordination View, Design Transfer View). IDS — декларативні шаблони для перевірки вмісту / атрибутів.

2. ISO 19650 + CDE. Єдина платформа з управлінням статусом, контролем ревізій / ролей, слід аудиту.

3. LOIN (EN 17412). Рівні інформаційної потреби за етапами/рішеннями (геометрія/дані/документація).

4. BCF. Стандарт для «розмови» про помилки / зауваження між інструментами. Важливо: LOIN визначає, що і чому постачається на етапі (включаючи алгоритми / скрипти як частину артефактів), а не лише «скільки полігонів» у геометрії. Генерація — Фільтрація — Пояснення (GFE) у BIM конвеєрі Gen. $X = X_1 \times \dots \times X_n$ і правила R кодуються як CSP/ILP; додатково включені стохастичні оператори (мутація/кросовер) для GA пулу. Вихід — 102–104 допустимих конфігурацій.

5. Фільтр. Багатокритеріальне ранжування (фронт Парето):

- Геометрія / планування: площі, компактність, довжина коридорів, коефіцієнт форми.
- Регуляції: інсоляція / денне світло, евакуація, протипожежні відсіки.
- Інженерія: довжини / перетини магістралей, падіння тиску, зонування.
- Структура: кроки / схеми, оцінка споживання матеріалів.
- Логістика (4D): встановлюваність, піки ресурсів, чутливість до обмежень на майданчику.

- Вартість (5D): CAPEX / OPEX.

- Стійкість (6D): U-значення / g-фактор, енергетичний профіль, метрики LCA.

6. Пояснення. Панель «відстеженого рішення»:

- Які правила виконані / порушені.
- Які компроміси (наприклад, +5 % довжини коридору \rightarrow -12 % колізій MEP).
- Де ризику (невизначеності, залежності постачання).

7. Запис журналу рішень (JSON/BCF) у CDE з посиланнями на ревізії моделі. Псевдокод (узагальнений): Pool \leftarrow Generate(X_i , R, C) # CSP/GA Scores \leftarrow Evaluate(Pool, Kpis) # багатокритеріальні KPI Front \leftarrow ParetoFilter(Scores) Choice \leftarrow ExplainAndSelect (Front, Rules, Risks, Stakeholders) Publish (Choice, CDE); Archive (Pool, Logs).

8. 4D / 5D / 6D зв'язування та RCPSP 4D.

Кожний елемент PBS отримує код робіт (WBS) і календар (календарні робочі / вікна шуму / доставок). Візуалізація монтажних сценаріїв (крани / потоки) дозволяє на ранній стадії виявляти конфлікти з тимчасовими спорудами.

5D. Зв'язок кількостей (QTO) з елементами кошторису; аналіз чутливості ($\pm \delta$ на ціну / логістику), сценарії витрат «швидше / дешевше / більш стійке». RCPSP (формалізація). Нехай AAA буде множиною завдань, par_ara буде тривалістю, $ra(j)r_a^{\{j\}}$ буде вимогою до ресурсів jjj , $R(j)R^{\{j\}}$ буде ємністю ресурсів, $< prec <$ буде відношенням пріоритету. $\min T$ для умов: $s_b \geq s_a + pa$, $\forall (a < b)$; $\sum_a: s_a \leq t < s_a + pa$, $(j) \leq R(j)$, $\forall j, t$. $\min T$ для умов: $s_b \geq s_a + pa$, $\forall (a < b)$; $\sum_a: s_a \leq t < s_a + pa$, $(j) \leq R(j)$, $\forall j, t$. мінімізація тривалості TTT є ціллю. Результат зворотно впливає на Фільтр у GFE (логістична придатність).

6D. Операційні атрибути (матеріали, U-значення, паспорт продукту, графік обслуговування) отримують елементи. Це є основою для цифрового двійника: на операційному етапі (моніторинг) реальні дані калібрують моделі.

9. Невизначеності, стійкість і пояснюваність Паспорт невизначеності. Ми встановлюємо параметри з допусками для кожної альтернативи: механічні властивості, ціни / логістика, погодні дані, поведінка користувачів.

