

Юрій ЧУПРИНА,

д-р екон. наук, професор

ORCID: 0000-0002-4934-2058

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

НАУКОВО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ КОГНІТИВНО-ІНТЕГРАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ БУДІВНИЦТВА В УМОВАХ ДИНАМІЧНОЇ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

Функціонування організаційно-технологічних систем будівництва в умовах динамічної невизначеності потребує переходу до інтегрованих моделей, здатних відображати складну багаторівневу структуру взаємодій і нелінійну природу впливів. Посилення стохастичних коливань ресурсних потоків, варіативність технологічних параметрів та зростання ризикових навантажень зумовлюють необхідність формування адаптивного аналітичного простору, у межах якого причинно-наслідкові зв'язки можуть бути формалізовані та інтерпретовані в режимі прогнозування.

Когнітивно-інтеграційний підхід ґрунтується на поєднанні причинно-наслідкових карт із матричними моделями взаємодій, стохастичними функціями та нечіткими алгоритмами регулювання. Така конфігурація забезпечує відображення взаємозалежності управлінських рішень, технологічних операцій і зовнішніх факторів у єдиній динамічній структурі. Когнітивні карти виконують роль топологічної основи системи, дозволяючи ідентифікувати ключові вузли впливу, визначити інтенсивність взаємодій та формувати сценарні траєкторії розвитку.

Інтеграція стохастичних процесів забезпечує врахування ймовірнісної природи коливань строків виконання робіт, обсягів ресурсів і фінансових показників. Нечітка логіка розширює можливості моделювання за рахунок включення експертних оцінок та якісних характеристик, що трансформуються у формалізовані управлінські сигнали. Поєднання цих компонентів формує багатопарову архітектуру, у якій кількісні та якісні параметри функціонують як взаємопов'язані елементи єдиного інформаційного поля.

Особливого значення набуває синхронізація когнітивних моделей із цифровими середовищами проектування та управління, що забезпечує оперативне оновлення параметрів і підтримку прийняття рішень у режимі реального часу. Така інтеграція сприяє переходу від реактивного реагування на відхилення до прогнозно орієнтованого управління, заснованого на оцінюванні сценарної стійкості та запасу адаптивності системи.

Узгоджене функціонування стратегічного, операційного та інформаційного рівнів у межах когнітивно-інтеграційної моделі створює умови для збереження цілісності організаційно-технологічної структури, мінімізації ризиків та підвищення керованості будівельних процесів у середовищі структурної мінливості.



Ключові слова: *когнітивне моделювання, інтеграційна архітектура, організаційно-технологічні системи, динамічна невизначеність, стохастичні процеси, нечітка логіка, сценарна стійкість, цифрова інтеграція.*

Вступ. Організаційно-технологічні системи будівництва являють собою складні багаторівневі утворення, що поєднують матеріальні, інформаційні та управлінські компоненти. Їх функціонування відбувається в умовах мінливого зовнішнього середовища, яке характеризується економічними коливаннями, змінами нормативного регулювання, технологічними інноваціями та нестабільністю ресурсного забезпечення. У таких умовах традиційні моделі планування і контролю, засновані на статичних припущеннях, не забезпечують належного рівня адаптивності та прогнозованості результатів.

Необхідність урахування взаємопов'язаності факторів, нелінійності впливів та стохастичної природи процесів зумовлює формування інтегрованих моделей, здатних відобразити причинно-наслідкову структуру системи. Когнітивні карти дозволяють систематизувати впливи між ключовими змінними, визначити інтенсивність їх взаємодії та виявляти потенційні сценарії розвитку.

Поєднання когнітивного представлення з математичними інструментами – матричними структурами, стохастичними функціями та нечіткими операторами – формує багатопарову архітектуру моделювання. Така архітектура здатна інтегрувати кількісні та якісні параметри, забезпечуючи цілісність аналізу.

Розвиток цифрових технологій у будівництві створює додаткові можливості для інтеграції когнітивних моделей із інформаційними середовищами, що підвищує точність прогнозів та оперативність управлінських рішень.

Актуальність. Зростання складності будівельних проєктів, інтенсифікація цифровізації та підвищення рівня ризиків визначають потребу у формуванні інтегрованих моделей управління, здатних функціонувати в умовах невизначеності. Динамічна мінливість середовища обмежує ефективність традиційних методів планування, що орієнтовані на стабільність параметрів і лінійність процесів.

