

Рудь Катерина Миколаївна

Кандидат економічних наук, доцент кафедри економіки будівництва,

<https://orcid.org/0000-0002-6349-0161>

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

**ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ФОРМУВАННЯ ШЕСТИВИМІРНИХ
БУДІВЕЛЬНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ МОДЕЛЕЙ**

***Анотація.** Вирішення проблеми ефективного управління будівельними проєктами на різних етапах їх життєвого циклу робиться багатьма вченими. На основі різних теоретичних підходів розробляються методології, результатом яких стають програмні продукти, що значно підвищують ефективність проєктування будівель і споруд, однак мало впливають на підвищення ефективності управління іншими життєвими циклами проєкту, такими як будівництво, що є самим витратним етапом реалізації проєкту, та експлуатацію. Так, результатом застосування системного підходу в проєктуванні технічних систем стало створення цілого напрямку, який визначається як 3D-моделювання, і як результат, розробкою великої кількості програмних продуктів. Однак практична реалізація проєктів засвідчила, що сама по собі 3D-модель не забезпечує ефективне управління будівельним процесом, яке пов'язане насамперед з ефективністю управління витратами. Для ефективних BIM в науковій літературі були запропоновані додаткові параметри – час та витрати, які відповідно визначались як 4D- та 5D-моделі. Наукові пошуки інтеграції 3D-моделі з додатковими двома параметрами не дали суттєвого успіху, оскільки не забезпечували, передусім, можливість розроблення методології для створення програмного продукту, який би відображав процес формування витрат у часі при створенні будівельної продукції. Системний підхід, який крім технічних систем виокремлює соціально-економічні, дав можливість розробити методологію проєктування організаційних структур на основі нормативної моделі, елементи витрат в якій розглядаються як елементи організаційної структури, а також забезпечив синтез технічної системи 3D-моделі із соціально-економічною системою, яка відображає додаткові три параметри, необхідні для формування 4D-, 5D- та 6D-моделей – технологічний процес, який розгортається в часі, та витрати, які формуються в часі при здійсненні тієї чи іншої технологічної операції і необхідні для будівництва об'єкта, тобто реалізації 3D-моделі. Отже, на основі системного підходу запропоновано теоретичні основи формування шестивимірних будівельних інформаційних моделей, що дають можливість створити програмні продукти, які в реальному часі зможуть відобразити процес створення будівельної продукції та забезпечити ефективне управління проєктами на всіх етапах їх життєвого циклу.*

Ключові слова: системний підхід; будівельні інформаційні моделі; 4D-, 5D- та 6D-моделі

Вступ

Розвиток BIM та його ефективне практичне втілення на різних етапах життєвого циклу проєктів є одним з основних завдань сьогоденної науки та практики. Актуальність цього питання зростає і в зв'язку з перспективою післявоєнної відбудови України та необхідністю забезпечення ефективної реалізації проєктів. Успішні програмні продукти, які забезпечують створення 3D-моделей, потребують подальшого розвитку, що спонукає науковців до пошуків теоретичних основ для створення 4D- та 5D-моделей. Відсутність теоретичної основи для створення 4D- та 5D-моделей призвела на сьогодні до виникнення в науковій літературі неузгодженого понятійного апарату щодо розуміння понять 4D- та

5D-моделей, а також не дає змогу науковцям сформулювати методологію для створення програмних продуктів, які б уможливили створити означені моделі. Крім того, робляться також спроби ввести нові поняття моделей, такі як 6D та 7D, характеристиками 3D-моделей технічних систем.

Виходячи з викладеного вище, виникає нагальна потреба у розробці теоретичних основ, які своєю чергою забезпечать можливість розроблення програмних продуктів для створення шестивимірних інформаційних моделей.

**Аналіз літературних джерел
і постановка проблеми**

Досліджуючи теоретичні основи виникнення BIM, можна зазначити, що цей напрям виник

передусім завдяки розвитку і впливу на різні наукові дослідження системного підходу. Саме визначення BIM може слугувати підтвердженням вищезазначеного. Так, згідно [1], BIMs – це файли, носієм інформації в яких є взаємозалежні та впорядковані елементи і системи, з яких утворюються будівлі і простори (зони), стіни, колони, балки, що включають всі потрібні фізичні, геометричні та інші властивості даних в межах, які покликані відображати нові параметри, однак насправді є лише додатковими життєвого циклу будівлі. Таке визначення BIM характерне здебільшого для 3D-моделей, які є традиційними для широко використовуваних програмних продуктів, таких як Autodesk, Archicad, Revit, Kreo, Autocad, Bricscad BIM, Actcad. Робиться також успішна адаптація цих програмних продуктів з іншими програмами, які безпосередньо пов'язані з розрахунками будівельних конструкцій [2; 3].

