

DOI: 10.32347/2786-7269.2025.14.110-121

УДК 331.108:004.89

Данілов С.Ю.,

daniloff011@gmail.com ORCID: 0000-0001-9111-9047,

докторант **Стельмах О.В.,**

Sasha2000sss@gmail.com ORCID: 0009-0004-7886-1676,

Кривда К.Є.,

nebisa57@gmail.com ORCID: 0009-0005-6724-4119,

Науменко Є.В.,

naumenko_e@ukr.net ORCID: 0009-0003-1138-4695,

Київський національний університет будівництва і архітектури

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ МУЛЬТИАГЕНТНОГО МОДЕЛЮВАННЯ У СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ ТРУДОВИМИ РЕСУРСАМИ З АКЦЕНТОМ НА МІЖДИСЦИПЛІНАРНУ ІНТЕГРАЦІЮ ТА ПОВЕДІНКОВУ СКЛАДОВУ

Сучасні умови розвитку будівельної галузі та суміжних сфер вимагають пошуку нових методів управління трудовими ресурсами, що забезпечують стійкість, ефективність та адаптивність систем до непередбачуваних викликів. Традиційні моделі управління персоналом часто не здатні врахувати комплексність взаємодії між різними суб'єктами трудових відносин, особливо в умовах цифровізації та глобалізації. Одним із перспективних напрямів у цьому контексті є застосування мультиагентного моделювання, яке дозволяє створювати динамічні симуляції поведінки агентів – окремих працівників, підрозділів, менеджерів або організацій. Це моделювання інтегрує економічні, соціальні, психологічні та технічні аспекти функціонування трудових ресурсів, формуючи міждисциплінарний підхід до аналізу та прогнозування процесів. Використання мультиагентних систем відкриває можливість глибшого розуміння поведінкових факторів: рівня мотивації, комунікацій, колективної динаміки та реакції на управлінські рішення.

Ключові слова: мультиагентне моделювання; трудові ресурси; управління; поведінкові фактори; цифровізація; міждисциплінарна інтеграція; ризики; ефективність.

Постановка проблеми: Проблематика управління трудовими ресурсами в сучасному будівельному секторі та інших галузях економіки пов'язана із

зростанням складності соціально-економічних процесів та впливом глобальних викликів. Традиційні методи управління персоналом, зокрема адміністративні та фінансово-орієнтовані моделі, не здатні враховувати повною мірою вплив поведінкових факторів, психологічних характеристик працівників та багатопланових взаємозв'язків у колективах. Особливо актуальним стає питання інтеграції цифрових технологій та інноваційних управлінських інструментів, які дозволяють створювати адаптивні системи, що функціонують в умовах невизначеності. У цьому контексті мультиагентне моделювання пропонує принципово новий підхід до аналізу трудових процесів, оскільки воно дозволяє враховувати індивідуальні та колективні дії агентів, їхню взаємодію та реакцію на управлінські рішення.

Метою статті є обґрунтування теоретичних основ мультиагентного моделювання в системах управління трудовими ресурсами, з урахуванням міждисциплінарних підходів та поведінкових факторів. Особлива увага приділяється аналізу можливостей застосування мультиагентних систем для моделювання динаміки колективів, оптимізації управлінських рішень та інтеграції цифрових технологій. Очікуваним результатом є визначення перспектив створення комплексних моделей управління, які забезпечать адаптивність, стійкість та підвищення ефективності трудових ресурсів у сучасних умовах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій: Останні наукові публікації демонструють зростаючий інтерес до мультиагентних систем як інструменту для управління складними соціально-економічними процесами. Зокрема, в працях зарубіжних дослідників (M. Wooldridge, N. Jennings) розглядається потенціал мультиагентного моделювання у контексті штучного інтелекту та систем підтримки прийняття рішень. У сфері управління трудовими ресурсами окремі науковці підкреслюють необхідність врахування психологічних аспектів поведінки агентів, що дозволяє прогнозувати зміни у мотивації та ефективності персоналу. Вітчизняні дослідження зосереджені на інтеграції цифрових технологій в управління трудовими процесами, що відкриває нові можливості для формування інноваційних моделей управління персоналом у будівельних підприємствах [13]. Однак попри зростаючу кількість робіт, проблемними залишаються питання поєднання технічних, соціальних та економічних підходів у єдиній міждисциплінарній моделі. Недостатньо розроблені також інструменти, які дозволяють поєднати прогнозування поведінкових факторів із кількісними економічними показниками ефективності.

Виклад основного матеріалу: У сучасних умовах цифровізації управлінських процесів усе більшої актуальності набуває концепція мультиагентного моделювання як інструменту системного аналізу та

динамічної адаптації до змінних параметрів зовнішнього й внутрішнього середовища організації. В системах управління трудовими ресурсами ця технологія розглядається як спосіб відображення складної взаємодії між індивідуумами, підрозділами, інформаційними потоками та стратегічними цілями підприємства. Особливої ваги набуває здатність мультиагентних моделей враховувати поведінкові характеристики працівників, а також відображати процеси колективного прийняття рішень, мотивації, координації та конфліктів.