Когнітивно-інтеграційне моделювання забезпечує можливість врахування структурної складності та багатофакторності впливів, формуючи основу для прогнозного аналізу та адаптивного реагування. Його застосування сприяє підвищенню стійкості організаційно-технологічних систем, зменшенню ризиків і забезпеченню довгострокової ефективності будівельних процесів.

Постановка проблеми. Складність і багатофакторність організаційно-технологічних систем будівництва в умовах динамічної невизначеності ускладнюють забезпечення їх стабільного функціонування. Відсутність інтегрованого підходу до поєднання когнітивних, стохастичних та сценарних компонентів призводить до фрагментарності аналізу та зниження прогностичної спроможності моделей.

Необхідним є формування узгодженого інструментарію, який дозволяє відобразити взаємозалежність управлінських рішень, технологічних параметрів і ризикових факторів у єдиному аналітичному просторі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Наукові розробки у сфері когнітивного моделювання, системної динаміки та стохастичних процесів створили передумови для інтеграції різних аналітичних підходів. Водночас більшість досліджень зосереджені на окремих аспектах моделювання без їх комплексного поєднання. Недостатньо

опрацьованими залишаються питання інтеграції когнітивних структур із цифровими інформаційними моделями та формування адаптивних механізмів управління, що враховують багаторівневу динаміку системи.

Метою цієї статті є формування цілісного підходу до когнітивно-інтеграційного моделювання організаційно-технологічних систем будівництва в умовах динамічної невизначеності шляхом поєднання причинно-наслідкових структур, стохастичних процесів, нечітких алгоритмів та сценарного аналізу в єдину адаптивну модель, здатну забезпечувати прогнозування, оцінювання стійкості та підтримку управлінських рішень.

Виклад основної інформації. Науково-методологічні засади когнітивно-інтеграційного моделювання організаційно-технологічних систем будівництва в умовах динамічної невизначеності формуються на основі системного синтезу когнітивних карт, інтелектуальних предиктивних механізмів і технологічно обумовлених керуючих контурів, які забезпечують підвищення стійкості та адаптивності будівельних процесів, як підкреслює Р. Аксельрод [1]. Сутність такого підходу полягає у створенні багатопарової структурної моделі, здатної відображати взаємодію інформаційних потоків, управлінських рішень, ресурсних обмежень і поведінкових реакцій учасників проєктного середовища, що узгоджується з аналітичними підходами Лотфі Заде [2]. У динамічних умовах, де невизначеність виявляється як коливання термінів, зміна технологічних параметрів або збурення зовнішнього середовища, виникає потреба у когнітивному інструментарії, що дозволяє не лише описати систему, а й прогнозувати її майбутні стани.

Когнітивно-інтеграційне моделювання базується на використанні складного математичного апарату, де вектори стану, матриці взаємодій і нелінійні функції адаптації поєднуються у єдину інтегровану структуру.

Оцінювання системної динаміки може бути представлене через складну багатовимірну функцію:

$$\Omega_{CIS} = \left[\int_0^T (\mathbf{A}(t) \otimes e^{-\Xi(t)}) \cdot \left(\int_{\Omega} \kappa(\mathbf{x}, t) d\Omega \right) dt \right]^{\rho(t)}, \quad (1)$$

де $\mathbf{A}(t)$ – матриця взаємодій когнітивних вузлів, $\Xi(t)$ – оператор структурних деформацій системи, $\kappa(\mathbf{x}, t)$ – поле інтенсивності збурень, $\rho(t)$ – управляюча функція адаптивності. Формула поєднує часові, просторові та когнітивні параметри, дозволяючи досліджувати поведінку організаційно-технологічних систем у складних умовах. Розширена оцінка стабілізаційної здатності системи визначається через ще складніший оператор:

$$S_{stab} = \lim_{\tau \rightarrow \infty} \prod_{i=1}^n \left[\int_{\Theta_i} \frac{\mathbf{H}_i(t) \odot \Lambda_i(t)}{1 + (Y_i(t))^\delta} d\Theta \right]^{\sigma_i(t)}, \quad (2)$$

де $\mathbf{H}_i(t)$ – матриця технологічних реакцій, $\Lambda_i(t)$ – когнітивно-структурний регулятор, $Y_i(t)$ – індикатор невизначеності, δ – параметр чутливості, $\sigma_i(t)$ – коефіцієнт адаптивної ваги. Оператор дає змогу моделювати каскадні процеси та виявляти точки потенційної деградації системи.