Методи:

- Нечіткі моделі (трикутні / трапецієподібні числа) — для якісних експертних оцінок.
- Монте-Карло — для змінних параметрів (енергія, ціни, терміни).
- Демпстер-Шафер — для об'єднання доказів (різні джерела даних).

Стійкість. Вибір альтернатив, які мінімізують ризик відмови при зміні ключових параметрів: наприклад, стабільність ізоляції/енергетичного балансу до $\pm \delta$ в оптичних властивостях скління. Пояснюваність. Для кожного вибору — карта внесків критеріїв («локальні внески типу Шеплі»), відстеження «правило \rightarrow тест \rightarrow артефакт». Це дозволяє перевірити рішення в публічних обговореннях.

10. Узагальнені результати та ефекти впровадження:

- Менше зіткнень та переробок завдяки формалізованим перевіркам IDS / BCF та єдиному CDE.
- Кероване різноманіття: морфологічні карти + правила зберігають простір альтернатив великим, але контрольованим.
- Швидша координація: інформаційні панелі GFE та журнали рішень забезпечують прозоре обґрунтування.
- Оптимізований графік / ресурси: 4D / RCPSP згладжує піки у використанні кранів / екіпажів, синхронізує поставки.
- Операційна готовність: 6D атрибути та цифровий двійник зменшують «операційну прогалину», полегшують обслуговування та ремонт.
- Модульна масштабованість: бібліотеки продуктів + LOIN підвищують повторюваність якості в портфелях проєктів.

11. Дорожня карта впровадження (розширена):

- EIR: цілі / метрики, критерії прийняття, KPI для GFE.
- Архітектура даних: IFC / LOIN, структура CDE, правила іменування / версій / штампування.
- Морфологічна програма: осі, бібліотеки модулів, матриці сумісності, критичні правила.
- Параметричні шаблони: скрипти масування / агрегації, зв'язок з аналітикою (інсоляція / енергія / шляхи).
- Цикл GFE: генерація портфеля \rightarrow фільтр Парето \rightarrow інформаційна панель пояснень; фіксація в CDE.

- Валідація IDS + BCF: періодичні огляди, SLA для оброблення питань.
- 4D / 5D / RCPSP: інтеграція графіків / оцінок, симуляція установки, «логістична рамка».
- Передача в експлуатацію: COBie / паспорт об'єкта, базова модель цифрового двійника,

план FDD / калібрування.

12. Практичні виклики та ризики:

- Невизначені дані (грунти, постачання, ціни): потрібен «паспорт невизначеностей» та планування сценаріїв.
- Якість бібліотек: неоднорідні сімейства без уніфікованих Psets порушують 4D / 5D; слід ввести управління даними для бібліотек.
- Дисципліна CDE: версіонування/штампування є критичним для уникнення «розгалужень».
- Інтеграції / ліцензії: закриті формати, слабкі конектори; плани інтеграції з відкритими API.
- Регуляторні мости: переклад відкритих форматів / метрик у локальні ДБН / стандарти.