Міждисциплінарний підхід у побудові мультиагентних моделей дозволяє об'єднати методи комп'ютерного моделювання, теорію ігор, соціальні теорії взаємодії, економіко-математичні алгоритми та дані з HR-аналітики. Така інтеграція є необхідною умовою для розкриття складної системної природи трудових ресурсів у динамічному середовищі [1].

Щоб глибше розкрити внутрішню логіку мультиагентного моделювання у сфері управління трудовими ресурсами, варто звернутися до рисунку 1, який узагальнює взаємозв'язки між агентами, середовищем та міждисциплінарними елементами [2].

Структурне тло охоплює формальну організаційну архітектуру: розподіл повноважень, інфраструктуру, матеріальні ресурси, підсистеми контролю, процедурні обмеження. У будівельному контексті це включає логістику постачання, технічну документацію, проектно-кошторисні модулі, техніко-технологічну ієрархію ділянок і бригад. Наприклад, Генрі Мінцберг ще у 1979 році класифікував організаційні структури з урахуванням того, як вони визначають канали впливу на працівників, акцентуючи, що в умовах проектної структури, типової для будівництва, агенти мають високу автономію, але й високий ступінь взаємозалежності [4].

Інформаційне тло формує масив повідомлень, сигналів, даних і знань, до яких мають доступ агенти. У будівельному підприємстві це можуть бути системи ERP, BIM-моделі, графіки виконання, технічні звіти, канали комунікації між підрозділами. Ікіро Нонака та Хіротака Такеучі у своїй концепції створення організаційного знання підкреслили важливість передання «мовчазного знання» через практичну взаємодію працівників, що потребує формування інформаційного середовища, в якому існує не лише доступ до даних, а й довіра, адаптивність і горизонтальні зв'язки [5].



Рис. 1. Структура мультиагентної моделі в системі управління трудовими ресурсами з поведінковими та міждисциплінарними елементами (розроблено авторами на основі [3])

Соціальне тло включає емоційні зв'язки, лідерство, субкультури, формальні та неформальні мережі, які можуть мати вирішальне значення для прийняття рішень агентами. Згідно з підходом Етьєна Венгера, описаним у його концепції «спільнот практики», організаційне навчання відбувається через спільні дії, взаємну підтримку та координацію в межах мікросоціальних структур [6].

Щоб узагальнити наукові підходи до трактування середовища агентної взаємодії, доцільно звернутися до таблиці 1, яка охоплює основні типи середовища, авторів і приклади застосування.

Розширення уявлення про середовище взаємодії агентів у межах мультиагентного моделювання дозволяє перейти від статичної структурної інтерпретації до динамічного аналізу контексту, в якому трудові ресурси функціонують як адаптивні та чутливі до змін суб'єкти [9].

Соціальний контекст несе ще складнішу динаміку — зміна лідера, конфліктна ситуація або навпаки, поява сильного неформального лідера (прораба, якого поважають навіть без формальних повноважень), здатна різко змінити результативність усієї команди. У мультиагентних моделях такі впливи реалізуються через параметри індексу довіри, соціальної згуртованості, адаптивної здатності до колективної поведінки. За результатами досліджень Гайсберга та Брукса, включення соціальних змінних до симуляцій будівельних проєктів підвищило точність прогнозу ефективності робіт майже на 27 %, що підтверджує важливість цієї складової [10].

Таблиця 1.

Підходи до трактування середовища взаємодії агентів у мультиагентних моделях трудових систем (розроблено авторами на основі [4, 5, 6, 7, 8])

Автор / Школа	Тип середовища	Основні положення	Приклад застосування (будівництво)
Генрі Мінцберг	Структурне	Формальні структури визначають автономію та координацію	Матрична структура бригад і підрозділів
Ікіро Нонака, Хіротака Такеучі	Інформаційне	Мовчазне знання поширюється через довіру та неформальні практики	Передача досвіду майстрів через комунікаційні платформи
Етьєн Венгер	Соціальне	Спільноти практики як джерело неформального навчання	Командна підтримка між інженерами та логістами
Девід Сноуден [7]	Комбіноване (Cynefin)	Види середовищ формують стилі прийняття рішень – від простих до хаотичних	Вибір управлінської стратегії в умовах форс-мажору
Аксель Боррманн [8]	Інформаційне/структурне	ВІМ як основа для цифрового середовища взаємодії	Координація завдань через інтеграцію ВІМ-модулів

У перспективі, поєднання трьох типів середовища у цифровому контурі організації дає змогу створити симбіотичну систему управління, яка не лише прогнозує поведінку працівників, а й активно формує її, враховуючи етику впливу, когнітивну складність рішень та соціальну легітимність управлінських дій.