У контексті побудови цілісної моделі першочергове значення має структурна організація когнітивних рівнів, які формують ядро інтеграційного механізму, як наголошував Герберт Саймон [3]. Ці рівні виконують функцію не пасивного відображення інформації, а активного середовища інтерпретації, в якому дані набувають управлінського сенсу та перетворюються на підстави для рішень. Як показано на схемі на рис. 1, саме когнітивна компонента визначає топологію

впливів і забезпечує взаємопов'язаний рух інформаційних, організаційних і технологічних контурів, що узгоджується з підходами Рассела Акоффа [4]. Вона задає логіку пріоритетів, ієрархію значущості сигналів та правила їх агрегування, завдяки чому різномірні елементи системи не розпадаються на автономні блоки, а функціонують як узгоджене ціле. У такій конфігурації когнітивні рівні виступають механізмом узгодження між стратегічним баченням і операційною реалізацією, забезпечуючи адаптивність моделі до змін зовнішнього середовища та внутрішньої динаміки проєкту.

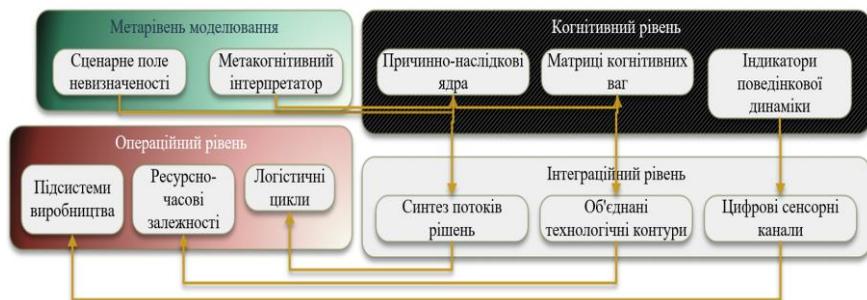


Рис. 1. Багатоядерна когнітивно-інтеграційна архітектура ОТС (розроблено автором на основі [3,4])

Подальша інтеграція когнітивних залежностей із технологічними характеристиками вимагає створення розширеної аналітичної структури, що відображає відповідність між параметрами системи та їх впливом на стабільність проєкту. Саме для цього формується велика систематизована таблиця, яка узагальнює ключові змінні, їхню природу та функціональне призначення. Перед її наведенням зазначимо, що вона відіграє роль базового інформаційного каркасу для моделювання, що продемонстровано в таблиці 1.

Таблиця 1

Розширена систематизація параметрів когнітивно-інтеграційної моделі

Параметр	Тип впливу	Опис / роль у моделі
Когнітивна вага вузла	Нелінійний	Визначає силу причинно-наслідкових взаємодій між ядрами моделі; впливає на зміну траєкторій поведінки системи.
Ресурсний градієнт	Динамічний	Відображає ступінь напруги в ресурсних потоках; впливає на затримки та продуктивність.
Індекс зовнішніх збурень	Стохастичний	Характеризує інтенсивність та варіативність збурень, що надходять з ринку, середовища чи погодних умов.
Показник технологічної стабільності	Інтегральний	Оцінює узгодженість технологічних операцій; визначає стійкість виробничого циклу.

Продовження табл. 1

Параметр	Тип впливу	Опис / роль у моделі
Рівень інформаційної цілісності	Когнітивно-технологічний	Відображає якість і повноту цифрових даних; формує основу для коректності прогнозування.
Чутливість управлінського контуру	Керований	Показує інтенсивність реагування системи управління на зміни середовища.
Індекс синхронізації процесів	Узгоджувальний	Характеризує ступінь відповідності між різними потоками робіт; впливає на ризики дисбалансу.
Топологічна щільність когнітивної карти	Структурний	Відображає кількість взаємозв'язків між вузлами; визначає складність і гнучкість системи.
Коефіцієнт адаптивності	Регулювальний	Оцінює здатність системи змінювати параметри функціонування у відповідь на збурення.

Джерело: розроблено автором на основі [4]

Структура когнітивної моделі не може бути повною без відображення механізмів взаємодії між її рівнями, особливо коли вони працюють у контексті непередбачуваних змін середовища. Як показано на схемі на рис. 2, багаторівневий інтеграційний механізм забезпечує зв'язок між прогностичними модулями, ресурсними потоками та інформаційними каналами, створюючи єдиний адаптивний контур управління.

