

DOI: 10.32347/2076-815x.2026.91.518-530

УДК: 69.003:658.012.2:004.9:330.46

д.е.н., професор **Чуприна Ю.А.**,

chupryna.iaa@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0002-4934-2058,

Київський національний університет будівництва і архітектури

МЕТОДОЛОГІЯ КОГНІТИВНО-ІНТЕГРАЦІЙНОГО УПРАВЛІННЯ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНОЮ СКЛАДНІСТЮ БУДІВЕЛЬНИХ СИСТЕМ

Сучасні будівельні системи характеризуються високим рівнем організаційно-технологічної складності, що зумовлюється багаторівневою структурою проєктів, інтенсивними взаємозв'язками між учасниками будівельного процесу, просторово-часовою розосередженістю робіт і зростаючою невизначеністю зовнішнього середовища. У таких умовах традиційні детерміновані підходи до управління, орієнтовані на лінійне планування та жорсткий контроль, втрачають адекватність і не забезпечують стійкої керованості системи. Це актуалізує необхідність розроблення методології управління, здатної враховувати нелінійну динаміку, когнітивні обмеження суб'єктів управління та змінність самої структури організаційно-технологічних зв'язків.

У роботі розвинуто методологію когнітивно-інтеграційного управління організаційно-технологічною складністю будівельних систем, у межах якої будівельна система інтерпретується як багатовимірне динамічне середовище, що еволюціонує під впливом управлінських рішень, внутрішніх структурних факторів і зовнішніх збурень. Запропонований підхід ґрунтується на поєднанні ідей системної динаміки, теорії складних систем і когнітивного моделювання, що дозволяє перейти від описового аналізу складності до її формалізованого кількісного оцінювання.

Ключові слова: когнітивно-інтеграційне управління; організаційно-технологічна складність; будівельні системи; системна динаміка; когнітивне моделювання; вектор стану; інтегральний показник; адаптивне управління.

Постановка проблеми: Будівельні системи сучасного типу функціонують в умовах постійного зростання організаційно-технологічної складності, що обумовлено унікальністю проєктів, багатоваріантністю технологічних рішень, високою щільністю коопераційних зв'язків і нестабільністю зовнішнього середовища. У таких умовах управлінські рішення приймаються за неповної та асиметричної інформації, що підвищує ризик помилок і втрати керованості системи. Традиційні підходи до управління

будівництвом, засновані на детермінованих моделях і фіксованих структурах, не дозволяють адекватно відобразити динаміку взаємодій та когнітивні аспекти прийняття рішень.

Відсутність методології, здатної формалізувати складність як змінну у часі величину та враховувати змінність організаційно-технологічних зв'язків, призводить до фрагментарного управління і реактивного характеру управлінських впливів. Це зумовлює необхідність розроблення когнітивно-інтеграційного підходу, який поєднує системний аналіз, математичне моделювання та когнітивну інтерпретацію управлінських рішень для забезпечення стійкої керованості будівельних систем.

Метою статті є обґрунтування та розвиток методології когнітивно-інтеграційного управління організаційно-технологічною складністю будівельних систем. Досягнення мети передбачає формалізацію будівельної системи як багатовимірного динамічного об'єкта, розроблення інтегрального показника складності з урахуванням когнітивних ваг та побудову моделей, що відображають змінність організаційно-технологічних зв'язків у часі. Особлива увага приділяється створенню аналітичного підґрунтя для адаптивного управління, спрямованого на мінімізацію складності та підвищення стійкості функціонування будівельних систем в умовах невизначеності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій: Наукові дослідження проблеми управління складними системами сформувалися в межах системної динаміки та теорії складних систем, де показано, що управлінські структури можуть бути джерелом динамічної нестійкості за наявності зворотних зв'язків і часових лагів. Подальший розвиток цих ідей довів, що у складних проєктних системах інтуїтивні управлінські рішення часто призводять до небажаних наслідків через нелінійний характер взаємодій.