Виникнення та розвиток BIM значною мірою полегшило і вдосконалило роботу, пов'язану із створенням будівельних проєктів, однак не вирішило питання ефективної їх реалізації на різних етапах життєвого циклу. В літературі, присвяченій вирішенню означеного питання, робляться спроби ввести такі поняття, як 4D- та 5D-моделі [4 – 12]. Так, для 4D-моделі четвертим додатковим параметром визначається час, а для 5D-моделі, – витрати чи інші показники. Однозначного бачення того, яким має бути п'ятий параметр у науковців, на жаль, немає. Крім того, в означених роботах не розглядаються теоретичні основи, які дадуть змогу якісно синтезувати 3D-модель із параметрами для 4D- та 5D-моделей, що своєю чергою допомогло б забезпечити розроблення методології, необхідної для створення програмного продукту.

Деякі науковці розглядають також можливість створення 6D- та 7D-моделей. Так, згідно [13], 6D-модель включає додатковий параметр – дотримання принципів сталого розвитку в будівельному проєкті, а 7D – моделювання на Facility Management, що полягає в управлінні будівельним об'єктом протягом цілого циклу життя, від проєктування до ліквідації.

Слід зазначити, що пошуки додаткових параметрів для створення 4D-, 5D- та 6D-моделей в літературі не представлені як такі, що мають теоретичну основу і можуть бути синтезовані з 3D-моделями.

Мета та задачі публікації

Метою статті є формування теоретичних основ створення шестивимірних будівельних інформаційних моделей на основі системного підходу.

Для досягнення поставленої мети необхідне вирішення таких завдань:

- на основі системного підходу виокремити системи різних ієрархічних рівнів;
- на основі методології проєктування організаційних структур створити інформаційну модель соціально-економічної системи;
- теоретично обґрунтувати якісний синтез технічних та соціально-економічних систем;
- сформулювати шестивимірну інформаційну будівельну модель.

Виклад основного матеріалу

Для формування теоретичних основ створення 6D-моделей буде використовуватися системний підхід, принципи і поняття якого значною мірою мали вплив на формування 3D-моделей і викладені в [14].

Насамперед слід відзначити, що теорія систем виокремлює три типи систем: технічні, біологічні та соціально-економічні. Очевидно, що будь-які будівлі і споруди цивільного та промислового призначення належать до технічних систем. Наявне програмне забезпечення BIM успішно використовується для створенням 3D-моделей, які миттєво перепроектуються у разі зміни будь-якого елемента системи (об'єкта). Найвищу ефективність застосування 3D-моделей науковці, практики та замовники можуть спостерігати на етапі розроблення першого етапу життєвого циклу проєкту – розроблення проєктної документації. Не дивлячись на високу ефективність створення 3D-моделей на першому етапі життєвого циклу об'єкта, одночасно на цьому етапі виникає основна проблема цілісного поєднання 3D-моделі з четвертим, п'ятим і очевидно шостим параметрами.

Вище вже зазначалося, що в сучасній літературі додатковим параметром для створення 4D-моделі є час, а для 5D-моделі – це є витрати. Очевидно, що сам по собі час не має ніякого значення, якщо в ньому нічого не відбувається. Тому, необхідно визначити додатковий параметр, який би забезпечував створення 6D-моделі. Єдиний параметр, який може бути поєднаний з часом та витратами – це є технологічний процес. Адже жодна 3D-модель не може бути створена без виконання технологічних операцій. Тут слід зазначити, що визначення самих по собі параметрів ще не забезпечує синтез 3D-моделі з цими параметрами. Для синтезу 3D-моделі з іншими параметрами необхідно здійснити пошук та обґрунтування теоретичних основ, за допомогою яких об'єкт будівництва створювався б одночасно з прив'язкою до часу, витрат та технологічного процесу, що забезпечувало б формування якісних 6D-моделей.

Як вже зазначалося вище, з точки зору системного підходу 3D-модель – це технічна система. Будь-яка технічна система (об'єкт

будівництва) створюється іншим типом систем – соціально-економічними системами, які мають певну організаційну структуру. Отже, організаційна структура будь-якої соціально-економічної системи має проектуватися для того чи іншого об'єкта будівництва.

Отже, питання щодо формування ефективної організаційної структури соціально-економічних систем є нагальними питанням, яке потрібно вирішити для можливості формування шестивимірних моделей.

Якщо розглядати методологічні проблеми, з якими стикнулася наука управління під час вирішення проблеми формування ефективної організаційної структури, то тут слід відзначити нижченаведене.

Сучасні методології будуються на тому, що організаційна структура і економічні процеси розглядаються як дві окремі категорії, які сучасна наука не може теоретично поєднати.

Розглядаючи організаційну структуру на основі системного підходу, слід насамперед зазначити, що будь-яка структура складається з елементів та зв'язків між ними. Слід також враховувати, що елементами організаційної структури є не лише трудові ресурси, а і матеріальні. Матеріальні ресурси можуть стати структурованими елементами лише за умови визначення функцій трудових ресурсів, які своєю чергою визначаються згідно задуманого (запроектowanego) технологічного процесу.