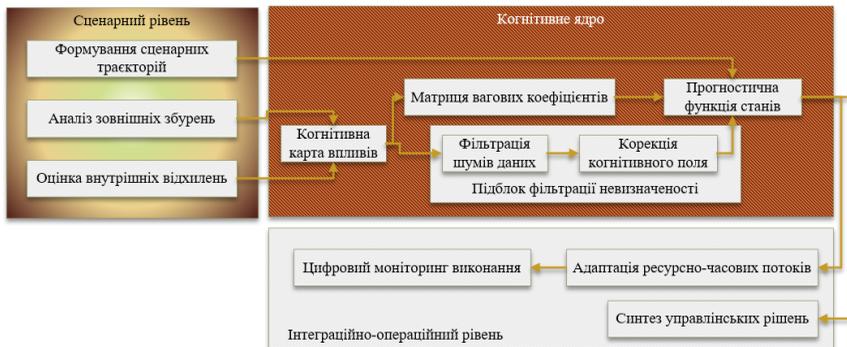


Рис. 2. Інтеграційно-адаптивний механізм когнітивного моделювання (розроблено автором на основі [5])

Таким чином, когнітивно-інтеграційне моделювання організаційно-технологічних систем будівництва формує інтелектуальну основу для прийняття рішень за умов змінного та невизначеного середовища. Багатошарові структури, складні оператори та інтегровані індикатори дозволяють створити адаптивну модель, здатну реагувати на коливання зовнішніх і внутрішніх факторів, передбачати потенційні точки розбалансування та забезпечувати узгодженість

технологічних процесів. Такий підхід перетворює управління будівельними системами на прогнозно-керований процес, у якому аналітичні механізми, когнітивні карти та цифрові дані функціонують як єдина адаптивна екосистема.

Подальше опрацювання методологічних засад формування когнітивних карт в організаційно-технологічних системах будівництва передбачає створення такого інструментарію, який дозволяє пов'язати причинно-наслідкові залежності між процесами, ресурсами, ризиками та інформаційними потоками у єдину структуровану модель [5]. Ця модель повинна забезпечувати трансформацію складних, часто неформалізованих взаємодій у параметричний простір, придатний для календарно-мережевого планування, синхронізації технологічних операцій та прив'язки до BIM-структур [6]. Саме тому когнітивні карти набувають ролі проміжного механізму між аналітикою та управлінським алгоритмом, дозволяючи перетворювати логіку зв'язків у конкретні числові індикатори, які змінюються разом зі станом системи.

У цьому контексті першорядне значення має математична побудова вагових залежностей між вузлами когнітивної карти. Вона повинна враховувати як локальні впливи (зміна продуктивності, ресурсні збої, зовнішні збурення), так і системні ефекти, що поширюються мережею у вигляді нелінійних хвиль зворотної дії. Формальне представлення таких залежностей може бути описане через інтегрально-динамічну функцію:

$$W(t) = \left(\int_{\Omega} (\nabla \psi \cdot \theta) e^{-\delta(t)} d\Omega \right)^{\lambda}, \quad (3)$$

де ψ задає локальну причинну змінність, θ відображає інтенсивність впливу, а $\delta(t)$ фіксує рівень невизначеності системи. Таке представлення дозволяє перевести когнітивну структуру у формалізовану матрицю, на основі якої будуються подальші операційні перетворення.

Перехід від когнітивної моделі до календарно-мережевої структури пов'язаний із необхідністю трансформувати взаємодії вузлів у логічні та часові залежності між операціями. На рис. 3 показано механізм перетворення когнітивних впливів у модифіковану мережеву структуру, де кожен причинний зв'язок набуває часової ваги, що коригує структуру критичного шляху та паралельність технологічних процесів.

Подальший рівень інтеграції виникає під час переходу до параметричного моделювання, коли змінність когнітивних зв'язків має безпосередній вплив на параметри продуктивності, ресурсоємності та стійкості операцій. Динамічна функція корекції параметрів може бути подана як:

$$P(t) = P_0 \left(1 + \int_0^t \frac{\gamma(\tau) \omega(\tau)}{1 + \mu(\tau)} d\tau \right), \quad (4)$$

де $\gamma(\tau)$ – когнітивний вплив, $\omega(\tau)$ – інтенсивність ризикової складової, $\mu(\tau)$ – рівень конфліктності між процесами. Саме така форма дозволяє інтегрувати когнітивну карту з операційними індикаторами, роблячи модель чуливою до змін середовища.