У сфері управління будівництвом значний внесок зроблено в дослідженнях, присвячених інтеграції процесів, потоків і цінності, а також подоланню фрагментованості інформаційних і організаційних структур. Разом із тим більшість наявних підходів зосереджені на окремих аспектах складності та не забезпечують її комплексної кількісної інтерпретації. Окремий напрям досліджень пов'язаний із когнітивним моделюванням і використанням когнітивних карт для аналізу взаємозв'язків між параметрами системи. Такі підходи дозволяють відобразити суб'єктивні уявлення управлінців і когнітивні обмеження, проте часто не інтегруються з динамічними моделями управління. Це зумовлює необхідність поєднання когнітивних і системно-динамічних підходів у межах єдиної методології, що й визначає наукову новизну представленого дослідження.

Виклад основної інформації: Будівельні системи сучасного типу функціонують в умовах зростаючої організаційно-технологічної складності, що формується під впливом багаторівневої структури проєктів, високої щільності взаємозв'язків між учасниками будівельного процесу, а також нестабільності зовнішнього середовища. На відміну від класичних виробничих систем, будівництво характеризується унікальністю кожного об'єкта, просторово-часовою розосередженістю процесів і значною залежністю результатів від управлінських рішень, прийнятих в умовах неповної та асиметричної інформації.

Теоретичні засади дослідження складних систем були закладені в межах системної динаміки, де, зокрема, Джей В. Форрестер довів, що управлінські структури самі по собі є джерелом динамічної нестійкості, якщо між рішеннями та їхніми наслідками існують часові лаги та зворотні зв'язки [1]. Подальший розвиток цих ідей у працях Джон Д. Стерман показав, що у складних проєктних системах інтуїтивні управлінські рішення часто призводять до протилежних результатів через нелінійний характер взаємодій [2]. Для будівельної галузі це означає, що традиційні інструменти планування й контролю не забезпечують належного рівня керованості в умовах високої складності.

В межах теорії управління будівництвом принципово важливий внесок зробив Лаурі Коскела, який обґрунтував необхідність переходу від суто процесного підходу до інтегрованої концепції, що поєднує потоки, цінність і управління знаннями [11]. У цьому ж напрямі працює Пітер Е. Д. Лав, який розглядає складність будівельних систем як результат когнітивних обмежень управлінців та фрагментованості інформаційних потоків. Сукупність цих наукових положень формує підґрунтя для когнітивно-інтеграційного підходу до управління організаційно-технологічною складністю [3].

Когнітивно-інтеграційне управління ґрунтується на уявленні про будівельну систему як про динамічне когнітивне середовище, у межах якого управлінські рішення змінюють не лише параметри процесів, але й структуру взаємозв'язків між елементами системи. У такому середовищі складність є змінною у часі величиною, що залежить від конфігурації організаційних структур, технологічних рішень, логістичних схем і стилю управління. Саме тому виникає потреба у формалізації складності з урахуванням її часової еволюції та когнітивної значущості окремих компонентів.

Інтегральний показник організаційно-технологічної складності доцільно визначати як часову функцію, що акумулює вплив ключових складових системи:

$$C_{OTS} = \int_0^T (\alpha_1 \times S(t) + \alpha_2 \times R(t) + \alpha_3 \times L(t) + \alpha_4 \times U(t)) dt, \quad (1)$$

де $S(t)$ характеризує структурну складність будівельної системи, $R(t)$ відображає рівень ресурсної ентропії, $L(t)$ описує логістичну невизначеність, а $U(t)$ визначає варіативність управлінських рішень. Коефіцієнти α_i інтерпретуються як когнітивні ваги, що відображають суб'єктивну значущість відповідних компонентів у конкретному управлінському контексті.

Для забезпечення порівнюваності результатів доцільним є використання нормалізованого індексу складності, який дозволяє зіставляти різні будівельні системи незалежно від їхнього масштабу та тривалості реалізації:

$$C_{norm} = \frac{C_{OTS} - C_{min}}{C_{max} - C_{min}}, \quad (2)$$

Застосування такого індексу створює передумови для переходу від якісних описів складності до кількісного аналізу та подальшої оптимізації управлінських рішень.

На рисунку 1 представлено когнітивно-інтеграційну структуру формування організаційно-технологічної складності будівельної системи, яка відображає взаємодію основних компонентів складності, механізмів когнітивного аналізу та результатів управлінського впливу [4].