Отже, цілісне розуміння поняття “організаційна структура” та процес її формування слід розглядати як низку послідовних взаємопов'язаних етапів:

1. Виокремлення однорідних економічних елементів, з яких буде складатися організаційна структура.

2. Формування організаційної структури з трудових ресурсів на основі нормативної моделі, яка передбачає поділ системи на керуючу та керовану підсистеми, а також виокремлення в останній основного, допоміжного та обслуговуючого виробництв [15].

3. Проектування цілісної організаційної структури за всіма видокремленими однорідними елементами витрат.

4. Проектування процесу функціонування організаційної структури.

Розглянемо детальніше визначені вище етапи.

Виокремлення однорідних елементів, з яких буде складатися організаційна структура, означає розподіл всіх видів ресурсів, які будуть використовуватися, за однорідними економічними елементами. Економічна наука розрізняє різні види однорідних економічних елементів, які і становлять

витрати організації, необхідні для реалізації того чи іншого проекту. Як правило, виокремлюють такі однорідні економічні елементи витрат: “матеріальні витрати”, “експлуатація машин і механізмів”, “витрати на оплату праці”, “відрахування на соціальні заходи” тощо.

Залежно від специфіки галузі, для якої проектується організаційна структура, можуть виокремлюватися й інші однорідні елементи витрат. Слід також зазначити, що при виокремленні різних видів однорідних економічних елементів, виокремлення елементів, що відображають трудові ресурси є обов'язковим.

Формування організаційної структури з трудових ресурсів на основі нормативної моделі, відбувається шляхом проектування цілісної системи, яка складається з двох підсистем – керованої та керуючої.

Проектування починається з керованої (виробничої) підсистеми, в якій розрізняються три види виробництв: основне, допоміжне і обслуговуюче.

І хоча нормативну модель в [15] запропоновано для виробництва будівельної продукції, самі по собі функції основного, допоміжного й обслуговуючого виробництва є універсальними, тож необхідними для функціонування будь-якої системи, не залежно від галузі виробництва.

Означені функції за необхідності також можуть виокремлюватись на будь-якому ієрархічному рівні проектованої системи.

Проектування організаційної структури як цілісної системи відбувається за всіма виокремленими на першому етапі однорідними елементами на основі їх інтеграції з нормативною моделлю. В основу такого формування закладено твердження, що елементи організаційної структури (виокремлені на другому етапі згідно нормативної моделі) при реалізації своїх функцій стають носіями елементів витрат.

Іншими словами, структуровані згідно нормативної моделі трудові ресурси, при реалізації своїх функцій, структурують за функціональним призначенням всі інші види ресурсів за однорідною ознакою, які також стають елементами організаційної структури і мають чітко визначену ієрархію і функціональне призначення. При цьому слід розуміти, що якщо розглядати різні етапи життєвого циклу проекту, то очевидно, що на етапі проектування організаційної структури йдеться не про фактичну реалізацію функцій, а проектну. Приклад проектування організаційної структури як цілісної системи, шляхом інтеграції нормативної моделі та виокремлених вище однорідних елементів витрат наведено на рис. 1.