Рис. 3. Інтеграційна динаміка когнітивної карти та мережевої моделі (розроблено автором на основі [6])

Трансформація когнітивних залежностей у BIM-модель вимагає тривірневої процедури: визначення когнітивних факторів, прив'язки їх до параметрів об'єктів та оновлення структури цифрового двійника. Архітектура цього механізму показана на рис. 4, де продемонстровано, як когнітивні траєкторії формують зміну атрибутів елементів і повертаються назад у модель як коригуючий сигнал.

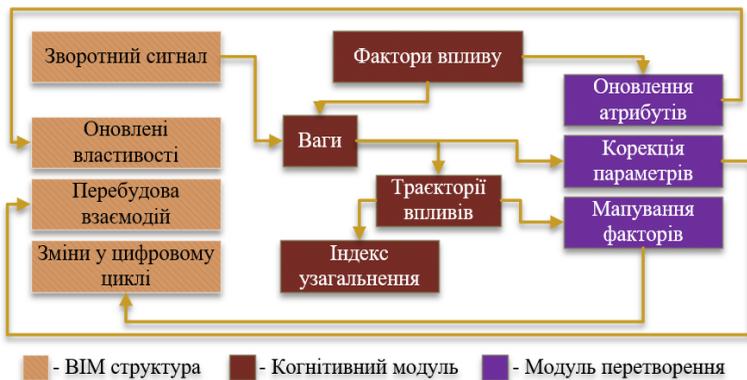


Рис. 4. Когнітивно-параметрична взаємодія в BIM-середовищі (розроблено автором на основі [6])

Для систематизації параметрів інтеграції та їх логічного зіставлення між собою наведено узагальнену таблицю 2, яка дає змогу впорядкувати ключові виміри взаємодії, простежити їх внутрішню узгодженість і виявити функціональні взаємозв'язки між елементами інтеграційної моделі, а також окреслити зони потенційної напруги та синергії між організаційними, процесними й управлінськими складовими.

Параметри інтеграції когнітивних карт з ОТС-моделями

Параметр	Тип	Опис
Когнітивна вага	Нелінійний	Визначає силу причинного впливу
Часовий коефіцієнт	Динамічний	Коригує тривалість робіт
Індекс ризикової взаємодії	Стохастичний	Моделює збурення та перешкоди
Ступінь параметричної залежності	Параметричний	Визначає чутливість моделі
Рівень ВІМ-синхронізації	Інформаційний	Відображає точність цифрового оновлення

Джерело: розроблено автором на основі [7]

Завершальним компонентом інтеграції є узагальнена кореляційна функція:

$$C(t) = \left(\int_{\Omega} \frac{m(t) \phi(t)}{1+\sigma(t)} d\Omega \right)^{\eta}, \quad (5)$$

що дозволяє визначити рівень відповідності між когнітивною картою, часовими залежностями та параметрами цифрової моделі.

Подальше поглиблення когнітивно-інтеграційного моделювання організаційно-технологічних систем будівництва в умовах динамічної невизначеності зосереджується на формуванні математичного апарату, здатного адекватно відобразити стохастичну, нечітку та сценарно мінливу природу будівельних процесів [7].

На відміну від класичних детермінованих моделей, такий апарат має враховувати не лише випадковість окремих параметрів, але й кореляційні зв'язки між ними, часову нестабільність впливів та когнітивні ефекти управлінських рішень, які змінюють траєкторію системи не лінійно, а через накопичення та перерозподіл впливів [8]. У цьому сенсі математичне ядро когнітивно-інтеграційної моделі виконує роль універсального інтерпретатора між емпіричними даними, експертними уявленнями та формалізованими алгоритмами управління.

Стохастичний компонент моделі базується на представленні ключових змінних у вигляді випадкових процесів, параметри яких змінюються в часі під впливом зовнішніх і внутрішніх збурень. Продуктивність робіт, тривалість операцій, доступність ресурсів та інтенсивність ризиків не можуть бути задані фіксованими значеннями, оскільки вони перебувають у постійному русі під дією ринкових, технологічних і організаційних факторів [9]. Водночас когнітивна складова додає до цього апарату ще один вимір – зміну самих правил реагування системи на збурення. Формалізація такого поєднання можлива через інтегрально-стохастичну функцію узагальненого стану:

$$S(t) = \int_0^t (\alpha(\tau) X(\tau) + \beta(\tau) R(\tau)) e^{-\chi(\tau)} d\tau, \quad (6)$$

де $X(\tau)$ описує стохастичний стан організаційно-технологічних процесів, $R(\tau)$ відображає ризикову складову, $\alpha(\tau)$ і $\beta(\tau)$ є вагами когнітивної значущості, а $\chi(\tau)$ фіксує рівень загальної невизначеності. Така формула дозволяє оцінювати не миттєвий стан системи, а накопичений ефект змін, що особливо важливо для будівельних проєктів з тривалим циклом реалізації.