Рис. 1. Когнітивно-інтеграційна структура формування організаційно-технологічної складності будівельної системи (розроблено автором на основі [4])

У межах запропонованої методології управлінські рішення інтерпретуються як когнітивні оператори, що змінюють траєкторію розвитку системи у просторі станів. Кожне таке рішення має багатовимірний ефект, поєднуючи безпосередній технологічний результат із непрямими організаційними та відкладеними у часі наслідками.

Когнітивна-інтеграційна методологія управління організаційно-технологічною складністю будівельна система розглядається як багатовимірний динамічний об'єкт, стан якого змінюється під впливом як внутрішніх структурних факторів, так і зовнішніх управлінських дій. На відміну від традиційних детермінованих моделей, у яких параметри системи вважаються фіксованими або слабозмінними, когнітивно-інтеграційний підхід допускає змінність самих зв'язків між елементами системи, що принципово ускладнює математичний опис, але водночас підвищує його адекватність реальним умовам будівельного виробництва.

Формалізація такої системи здійснюється шляхом подання її у вигляді вектора стану, компоненти якого відображають ключові організаційні, технологічні та управлінські параметри [5]. Кожен компонент вектора стану є узагальненим показником, що акумулює інформацію про відповідну підсистему, з урахуванням її поточного рівня складності та взаємодії з іншими елементами.

$$X(t) = \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ \vdots \\ x_n(t) \end{bmatrix}, \quad x_i(t) \in R, \quad (3)$$

Динаміка вектора стану описується системою диференціальних рівнянь, у якій поєднуються лінійні взаємозв'язки, керуючі впливи та нелінійні когнітивні ефекти, що відображають адаптацію системи до змін умов реалізації проєкту.

$$\frac{dX}{dt} = AX(t) + BU(t) + \Phi(X, t), \quad (4)$$

У цьому рівнянні матриця A інтерпретується як матриця організаційно-технологічних зв'язків, елементи якої відображають інтенсивність впливу одних параметрів системи на інші. Вектор $U(t)$ характеризує керуючі дії, що реалізуються суб'єктом управління, тоді як нелінійна функція $\Phi(X, t)$ відображає когнітивні ефекти, зумовлені затримками у прийнятті рішень, накопиченням управлінського досвіду та зміною поведінки системи у відповідь на попередні впливи.

Особливе місце у когнітивно-інтеграційному моделюванні займає поняття когнітивної матриці, яка дозволяє формалізувати взаємний вплив параметрів складності у вигляді частинних похідних. Такий підхід забезпечує можливість

аналізу чутливості системи до змін окремих компонентів та виявлення критичних зв'язків, що визначають загальну динаміку.

$$K = [k_{ij}], \quad k_{ij} = \frac{\partial x_i}{\partial x_j}, \quad (5)$$

Когнітивна матриця не є сталою у часі, а еволюціонує разом із системою, що дозволяє враховувати структурні трансформації організаційно-технологічної конфігурації будівельного проєкту. Саме ця властивість відрізняє когнітивно-інтеграційні моделі від класичних матричних моделей управління [6].

Для аналізу динамічної поведінки будівельної системи в умовах зростаючої організаційно-технологічної складності використано апарат фазового простору, що дозволяє відобразити еволюцію станів системи у часі. На рисунку 2 представлено фазовий простір, у межах якого траєкторії руху системи характеризують перехід між стійкими та нестійкими режимами функціонування залежно від інтенсивності управлінських впливів і характеру внутрішніх когнітивних взаємозв'язків [7].