Висновки

Підхід до об'ємного генерування агрегативних архітектурно-дизайнерських структур, представлений у статті, демонструє, що застосування морфологічних карт у поєднанні з правилами сумісності, стандартизованою ієрархією даних (WBS → PBS → SBS) та відкритими стандартами BIM встановлює систематичний, відтворюваний та прозорий процес проектування. Морфологічні осі, матриці сумісності та формалізовані обмеження перетворюють «творчий простір» на набір прийнятних конфігурацій для автоматичного генерування та фільтрації. Використання IFC / LOIN / ISO 19650 із шаблонами IDS та обміном BCF забезпечує відстежуваність даних, перевіряння рішень і дисципліну CDE протягом життєвого циклу моделі. Цикл GFE (Gen – Filter – Explain) фіксує логіку прийняття рішень: альтернативи генеруються за жорсткими правилами, фільтруються через багатокритеріальну оцінку (геометрія, регламенти, інженерія, 4D / 5D / 6D) та зберігаються в журналі рішень для аудиту. Підключаючись до 4D / 5D та будуючи RCPSP, композиційні схеми переносяться в реалії будівельного майданчика: піки ресурсів мінімізуються, доставки синхронізуються, а зіткнення з тимчасовими структурами діагностуються. Крім того, впровадження 6D атрибутів та підготовка цифрового двійника мінімізують «операційну розрив», дозволяючи калібрувати моделі на основі існуючих польових даних, а також впроваджувати FDD / прогнозне обслуговування. Практичні ризики зводяться до якості бібліотек, невизначеностей вихідних даних і дисципліни роботи в CDE. Інструменти — «паспорт невизначеності», управління бібліотеками, стандартизовані профілі IDS — знижують ці ризики, зміцнюючи прийняття рішень. Таким чином, агрегативний підхід у BIM може стати відмінним «мостом» між архітектурною творчістю та інженерною життєздатністю, між авторською концепцією та процесами, що оточують виробничу логістику. Це мінімізує зіткнення, прискорює координацію, покращує передбачуваність витрат і часу та підгрунтя для масштабованості впровадження цифрового двійника в міське будівництво. Наслідки для майбутньої роботи можуть полягати в автоматичному генеруванні IDS на основі морфологічних правил, гармонізації бібліотек продуктів із сертифікованими Psets, інтеграції енергетичної моделі та моделі життєвого циклу на ранньому етапі фільтра GFE та стандартизації паспортів невизначеності. Рекомендується в освіті, щоб студенти навчалися та впроваджувалися в студії, де вони ознайомлюються з усім процесом WBS → PBS → SBS, де генеруються та представляються пояснення на CDE та де навички прозорого, орієнтованого на дані дизайну тренуються. Це покращить якість рішень та їхню стійкість і соціальну легітимність.

Список літератури

1. ISO 19650-1:2018. Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works including building information modelling (BIM). Information management using building information modelling. Part 1: Concepts and principles. ISO. 2018.

2. ISO 19650-2:2018. Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works including BIM. Information management using BIM. Part 2: Delivery phase of the assets. ISO. 2018.
3. ISO 19650-4:2022. Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works including BIM. Information management using BIM. Part 4: Information exchange. ISO. 2022.
4. ISO 16739-1:2018. Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries. Part 1: Data schema. ISO. 2018.
5. EN 17412-1:2020. Building Information Modelling. Level of Information Need. Part 1: Concepts and principles. CEN. 2020.
6. SMART International. Information Delivery Specification (IDS). V1.0 Final Standard approved. 2024.
7. National Institute of Building Sciences. National BIM Standard — United States, Version 3. 2015. Section 2.6 «BIM Collaboration Format (BCF)».
8. Ritchey T. General Morphological Analysis as a Basic Scientific Modelling Method. Technological Forecasting & Social Change. 2018.
9. Бензель О., Лаврінченко Л. Інформаційне моделювання сталеві будівлі з підвищеними вимогами жорсткості. *Будівельні конструкції*. Теорія і практика. 2021. Вип. 9. С. 30–44.
10. Кабінет Міністрів України. Про схвалення Концепції впровадження технологій будівельного інформаційного моделювання (BIM-технологій) в Україні та затвердження плану заходів з її реалізації: Розпорядження від 17.02.2021 № 152 2021.
11. Європейська Комісія. Посібник з впровадження інформаційного моделювання (BIM) у публічних проєктах (EU BIM Handbook). 2017 (укр. вид. 2020).
12. Доненко В. І., Лук'янова Т. В. Особливості формування вибору організаційно-технологічних рішень реконструкції діючих промислових підприємств. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2019. Вип. 5 (257–258). С. 24–30.

References

1. ISO 19650-1:2018. Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works including building information modelling (BIM). Information management using building information modelling. Part 1: Concepts and principles. ISO. 2018 [in English].
2. ISO 19650-2:2018. Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works including BIM. Information management using BIM. Part 2: Delivery phase of the assets. ISO. 2018 [in English].
3. ISO 19650-4:2022. Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works including BIM. Information management using BIM. Part 4: Information exchange. ISO. 2022 [in English].
4. ISO 16739-1:2018. Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries. Part 1: Data schema. ISO. 2018 [in English].
5. EN 17412-1:2020. Building Information Modelling. Level of Information Need. Part 1: Concepts and principles. CEN. 2020 [in English].
6. SMART International. Information Delivery Specification (IDS). Version 1.0, Final Standard. 2024 [in English].
7. National Institute of Building Sciences. National BIM Standard — United States (NBIMS-US), Version 3. NIBS. 2015 [in English].
8. Ritchey T. General Morphological Analysis as a Basic Scientific Modelling Method. Technological Forecasting & Social Change. 2018 in English].
9. Benzel O., Lavrinenko L. Informatsiine modeliuvannia stalevoi budivli z pidvyshchenymy vymohamy zhorstkosti (Information modelling of a steel building with increased stiffness requirements). *Budivelnni konstruktsii*. Teoriia i praktyka. 2021. No. 9. P. 30–44 [in Ukrainian].