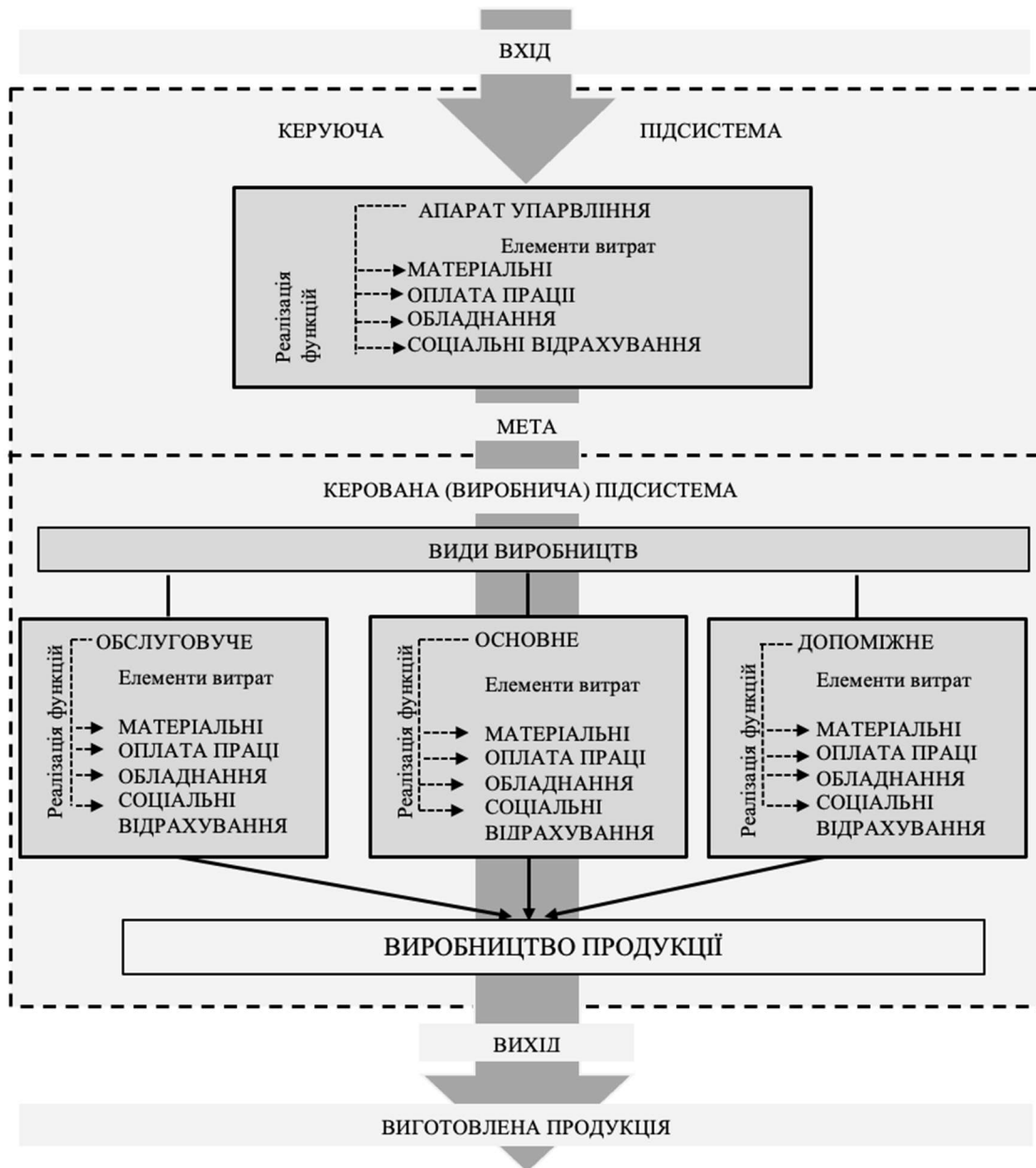


Рисунок 1 – Проектування організаційної структури як цілісної системи

Джерело: розроблено автором

Проектування процесу функціонування організаційної структури відбувається в органічному взаємозв'язку з технологічним процесом. Тобто, кінцеве формування організаційної структури відбувається як органічне поєднання кожної технологічної операції із запроєктованою структурою, яка буде виконувати цю операцію. При цьому слід взяти до уваги, що наявність технологічного процесу має розглядатися не лише в керованій (виробничій) підсистемі, а і в керуючій. І якщо функції керуючої підсистеми в більшості випадків зводяться до контролю, аналізу функціонування та, за необхідності, корегування керованої (виробничої) підсистеми, все одно вони також мають певну технологічно визначену

послідовність, а тому мають бути запроєктовані. Отже, поетапне проектування організаційної структури становить динамічну, органічно сформовану цілісність. При цьому структура елементів такої організаційної структури на будь-якому етапі життєвого циклу проекту якісно залишається незмінною.

Якісна цілісність будь-якого елемента організаційної структури, сформованої на основі нормативної моделі, залишається незмінною на всіх без виключення етапах реалізації життєвого циклу проекту, що своєю чергою дає можливість чітко і однозначно контролювати і аналізувати кількісні зміни кожного елемента витрат.

Можливість здійснення аналізу якісно запроєктованого кожного елемента організаційної структури робить її абсолютно керованою, оскільки якісний аналіз кожного елемента організаційної структури дає можливість здійснювати ефективне управління нею цілісно.

Описана вище методологія формування організаційної структури дає можливість сформулювати параметри, необхідні для їх створення, а також органічно поєднання з 3D-моделлю.

Отже, запроєктована на основі нормативної моделі (рис. 1) організаційна структура поєднує в собі всі три параметри, необхідні для формування 4D-, 5D- та 6D-моделей – час, технологічний процес та витрати (які формуються за допомогою однорідних елементів).

Слід також зазначити, що питання, які піднімаються в науковій літературі стосовно визначення параметрів для створення 7D-моделей та моделей вищих вимірів [13], потребують розроблення додаткових теоретичних основ для їх створення.

Використовуючи нормативну модель організаційної структури (рис.1), на рис. 2 представлено 4D-, 5D- та 6D-моделі будівництва будівлі цивільного призначення. Як видно з рис. 2, 3D-модель цивільної будівлі (збірна залізобетонна конструкція) органічно синтезована з додатковими параметрами: час (4D-параметр), витрати (5D-параметр) та технологічний процес (6D-параметр). При цьому слід зазначити, що організаційна структура соціально-економічної системи сама по собі утворює також 3D-модель. Отже, якщо ми говоримо про шестивимірне моделювання BIM, то можна однозначно стверджувати, що це якісний синтез 3D-моделі соціально-економічної системи з 3D-моделлю технічної системи.