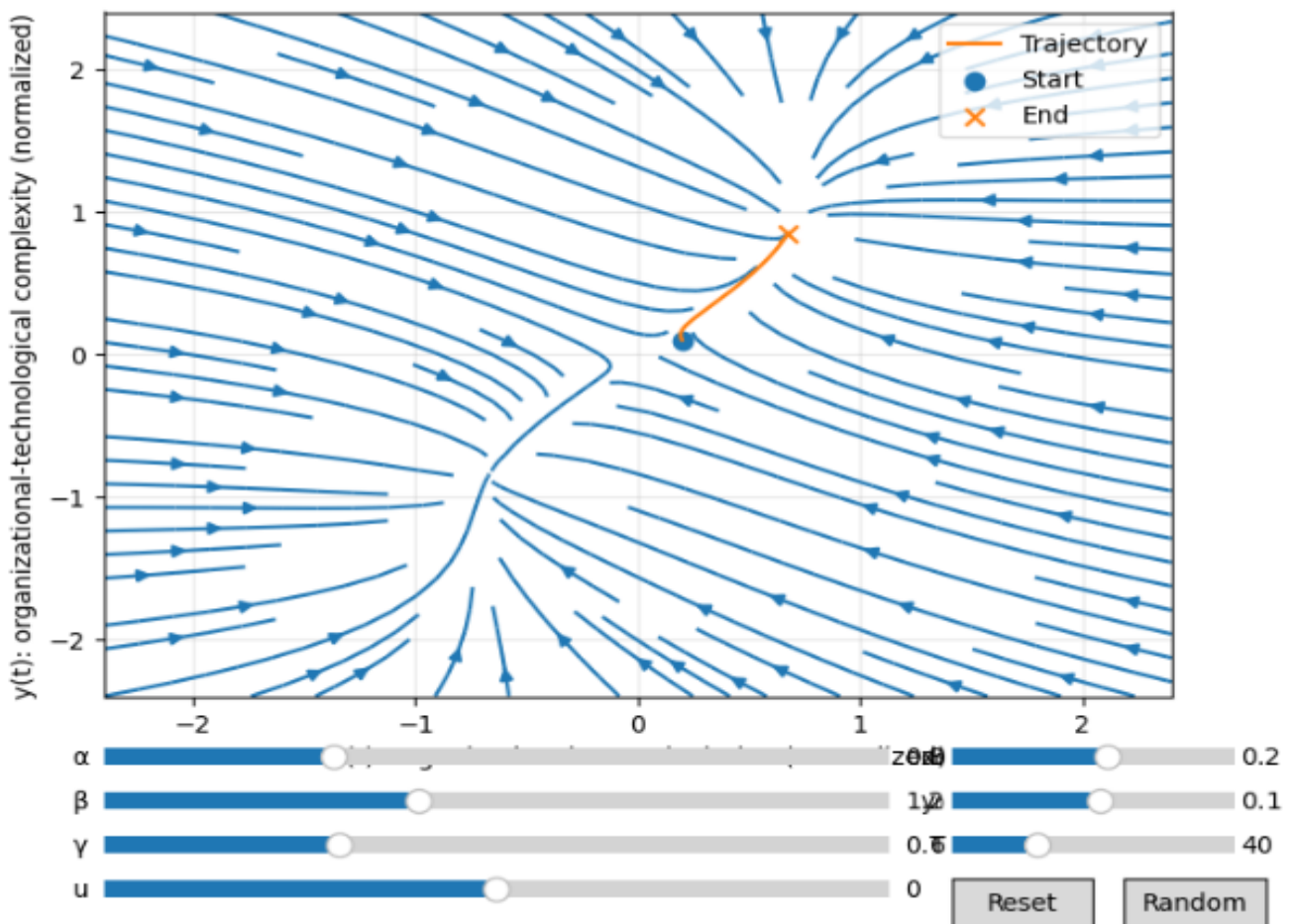


Рис. 2. Фазовий простір еволюції станів будівельної системи в умовах зростаючої організаційно-технологічної складності (розроблено автором на основі [7])

Для формалізованого опису взаємного впливу організаційних, технологічних та управлінських параметрів у межах когнітивно-інтеграційної моделі застосовано матричне подання системи. На рисунку 3 наведено когнітивну матрицю взаємозв'язків, елементи якої відображають напрямок і інтенсивність впливу між окремими параметрами, що дозволяє ідентифікувати критичні зв'язки, відповідальні за зростання або зниження загального рівня організаційно-технологічної складності.