Нечітка компонента математичного апарату спрямована на опис параметрів, для яких відсутні чіткі межі або достовірні статистичні вибірки [10]. До таких параметрів належать рівень управлінської координації, якість інформаційних

потоків, ступінь узгодженості дій між підрядниками, а також поведінкові реакції персоналу. Їх формалізація здійснюється через функції належності, які інтегруються у загальну модель не як ізольовані змінні, а як модифікатори стохастичних процесів. У цьому контексті когнітивно-нечіткий регулятор адаптації може бути представлений у вигляді:

$$A(t) = \frac{1}{1 + \exp(-k \mu(t))} \int_0^t Y(\tau) d\tau, \quad (7)$$

де $\mu(t)$ є нечітким індексом управлінської узгодженості, k визначає чутливість системи до змін когнітивного стану, а $Y(\tau)$ описує інтегральний ефект операційної динаміки. Така конструкція дозволяє плавно коригувати реакцію системи без різких стрибків, що критично важливо в умовах високої турбулентності.

Окреме місце в математичному апараті займає формалізація збурень і сценаріїв розвитку подій [11]. На відміну від класичних сценарних підходів, когнітивно-інтеграційна модель розглядає сценарій не як фіксовану гілку розвитку, а як поле можливих траєкторій, між якими система може переходити залежно від внутрішнього стану та управлінських рішень. Це вимагає використання функцій, що описують ймовірнісне відхилення системи від базової траєкторії з урахуванням когнітивних впливів. Узагальнений показник сценарної стійкості може бути описаний так:

$$Z = \left(\int_{\Omega} \frac{D(t)\Phi(t)}{1+\sigma(t)} d\Omega \right)^{\rho}, \quad (8)$$

де $D(t)$ є інтенсивністю збурень, $\Phi(t)$ – когнітивним коефіцієнтом корекції, $\sigma(t)$ – рівнем дисперсії сценарних відхилень, а ρ відображає запас стійкості системи. Значення цього показника дозволяє порівнювати альтернативні конфігурації управління за критерієм здатності зберігати функціональність у різних сценаріях.

Структуру стохастично-когнітивних взаємодій у межах математичного апарату показано на графіку на рис. 5, де відображено зміну ключових параметрів системи під впливом різних рівнів невизначеності та інтенсивності когнітивних впливів.

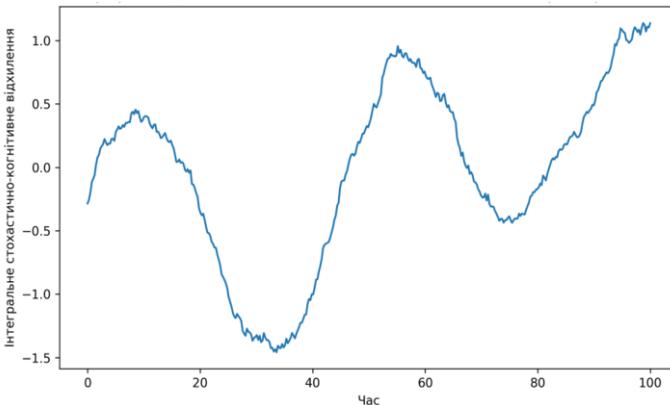


Рис. 5. Динаміка стохастично-когнітивних відхилень параметрів ОТС у часовому вимірі (розроблено автором на основі [11])

Подальший розвиток моделі вимагає систематизації математичних параметрів, що використовуються для оцінювання стійкості та адаптивності організаційно-технологічних систем. Така систематизація подана в таблиці 3, яка виконує роль базового довідника для побудови, калібрування та подальшої валідації моделей, забезпечуючи узгодженість між аналітичними змінними, критеріями оптимізації та функціональною логікою систем управління [12].