При виконанні кожної технологічної операції організаційна структура соціально-економічної системи перепроектується згідно нормативної моделі в 3D-просторі, відповідно змінюються всі елементи витрат. При цьому згідно з проектною документацією змінюється 3D-модель технічної системи.

Отже, запроєктована на основі нормативної моделі (рис.1) організаційна структура є динамічною соціально-економічною системою, яка може змінюватися згідно технологічного процесу, що є невід'ємним параметром для реалізації 3D-моделі (об'єкта будівництва) та утворення іншого параметра – витрат, які формуються за однорідними економічними елементами. Слід також зазначити, що при здійсненні кожної окремої технологічної операції, яка є неподільною частиною технологічного процесу будівництва, елементи організаційної структури, запроєктовані на основі нормативної моделі, змінюються лише кількісно, що

допомагає здійснювати якісне управління проектом на всіх етапах його життєвого циклу.

Отже, теоретичною основою для створення 4D-, 5D- та 6D-моделей слугує нормативна модель організаційної структури, яка якісно синтезує якісну структуру, яка одночасно визначає всі ресурси, необхідні для будівництва будь-якого об'єкта.

Повертаючись до необхідності формування понятійного апарату BIM на основі системного підходу [14], можна визначити, що 3D-модель – це технічна система, яка складається з елементів і зв'язків між ними. Зміна одного елемента призводить до зміни всієї системи.

4D-, 5D- та 6D-моделі взаємопов'язані, оскільки організаційна структура, згідно нормативної моделі (рис.1) не може проектуватися без технологічного процесу, а витрати не можуть здійснюватися без реалізації цього процесу. Як зазначалося вище, 4D-, 5D- та 6D-моделі – це соціально-економічна система. Зміна елементів цієї системи згідно технологічного процесу дає можливість створити 3D-модель будь-якого об'єкта промислового та цивільного призначення.

Поділ систем на технічні, біологічні та соціально-економічні, який визначає системний підхід, дає можливість зробити самий простий логічний висновок, що проектування 4D-, 5D- та 6D-моделей може розглядатися лише в синтезі з створенням 3D-моделі. Іншими словами, якщо розглядати реальне будівництво об'єкта, то очевидно, що без наявності будівельної компанії (соціально-економічної системи, 4D-, 5D- та 6D-моделі), будівля або споруда (технічна система, 3D-модель) не зможуть бути побудовані. Тому і 3D-модель не може проектуватися окремо від 4D-, 5D- та 6D-моделей та ще й в цілому першою. Створення 3D-, 4D-, 5D- та 6D-моделей – це органічно взаємопов'язаний процес, базований на синтезі технічної та соціально-економічної систем, причому соціально-економічна система проектується на основі нормативної моделі організаційної структури (рис.1), так само як і будь-яка технічна система, для проектування якої є чітко визначені технічні норми і правила.

Отже, 3D-, 4D-, 5D- та 6D-моделювання – це органічно взаємопов'язаний процес синтезу технічних та соціально-економічних систем. При цьому технічні системи проектуються на основі відповідних розрахунків, норм і правил, а соціально-економічні системи проектуються на основі нормативної моделі (рис. 1).

З урахуванням викладених теоретичних основ формування шестивимірних моделей можна дати визначення BIMs. Отже, BIMs – це файли, носієм інформації в яких є взаємозалежні та впорядковані згідно технологічного процесу технічні та економічні елементи і системи, за допомогою яких утворюються будівлі і споруди.