Аналіз фазового простору дозволяє ідентифікувати області стійких та нестійких режимів функціонування будівельної системи [8]. У стійких областях малі збурення параметрів не призводять до суттєвих відхилень від запланованої траєкторії реалізації проекту, тоді як у нестійких режимах навіть незначні управлінські помилки можуть спричинити різке зростання організаційно-технологічної складності та втрату керованості.

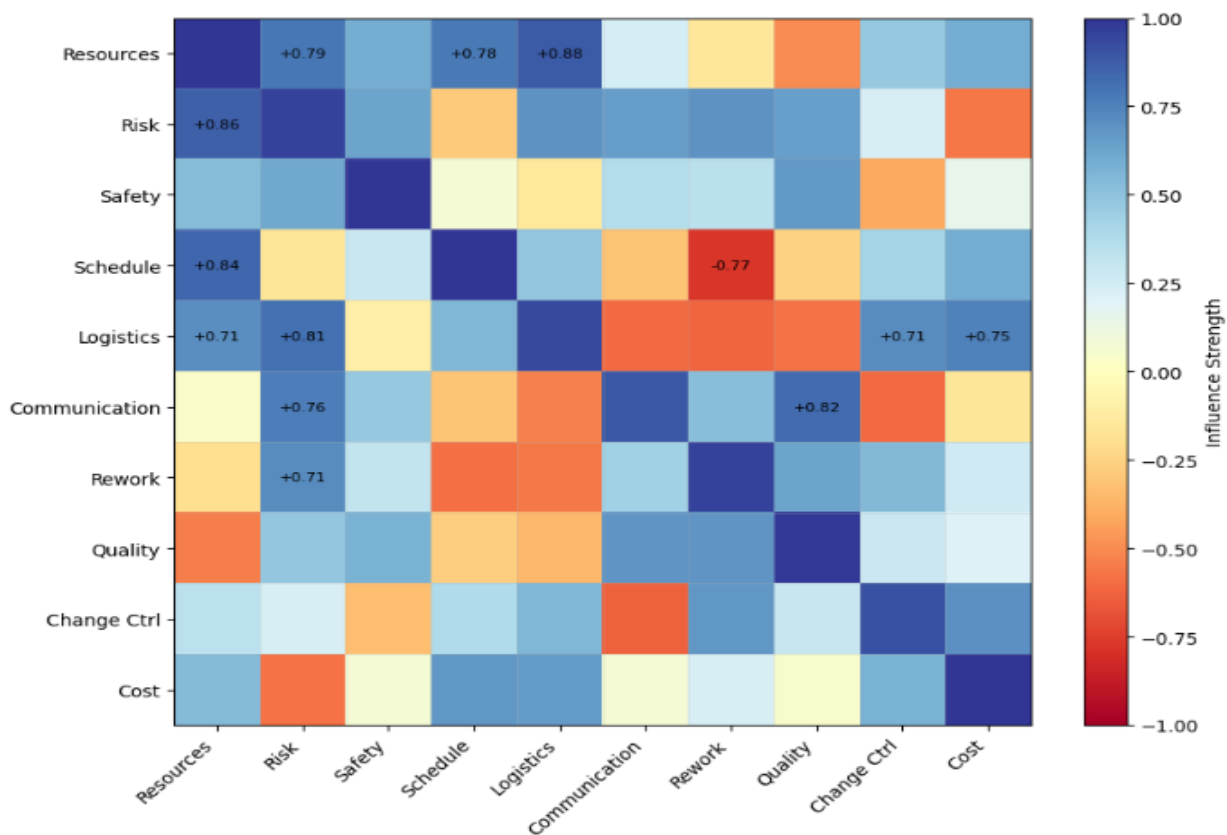


Рис. 3. Матрична інтерпретація когнітивних взаємозв'язків між параметрами управління та технологічними процесами (розроблено автором на основі [8])

Управлінські впливи в межах цієї моделі розглядаються не як окремі команди, а як безперервні функції часу, спрямовані на мінімізацію відхилень системи від бажаного стану. Це дозволяє сформулювати задачу управління у вигляді оптимізаційної проблеми в просторі станів, де цільовою функцією виступає зниження інтегрального рівня організаційно-технологічної складності при обмежених ресурсах і часових рамках.