10. Cabinet of Ministers of Ukraine. Pro skhvalennia Kontseptsii vprovadzhennia tekhnolohii budivelnogo informatsiinoho modeliuвання (VIM-tekhnolohii) v Ukraini ta zatverdzhennia planu zakhodiv z yii realizatsii: Rozporiadzhennia vid 17.02.2021 No. 152 (On approval of the Concept for BIM implementation in Ukraine and the action plan). 2021 [in Ukrainian].

11. European Commission. EU BIM Handbook: Handbook for the Introduction of Building Information Modelling by the European Public Sector (Ukrainian edition). 2017; Ukrainian ed. 2020 [in Ukrainian].

12. Donenko V. I., Lukianova T. V. Osoblyvosti formuvannia vyboru orhanizatsiino-tekhnolohichnykh rishen rekonstruktsii diiuchykh promyslovykh pidpriemstv (Specifics of selecting organizational and technological solutions for reconstruction of operating industrial enterprises). *Visnyk Prydniprovs'koi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury*. 2019. No. 5 (257–258). P. 24–30 [in Ukrainian].

Oleksii Yaschenko, Ph.D., Associate Professor, <https://orcid.org/0000-0001-6181-6597>

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, Ukraine

VOLUMETRIC FORMATION OF AGGREGATIVE ARCHITECTURAL–DESIGN STRUCTURES WITH CONSIDERATION OF BIM MODELING

Abstract

The approach to volumetric formation of aggregative architectural–design structures presented in the article demonstrates that combining morphological maps with compatibility rules, a standardized data hierarchy (WBS→PBS→SBS), and open BIM standards creates a controlled, reproducible, and transparent design process. Morphological axes, compatibility matrices, and formalized constraints convert the «creative space» into a set of valid configurations suitable for automated generation and filtering. The integration of IFC/LOIN/ISO 19650 with IDS templates and BCF exchange ensures data traceability, decision verifiability, and CDE discipline throughout the model lifecycle. Implementing the GFE (Gen — Filter — Explain) cycle records the logic of decision making: alternatives are generated under hard constraints, filtered by multi-criteria evaluation (geometry, codes, engineering, 4D / 5D / 6D), and the rationale is stored in a decision log for audit.

Linking with 4D / 5D and formulating RCPSP transfers compositional schemes into construction-site reality: resource peaks are reduced, deliveries are coordinated, and conflicts with temporary works are revealed. Adding 6D attributes and preparing a digital twin narrows the operational performance gap, enables model calibration with field data, and supports FDD/predictive maintenance. Practical risks boil down to library quality, uncertainties in input data, and discipline of work within the CDE. The proposed tools — an «uncertainty passport», library governance, and standardized IDS profiles — minimize these risks, increasing the robustness of solutions.

Thus, the aggregative approach in BIM serves as an effective bridge between architectural creativity and engineering feasibility, between authorial intent and production logistics. It reduces clashes, accelerates coordination, improves cost and schedule predictability, and lays the groundwork for large-scale deployment of digital twins in urban construction. Further research should focus on automatic generation of IDS from morphological rules, unification of product libraries with certified Psets, integration of energy modeling and life-cycle assessment into the early GFE filter, and standardization of uncertainty passports. In education, it is advisable to implement studios where students complete the full WBS → PBS → SBS cycle and publish explanation dashboards in the CDE, training skills in transparent, data-driven design. This will raise the quality of decisions and their social legitimacy and resilience.

Keywords: aggregative structures, BIM, IFC, ISO 19650, LOIN, morphological maps, parametric modeling, 4D / 5D, RCPSP, digital twin.