Таблиця 3

Математичні параметри когнітивно-інтеграційного моделювання ОТС

Параметр	Математична природа	Інтерпретація
$X(t)$	Стохастичний процес	Поточний стан організаційно-технологічних процесів
$R(t)$	Випадкова змінна	Рівень ризику та зовнішніх збурень
$\mu(t)$	Нечітка змінна	Ступінь управлінської узгодженості
$\alpha(t)$	Ваговий коефіцієнт	Когнітивна значущість процесів
$\beta(t)$	Ваговий коефіцієнт	Когнітивна значущість ризиків
$\sigma(t)$	Дисперсійний показник	Інтенсивність сценарних відхилень
ρ	Параметр стійкості	Запас адаптивності системи
k	Коефіцієнт чутливості	Реакція на зміну когнітивного стану

Джерело: розроблено автором на основі [12]

Завершальним елементом математичного апарату є побудова механо-когнітивних функцій, які поєднують фізичні параметри виконання робіт з когнітивними характеристиками управління. Такі функції дозволяють оцінювати не лише технічну надійність процесів, але й здатність системи змінювати власну поведінку у відповідь на накопичені збурення. Саме в цьому полягає ключова відмінність когнітивно-інтеграційного підходу від традиційних методів аналізу стійкості [13].

Взаємодію механо-когнітивних функцій у просторі технологічних і управлінських параметрів показано на графіку на рис. 6, де відображено нелінійний характер залежності між фізичними параметрами виконання робіт і когнітивними характеристиками управління.

Таким чином, математичний апарат когнітивно-інтеграційного моделювання формує фундамент для кількісного аналізу поведінки організаційно-технологічних систем будівництва в умовах динамічної невизначеності. Поєднання стохастичних, нечітких і сценарних підходів дозволяє перейти від спрощених оцінок до глибокого аналізу адаптивних властивостей системи, створюючи передумови для побудови інтелектуальних механізмів управління, здатних забезпечувати стійкість і ефективність будівельних проєктів у довгостроковій перспективі.

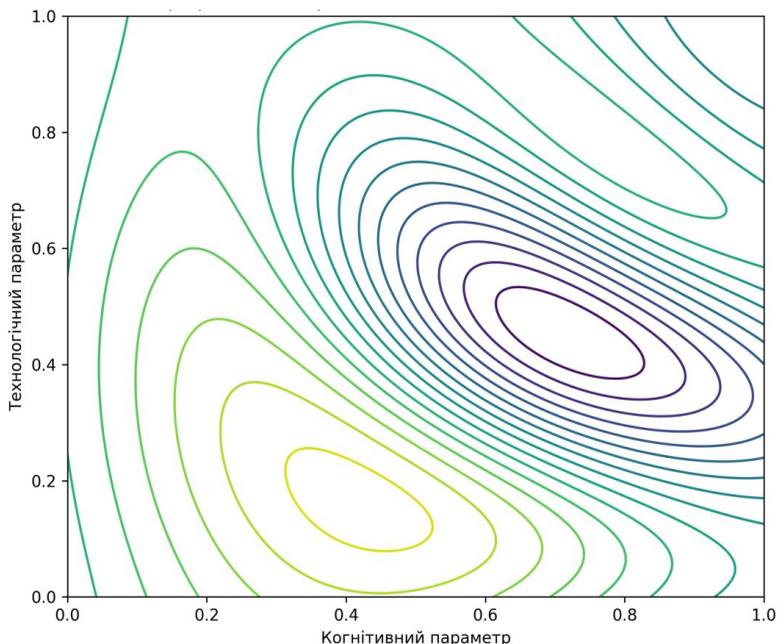


Рис. 6. Поверхня стійкості та адаптивності ОТС у просторі когнітивних і технологічних параметрів (розроблено автором на основі [13])

Висновок. Когнітивно-інтеграційне моделювання формує сучасний підхід до аналізу та управління організаційно-технологічними системами будівництва в умовах невизначеності. Поєднання когнітивних структур із математичними інструментами забезпечує комплексне відображення причинно-наслідкових зв'язків і нелінійної динаміки процесів.

Інтеграція стохастичних функцій, нечітких регуляторів та сценарних механізмів дозволяє підвищити точність прогнозування та адаптивність управління. Застосування такого підходу сприяє формуванню стійкої архітектури прийняття рішень, здатної забезпечувати узгодженість стратегічних і операційних рівнів.

Отже, когнітивно-інтеграційна модель створює основу для розвитку інтелектуальних систем управління будівельними проєктами, орієнтованих на забезпечення стійкості, адаптивності та ефективності функціонування в умовах динамічної мінливості середовища.

Список літератури:

1. Axelrod R. *Structure of Decision: The Cognitive Maps of Political Elites*. Princeton University Press, 1976. <https://doi.org/10.2307/1955121>
2. Zadeh L.A. Fuzzy sets. *Information and control*, 1965, vol. 8, pp. 338–353. DOI:10.2307/2272014.