Для поглибленої інтерпретації когнітивно-інтеграційної моделі доцільно здійснити структурування основних змінних стану будівельної системи та їхнього функціонального навантаження в управлінському контексті. Така структурування дозволяє не лише формалізувати складність, але й забезпечує зв'язок між абстрактною математичною моделлю та реальними організаційно-технологічними процесами, що відбуваються у межах будівельного проєкту. [9].

Для узагальнення та уточнення змістовного наповнення когнітивно-інтеграційної моделі доцільно систематизувати ключові змінні стану будівельної системи та їхню інтерпретацію в організаційно-технологічному й управлінському вимірах, що подано в таблиці 1.

Таблиця 1.

Когнітивно-інтеграційна інтерпретація змінних стану будівельної системи
(розроблено автором на основі [9])

Позначення змінної	Змістовна інтерпретація	Організаційно-технологічний аспект	Управлінське значення
$X_1(t)$	Структурна конфігурація системи	Кількість та ієрархія підсистем	Визначає складність координації
$X_2(t)$	Ресурсна узгодженість	Баланс матеріальних і трудових ресурсів	Впливає на ритмічність виконання робіт
$X_3(t)$	Технологічна взаємозалежність	Ступінь зв'язаності технологічних операцій	Формує ризик каскадних затримок
$X_4(t)$	Логістична стабільність	Надійність постачання та транспортування	Зменшує ймовірність простоїв
$X_5(t)$	Когнітивна керованість	Якість інформаційних потоків і рішень	Визначає адаптивність управління

Практична реалізація когнітивно-інтеграційного управління організаційно-технологічною складністю будівельних систем передбачає перехід від аналітичного моделювання до формування інструментів підтримки управлінських рішень.

Когнітивно-інтеграційне управління реалізується як адаптивний контур, у межах якого управлінські дії коригуються на основі безперервного аналізу стану системи та прогнозування наслідків прийнятих рішень [10]. Для кількісної оцінки результативності такого управління доцільно використовувати інтегральний критерій ефективності, що поєднує показники стабільності функціонування, адаптивності до змін і рівня залишкових ризиків.

$$E_{CI} = \frac{1}{T} \int_0^T (\beta_1 \times S_{st}(t) + \beta_2 \times A_{ad}(t) - \beta_3 \times R_{res}(t)) dt, \quad (6)$$

де $S_{st}(t)$ характеризує динамічну стабільність будівельної системи, $A_{ad}(t)$ відображає її здатність до адаптації в умовах змін організаційно-технологічного середовища, а $R_{res}(t)$ описує рівень залишкових організаційних і технологічних ризиків. Коефіцієнти β_i визначаються експертно та відображають пріоритети управління у конкретному проєкті.

Управлінський вплив у межах когнітивно-інтеграційного підходу розглядається як оптимізаційна задача, спрямована на мінімізацію інтегральної складності при обмежених ресурсах та часових рамках реалізації проєкту. З урахуванням цього задача управління формалізується у вигляді функціоналу якості в просторі станів.

$$\min_{U(t)} J = \int_0^T [X^T(t)QX(t) + U^T(t)RU(t)] dt, \quad (7)$$

де матриця Q відображає відносну значущість параметрів складності, а матриця R задає «вартість» управлінських дій. Така постановка дозволяє знаходити компроміс між зниженням складності системи та інтенсивністю управлінських втручань.

Для врахування когнітивної інерційності управлінських рішень і затримок у реакції системи доцільно вводити функцію адаптивного коригування управління, що моделює процес навчання та накопичення управлінського досвіду.

$$U_{ad}(t) = U(t) + \gamma \int_0^t (X_{ref}(\tau) - X(\tau)) d\tau, \quad (8)$$

де X_{ref} є бажаним еталонним станом системи, а коефіцієнт γ визначає швидкість когнітивної адаптації управління.

Для наочного відображення логіки та послідовності реалізації запропонованого підходу на рисунку 4 подано концептуальну схему когнітивно-інтеграційного управління організаційно-технологічною складністю будівельної системи [11].