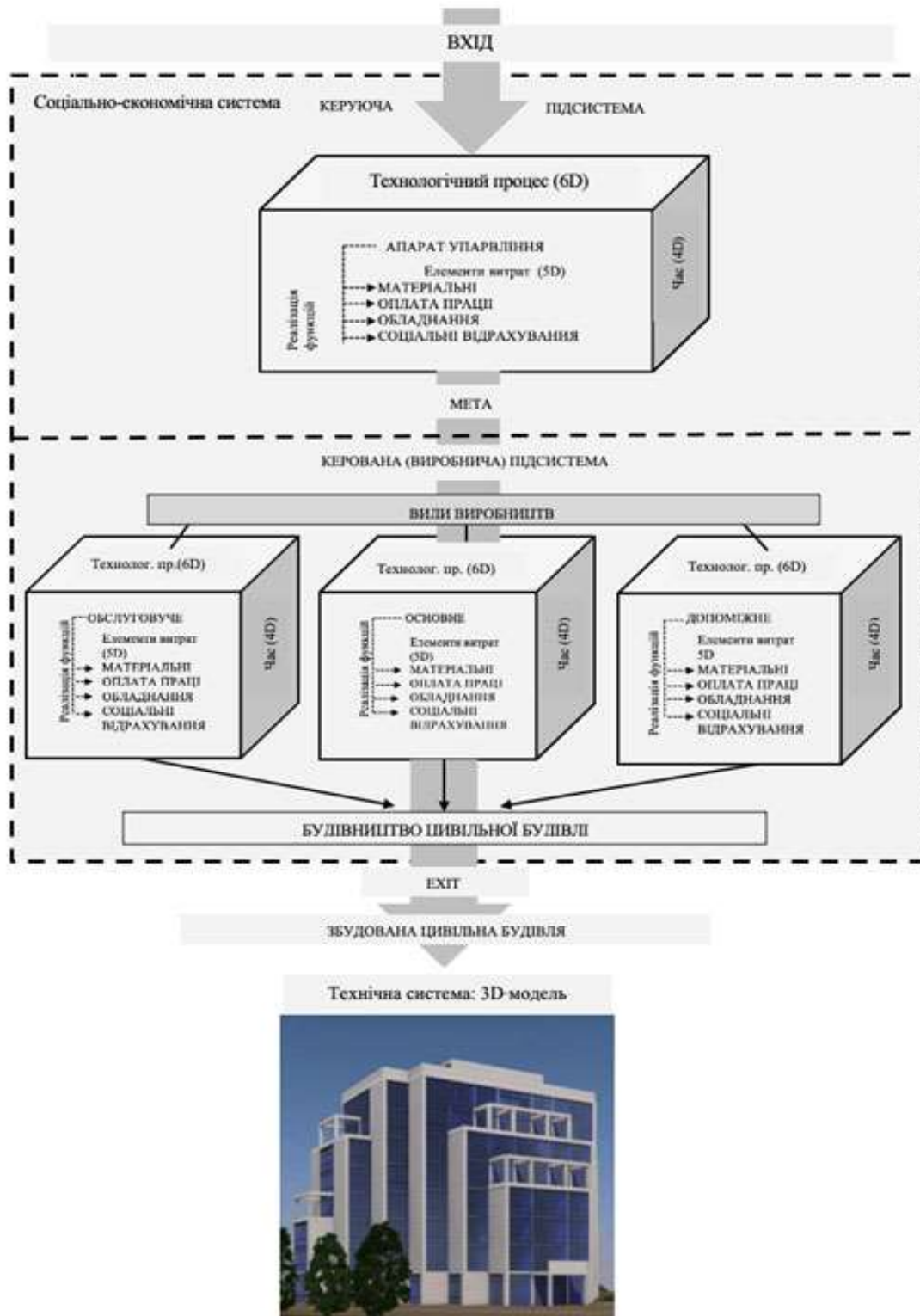


Рисунок 2 – Синтез 3D-моделей технічних та соціально-економічних систем
 Джерело: Розроблено автором

Висновки та перспективи подальших досліджень

Створення шестивимірних будівельних моделей стало можливим лише завдяки синтезу технічних та соціально-економічних систем.

Зміна будь-якого елемента в 3D-, 4D-, 5D- та 6D-

моделях призведе до зміни інших елементів цих моделей.

Теоретичні основи формування шестивимірних моделей забезпечують створення програмних продуктів, які в реальному часі зможуть відобразити процес створення будівельної продукції з визначенням витрат на будь-якому етапі здійснення

технологічної операції. Візуалізація процесу виробництва будівельної продукції забезпечить ефективне управління проектами на всіх етапах їх життєвого циклу.

Подальші теоретичні дослідження можуть бути пов'язані з пошуком та обґрунтуванням параметрів, необхідних для створення будівельних інформаційних моделей вищих вимірів.