3. Simon H.A. *The Sciences of the Artificial*. MIT Press, 1996. DOI:10.7551/mitpress/12107.001.0001
4. Ackoff R.L. *Creating the Corporate Future: Plan or Be Planned For*. Wiley, 1991.
5. Vidal R.C. MAKING STRATEGY, *The Journey of Strategic Management*, SAGE Publications, London, UK (1998) ISBN 0-7619-5225-X p. xii+507, [pound sign]26.9.F. Ackermann, C. Eden and I. Brown, *The Practice of MAKING STRATEGY, A Step-by Step Guide*, SAGE Publications, London, UK (2005) ISBN 0-7619-4494-X p. vi+265, [pound sign]21.99. *European Journal of Operational Research*. 2007. 176. 1294-1297. DOI: 10.1016/j.ejor.2006.02.002.
6. Чуприна Ю.А. Залучення прикладних переваг бім-технологій до методики і практики формування життєвого циклу проєктів у складі державних цільових програм, які втілюються будівельним кластером. *Економіка та держава*. 2019. №3. С. 67–70. DOI: 10.32702/2306-6806.2019.3.67
7. Zadeh L.A. Fuzzy Logic and Approximate Reasoning. *Synthese*, 1975, 30, 407-428. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00485052>
8. Sterman J.D. *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. McGraw-Hill, 2000.
9. Ross S.M. *Stochastic Processes*. Wiley, 1996.
10. Kosko B. *Fuzzy Thinking: The New Science of Fuzzy Logic*. New York: Hyperion, 1993.
11. Klir G.J., Yuan B. *Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications*. Prentice Hall, 1995. 591 p.
12. Linstone H. Shaping the Next One Hundred Years: New Methods for Quantitative, Long-Term Policy Analysis: R.J. Lempert, S.W. Popper, and S.C. Bankes, Santa Monica, CA, The RAND Corporation, 2003. *Technological Forecasting and Social Change*. 2004. 71. 305–307. DOI: 10.1016/j.techfore.2003.09.006.
13. Чуприна Х.М., Чуприна Ю.А., Бородавко М.В., Грабчак Д.В. Структурно-когнітивне моделювання на основі інтелектуалізації процесів адміністрування будівельними підприємствами. *Формування ринкових відносин в Україні*. 2020. № 5. С. 89-98. DOI: 10.5281/ZENODO.3937320

Iurii CHUPRYNA

Scientific and conceptual foundations of cognitive-integrative modeling of organizational and technological construction systems under conditions of dynamic uncertainty

The functioning of organizational and technological construction systems under conditions of dynamic uncertainty necessitates a transition to integrated models capable of reflecting the complex multi-level structure of interactions and the nonlinear nature of influencing factors. The intensification of stochastic fluctuations in resource flows, variability of technological parameters, and the growth of risk-related pressures determine the need to establish an adaptive analytical space within which cause-and-effect relationships can be formalized and interpreted in a predictive mode.

The cognitive-integrative approach is based on the combination of causal maps with matrix interaction models, stochastic functions, and fuzzy control algorithms. Such a configuration ensures the representation of interdependencies among managerial decisions, technological operations, and external factors within a unified dynamic structure. Cognitive maps serve as the topological foundation of the system, enabling the

identification of key influence nodes, determination of interaction intensity, and formation of scenario-based development trajectories.

The integration of stochastic processes allows for consideration of the probabilistic nature of fluctuations in project timelines, resource volumes, and financial indicators. Fuzzy logic expands modeling capabilities through the inclusion of expert assessments and qualitative characteristics that are transformed into formalized managerial signals. The combination of these components forms a multi-layered architecture in which quantitative and qualitative parameters function as interconnected elements within a single informational field.

Particular importance is attached to the synchronization of cognitive models with digital design and management environments, ensuring real-time parameter updates and decision support. Such integration facilitates a shift from reactive responses to deviations toward predictive-oriented management based on the assessment of scenario resilience and the system's adaptive capacity.

The coordinated functioning of strategic, operational, and informational levels within the cognitive-integrative model creates conditions for preserving the integrity of the organizational and technological structure, minimizing risks, and enhancing the controllability of construction processes in an environment of structural variability.

Keywords: *cognitive modeling, integrative architecture, organizational and technological systems, dynamic uncertainty, stochastic processes, fuzzy logic, scenario resilience, digital integration.*

Дата надходження статті: 05.01.2026

Дата прийняття статті: 02.02.2026