Для практичного застосування методології доцільно здійснювати класифікацію будівельних систем за рівнем управлінської зрілості, що дозволяє обґрунтувати вибір інструментів когнітивно-інтеграційного управління залежно від складності проєкту та організаційного контексту. Загальнення основних параметрів та їх управлінської інтерпретації подано в таблиці 2, яка відображає когнітивно-інтеграційний зв'язок між змінними стану будівельної системи та організаційно-технологічними аспектами управління [11].



Рис. 4. Концептуальна схема реалізації когнітивно-інтеграційного управління організаційно-технологічною складністю будівельної системи (розроблено автором на основі [11])

Таблиця 2.

Рівні управлінської зрілості когнітивно-інтеграційного управління (розроблено автором на основі [11])

Рівень	Характеристика системи	Домінуючий тип управління	Очікуваний ефект
I	Фрагментована структура, низька узгодженість	Реактивне	Локальна стабілізація
II	Часткова інтеграція процесів	Процесно-адаптивне	Зниження пікової складності
III	Висока когнітивна інтеграція	Прогностично-адаптивне	Стійкий розвиток системи

Висновок

Запропонована когнітивно-інтеграційна методологія поєднала системне мислення, математичне моделювання та когнітивну інтерпретацію управлінських рішень. Формалізація організаційно-технологічної складності через інтегральні показники та нормалізовані індекси створила підґрунтя для кількісного аналізу складних будівельних систем незалежно від їх масштабу, типології чи тривалості реалізації. Важливою особливістю підходу є

врахування часової еволюції складності та суб'єктивної значущості окремих компонентів управління.

Розроблена когнітивно-інтеграційна модель у просторі станів дозволила описати будівельну систему як багатовимірний динамічний об'єкт, у якому змінюються не лише параметри, але й структура взаємозв'язків між ними. Використання матричних представлень і нелінійних динамічних рівнянь забезпечило можливість аналізу стійкості, чутливості та критичних режимів функціонування системи. Особливе значення має введення когнітивних компонентів, що відображають інерційність управлінських рішень, затримки реакцій та ефекти накопичення управлінського досвіду.

Практична реалізація методології була розкрита через формування адаптивного контуру управління, інтегральних критеріїв ефективності та оптимізаційних задач у просторі станів. Класифікація рівнів управлінської зрілості забезпечує методичну основу для впровадження когнітивно-інтеграційних інструментів залежно від складності проекту та організаційного контексту.

Література

1. Forrester J.W. *Industrial Dynamics*. — Cambridge, MA: MIT Press, 1961. — 464 p.
2. Sterman J.D. *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. — Boston: Irwin/McGraw-Hill, 2000. — 982 p.
3. Love P.E.D., Edwards D. J., Irani Z., Walker D. H. T. *Complex systems theory: A new perspective for construction management research // Construction Management and Economics*. — 2008. — Vol. 26, No. 11. — Pp. 1217–1233. — doi:10.1080/01446190802459934.
4. Axelrod R. *Structure of Decision: The Cognitive Maps of Political Elites*. — Princeton: Princeton University Press, 1976. — 404 p.
5. Bertalanffy L. von. *General System Theory: Foundations, Development, Applications*. — New York: George Braziller, 1968. — 295 p.
6. Kosko B. *Fuzzy Cognitive Maps // International Journal of Man-Machine Studies*. — 1986. — Vol. 24, No. 1. — Pp. 65–75.
7. Strogatz S.H. *Nonlinear Dynamics and Chaos: With Applications to Physics, Biology, Chemistry, and Engineering*. — Cambridge, MA: Westview Press, 1994. — 498 p.
8. Lyapunov A.M. *The General Problem of the Stability of Motion*. — London: Taylor & Francis, 1992. — 286 p.
9. Ivakhnenko, I., Ryzhakova, G., Chupryna, I., Kushnir, I., Druzhynina, I., & Vakolyuk, A. (2021). Information-analytical support and organizational-

structural regulation of operational activity of enterprises: economic evaluation and construction of management systems. *Управління розвитком складних систем*, (46), 91–99.