Список літератури

1. Гудима Л. О. BIM-технології в будівництві: сучасні виклики для України. *Бізнесінформ*. № 2, 2024. С. 97–104. URL: https://www.business-inform.net/export_pdf/business-inform-2024-2_0-pages-97_104.pdf
2. Адаменко В. М. Досвід застосування BIM-технологій при проектуванні і розрахунках сталевих та залізобетонних конструкцій. *BIM – технології в будівництві: досвід та інновації*. С. 13–16. URL: <https://repository.knuba.edu.ua/server/api/core/bitstreams/22c24008-b885-4e52-ba3d-b9a79e67650d/content>
3. Андрухов В. М., Потеха А. С., Мартинов І. С. Поєднання BIM-технології з системами САД для розробки робочої документації залізобетонних монолітних конструкцій. *Науково-технічний журнал “Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві”*. 2023. С. 152–155. URL: <https://stmkvb.vntu.edu.ua/index.php/stmkvb/article/view/799/742>
4. Гуртов О. С. BIM як засіб вирішення проблем проектування. *Молодий вчений*. № 6. 2021. С. 88–91. URL: <https://molodyivchenyi.ua/index.php/journal/article/view/729/703>
5. Rokooei, S. (2015). Building Information Modeling in Project Management: Necessities, Challenges and Outcomes. *Procedia Social and Behavioral Sciences*. 87-95. URL: www.researchgate.net/publication/286541567_Building_Information_Modeling_in_Project_Management_Necessities_Challenges_and_Outcomes
6. Sharma, P., Gupta, S., Kumar, L. A Critical Appraisal of Integrating 4D and 5D BIM into Construction Practice. *ADR Journals* 2017. URL: <https://journals.indexcopernicus.com/api/file/viewByFileId/215066.pdf>
7. Noviani, S., Amin, M., Hardjomuljadi, S. The impact of 3D, 4D, and 5D Building Information Modeling for reducing claims to service providers. *Sinergi*. 2022. 47–56. URL: <https://media.neliti.com/media/publications/355787-the-impact-of-3d-4d-and-5d-building-info-51f3dc20.pdf>
8. Hosamo, H., Rolfsen, C., Zeka, F. Navigating Adoption of 5D Building Information Modeling: Insights from Norway. 2024. URL: <https://www.mdpi.com/2412-3811/9/4/75>
9. Amico, F., Ascanio, L., Falco, M. BIM for Infrastructure: an efficient process to achieve 4D and 5D digital dimensions. *European Transport*. 2020. 1-11. URL: https://www.istiee.unict.it/sites/default/files/files/2_10_ET_180.pdf
10. Xu, J. Research on Application of BIM 5D Technology in Central Grand Project. *Procedia Engineering. 13th Global Congress on Manufacturing and Management, GCMM*. 2016. 600–610. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705817301947>.
11. Basir, W., Majid, U. Adaptation 4D and 5D BIM for BIM/GIS data integration in construction project management. *International Graduate Conference of Built Environment and Surveying*. 2023. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/1274/1/012002/pdf>
12. Mulyo, and Mawardi Amin. Analysis of Building Information Modelling (BIM) 4D-5D Method to Minimize the Occurrence of Variation Orders in Design and Build. *International Journal of Engineering Research and Advanced Technology*. 2023. URL: <https://ijerat.com/index.php/ijerat/article/view/697/602>
13. Трач Р. В. Інформаційне моделювання в будівництві (BIM): сутність, етапи становлення та перспективи розвитку. *Миколаївський національний університет В.О. Сухомлинського*. № 16, 2017. С. 490–495. URL: <http://global-national.in.ua/archive/16-2017/99.pdf>
14. Рудь М. С. Вступ до системного аналізу: методичні вказівки. Київ : КНУБА, 2003. 12 с.
15. Рудь Н. С. Повышение эффективности функционирования строительных объединений на основе совершенствования их производственных структур: Дис... канд. экон. наук: 08.00.05. Київ, 1984. 171 с.

Стаття надійшла до редакції 20.10.2024

Kateryna Rud

PhD (Economics), associate professor, Department of Construction Economics,
<https://orcid.org/0000-0002-6349-0161>
Kyiv National University of Construction and Architecture

THEORETICAL BASIS OF THE FORMATION OF SIX-DIMENSIONAL BUILDING INFORMATION MODELS

Abstract. Solving the problem of effective management of construction projects at different stages of their life cycle is done by a lot of scientists. On the basis of various theoretical approaches are developed methodologies, the result of which are software products that significantly increase the efficiency of the design of buildings, but have a little influence on increasing the efficiency of managing other life cycles of the project, such as construction, which is the most expensive stage of project implementation and operation. Thus, for example, the result of the application of the system approach in the design of technical systems was the creation of a whole direction, which is defined as 3D modelling, and as a result, the development of a large number of software products. However, the practical implementation of the projects showed that the 3D model alone does not provide effective management of the construction process, which is primarily related to the effectiveness of cost management. For effective BIM, additional parameters are proposed in scientific literature – time and costs, which were defined as 4D and 5D models. Scientific searches for

the integration of a 3D model with additional two parameters did not yield significant success, as they did not provide, first of all, the possibility of developing methodology for creating software product that would reflect the process of forming costs over time when creating construction products. The system approach which in addition to technical systems distinguishes socio-economic ones, made it possible to develop a methodology designing organizational structures and also provided a synthesis of the technical system of the 3D model with the socio-economic system, which reflects the additional three parameters necessary for the formation of 4D, 5D and 6D models – the technological process that unfolds over time and the costs that are formed over time during the implementation of one or another technological operation and necessary for the construction of the object (3D model). Thus, on the basis of systemic approach, theoretical foundations for the formation of 4D, 5D and 6D construction information models are proposed, which make it possible to create software products that will be able to display the process of creating construction products in real time with the determination of their cost, which will ensure effective project management at all stages of their life cycle.