10. Х.М. Чуприна, Ю.А. Чуприна, М.В. Бородавко, Д.В. Грабчак. Структурно-когнітивного моделювання процесів управління інтелектуалізацією будівельних підприємств// «Формування ринкових відносин в Україні»// 2020. – № 5 (228). – с. 89-98

11. Koskela L. An Exploration towards a Production Theory and Its Application to Construction: Doctoral Dissertation. — Espoo: VTT Technical Research Centre of Finland, 2000. — 296 p.

Doctor of Economics, Professor **Iurii Chupryna**,
Kyiv National University of Construction and Architecture

METHODOLOGY OF COGNITIVE–INTEGRATIVE MANAGEMENT OF ORGANIZATIONAL AND TECHNOLOGICAL COMPLEXITY OF CONSTRUCTION SYSTEMS

Modern construction systems are characterized by a high level of organizational and technological complexity, which is driven by the multilevel structure of projects, intensive interrelations among participants in the construction process, spatial and temporal dispersion of works, and increasing uncertainty of the external environment. Under such conditions, traditional deterministic management approaches based on linear planning and rigid control lose their adequacy and fail to ensure sustainable controllability of the system. This necessitates the development of a management methodology capable of accounting for nonlinear dynamics, cognitive limitations of decision-makers, and the variability of the organizational and technological relationship structure itself.

The study develops a methodology of cognitive–integrative management of organizational and technological complexity in construction systems, within which a construction system is interpreted as a multidimensional dynamic environment that evolves under the influence of managerial decisions, internal structural factors, and external disturbances. The proposed approach is grounded in the integration of system dynamics, complex systems theory, and cognitive modeling, which makes it possible to move from a descriptive interpretation of complexity to its formalized quantitative assessment.

Keywords: cognitive–integrative management; organizational and technological complexity; construction systems; system dynamics; cognitive modeling; state vector; integral indicator; adaptive management.

REFERENCES

1. Forrester, J.W. *Industrial Dynamics*. Cambridge, MA: MIT Press, 1961, 464 p. {in English}
2. Sterman, J.D. *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. Boston: Irwin/McGraw-Hill, 2000, 982 p. {in English}
3. Love, P.E.D., Edwards, D.J., Irani, Z., & Walker, D.H.T. *Complex Systems Theory: A New Perspective for Construction Management Research*. *Construction Management and Economics*, 2008, Vol. 26, No. 11, pp. 1217–1233. DOI: 10.1080/01446190802459934. {in English}
4. Axelrod, R. *Structure of Decision: The Cognitive Maps of Political Elites*. Princeton: Princeton University Press, 1976, 404 p. {in English}
5. von Bertalanffy, L. *General System Theory: Foundations, Development, Applications*. New York: George Braziller, 1968, 295 p. {in English}
6. Kosko, B. *Fuzzy Cognitive Maps*. *International Journal of Man-Machine Studies*, 1986, Vol. 24, No. 1, pp. 65–75. {in English}
7. Strogatz, S.H. *Nonlinear Dynamics and Chaos: With Applications to Physics, Biology, Chemistry, and Engineering*. Cambridge, MA: Westview Press, 1994, 498 p. {in English}
8. Lyapunov, A.M. *The General Problem of the Stability of Motion*. London: Taylor & Francis, 1992, 286 p. {in English}
9. Ivakhnenko, I., Ryzhakova, H., Chupryna, I., Kushnir, I., Druzhynina, I., & Vakolyuk, A. *Information and Analytical Support and Organizational and Structural Regulation of Enterprise Operational Activity: Economic Evaluation and Construction of Management Systems*. *Management of Development of Complex Systems*, 2021, No. 46, pp. 91–99. {in Ukrainian}
10. Chupryna, Kh.M., Chupryna, Yu.A., Borodavko, M.V., & Hrabchak, D.V. *Structural and Cognitive Modeling of Management Processes for the Intellectualization of Construction Enterprises. Formation of Market Relations in Ukraine*, 2020, No. 5 (228), pp. 89–98. {in Ukrainian}
11. Koskela, L. *An Exploration towards a Production Theory and Its Application to Construction*. Doctoral Dissertation. Espoo: VTT Technical Research Centre of Finland, 2000, 296 p. {in English}