Keywords: system approach; building information models; 4D, 5D and 6D models

References

1. Ghudyma, L. O. (2024). BIM technologies in construction: modern challenges for Ukraine. *Business information*, 2, 97–104, [in Ukrainian]. URL: https://www.business-inform.net/export_pdf/business-inform-2024-2_0-pages-97_104.pdf.
2. Adamenko, V. (2021, March). Experience in using BIM technologies in the design and calculations of steel and reinforced concrete structures. *BIM technologies in construction: experience and innovations: The first all-Ukrainian scientific and practical conference*, (Kharkiv, March 18–19, 2021), 13–16, [in Ukrainian]. URL: <https://repositary.knuba.edu.ua/server/api/core/bitstreams/22c24008-b885-4e52-ba3d-b9a79e67650d/content>
3. Andrukhov, V. M., Potjekha, A. S. & Martynov, I. S. (2023). The combination of BIM technology with CAD systems for the development working documentation of reinforced concrete monolithic structures. *Scientific and technical magazine "Modern technologies, materials and constructions in construction"*, 152–155 [in Ukrainian]. URL: <https://stmkvb.vntu.edu.ua/index.php/stmkvb/article/view/799/742>
4. Ghutorov, O. S. (2021). BIM as a means of solving design problems. *A young scientists*, 6, 88–91 [in Ukrainian]. URL: <https://molodyvchenyi.ua/index.php/journal/article/view/729/703>
5. Rokoei, S. (2015). Building Information Modeling in Project Management: Necessities, Challenges and Outcomes. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 87–95. URL: www.researchgate.net/publication/286541567_Building_Information_Modeling_in_Project_Management_Necessities_Challenges_and_Outcomes
6. Sharma, P., Gupta, S. & Kumar, L. (2017). A Critical Appraisal of Integrating 4D and 5D BIM into Construction Practice. *ADR Journals*, 4(3), 1–8. URL: <https://journals.indexcopernicus.com/api/file/viewByFileId/215066.pdf>
7. Noviani, S. A., Amin, M. & Hardjomuljadi, S. H. (2022). The impact of 3D, 4D, and 5D Building Information Modeling for reducing claims to service providers. *SINERGI*, 26(1), 47–56. URL: <https://media.neliti.com/media/publications/355787-the-impact-of-3d-4d-and-5d-building-info-51f3dc20.pdf>.
8. Hosamo, H. H., Rolfsen, C. N., Zeka, F., Sandbeck, S., Said, S. & Sætre, M. A. (2024). Navigating the Adoption of 5D Building Information Modeling: Insights from Norway. *Infrastructures*, 9(4), 75. URL: <https://www.mdpi.com/2412-3811/9/4/75>
9. D'Amico, F., D'Ascanio, L., De Falco, M. C., Ferrante, C., Presta, D. & Tosti, F. (2020). BIM for infrastructure: An efficient process to achieve 4D and 5D digital dimensions. *European Transport/Trasporti Europei*, 77. URL: https://www.istec.unict.it/sites/default/files/files/2_10_ET_180.pdf.
10. Xu, J. (2017). Research on application of BIM 5D technology in central grand project. *Procedia engineering*, 174, 600–610. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705817301947>.
11. Abdul, W. N. F. A. W., Ujang, U. & Majid, Z. (2023, December). Adaptation 4D and 5D BIM for BIM/GIS data integration in construction project management. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1274, No. 1, p. 012002). IOP Publishing. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/1274/1/012002/pdf>.
12. Mulyo & Mawardi, Amin. (2023). Analysis of Building Information Modelling (BIM) 4D-5D Method to Minimize the Occurrence of Variation Orders in Design and Build Contract Models. *International Journal of Engineering Research and Advanced Technology*, 9 (12), 1–13. <https://doi.org/10.31695/IJERAT.2023.9.12.2>.
13. Trach, R. V. (2017). Informacijne modeljuvannja v budivnyctvi (BIM): sutnistj, etapy stanovlennja ta perspektyvy rozvytku [Building information modeling (BIM): definition, origins and elements, brief history and future prospects]. *Ghlobaljni ta nacionaljni problemy ekonomiky*, 16, 490–495. URL: <http://global-national.in.ua/archive/16-2017/99.pdf>.
14. Rud, M. (2003). *Introduction to system analysis*. Methodical instructions. Kyiv.
15. Rud, M. (1984). Increasing the efficiency of construction associations based on improving their production structures.

Посилання на публікацію

- APA Rud, Kateryna. (2024). Theoretical basis of the formation of six-dimensional building information models. *Management of Development of Complex Systems*, 60, 192–199, dx.doi.org/10.32347/2412-9933.2024.60.192-199.
- ДСТУ Рудь К. М. Теоретичні основи формування шестивимірних будівельних інформаційних моделей. *Управління розвитком складних систем*. Київ, 2024. № 60. С. 192 – 199, dx.doi.org/10.32347/2412-9933.2024.60.192-199.