Початок формування цього напрямку пов'язаний із працями Герберта Саймона, який у 1957 році запровадив термін "обмежена раціональність", підкреслюючи, що люди рідко приймають оптимальні рішення через обмеження у сприйнятті, пам'яті та обробці інформації. Пізніше Деніел Канеман і Амос Тверські в межах теорії перспектив (prospect theory) показали, що люди частіше переоцінюють втрати й недооцінюють вигоди, приймаючи рішення не на основі логіки, а під впливом когнітивних викривлень. Зокрема, Канеман у своїй книзі детально описав систему подвійного мислення, що стала основою для поведінкових алгоритмів у мультиагентному моделюванні [12].

Щоб візуально представити інтеграцію поведінкової економіки в мультиагентні моделі управління трудовими ресурсами, розглянемо рисунок 2, що демонструє, як когнітивні та емоційні фактори формують поведінку агентів у середовищі будівельного підприємства.

Агенти (представлені як працівники, менеджери, бригади) взаємодіють не лише з інформаційним і структурним середовищем, а й з модулями, які

відповідають за емоційний стан, когнітивну оцінку ситуації та соціальні впливи. Модель включає змінні, як-от рівень тривожності, страх санкцій, прагнення до справедливості, а також ефекти, пов'язані з довірою до керівництва чи реакцією на зміну політик [13].

Поведінкова економіка в мультиагентному моделюванні не є лише додатковим інструментом — вона перетворює модель з математичної структури в живу симуляцію, яка враховує психологічну і соціальну природу працівника.



Рис. 2. Роль поведінкової економіки в мультиагентному моделюванні трудових ресурсів будівельного підприємства (розроблено автором на основі [12])

У мультиагентному моделюванні систем управління трудовими ресурсами будівельного підприємства ключовим параметром, що визначає динаміку симуляції, виступає тип взаємодії між агентами. Трудові відносини в межах будівельного проєкту не зводяться до простого обміну командами чи інформацією — це складна система колективних, суперечливих, залежних і багаторівневих зв'язків. До найбільш репрезентативних типів взаємодій у будівельному середовищі належать: кооперативні, конфліктні, ієрархічні та мережеві.

Кооперативна взаємодія передбачає спільну мету агентів, взаємну підтримку, узгодження рішень і можливість компромісу. У будівельному контексті це, наприклад, бригади з різних спеціалізацій, які працюють на

одному об'єкті (бетонувальники й електрики), де узгодженість дій критично важлива для дотримання графіків. Кооперативна взаємодія реалізується в агентній моделі через правила спільного прийняття рішень, розподіл ресурсів, відстеження рівня довіри, мотивації й взаємної вигоди. При цьому важливими є параметри, як-от «індекс кооперації» або «спільне очікуване завершення задачі».

Конфліктна взаємодія виникає там, де агенти мають суперечливі цілі, конкурують за ресурси або діють в умовах обмеженої інформації. Це можуть бути приклади, коли технічна служба проєкту наполягає на внесенні змін до конструктиву, що затягує строки, у той час як підрядник має зобов'язання перед замовником за фіксованим терміном. У мультиагентному моделюванні такі взаємодії моделюються через теорію ігор, механізми блокування дій, стратегічне приховування інформації, параметри ескалації або компромісу. Для кращого розуміння взаємозв'язків між типами агентних взаємодій і специфікою трудових відносин у будівельному середовищі, розглянемо рисунок 3, який ілюструє динамічну систему взаємодій агентів за чотирма основними типами.

Мережева взаємодія базується на горизонтальних зв'язках, обміні інформацією без централізованого контролю, адаптивному реагуванні на дії інших агентів [11]. Це характерно для субпідрядників, ІТ-підтримки, технічного аудиту, які взаємодіють через цифрові платформи або за межами формальної ієрархії.

Важливою є здатність агентів навчатися в процесі симуляції, що робить мережеву взаємодію ключовою у сценаріях реагування на кризові ситуації чи зміни проєктного середовища [14].

Ефективне мультиагентне моделювання трудових процесів у будівельному середовищі повинно виходити з комплексного урахування всіх чотирьох типів взаємодій, із гнучким перемиканням логік у залежності від фази проєкту, типу учасників і специфіки завдань. Розширення агентного моделювання за рахунок типологізації взаємодій відкриває нові можливості для стратегічного управління трудовими процесами в будівельних проєктах [13].

Із подальшим ускладненням будівельних проєктів та зростанням вимог до якості, швидкості й точності виконання робіт, актуальним постає питання не лише координації дій виконавців, а й прогнозування змін у їх поведінці. Особливо критичними змінними в цьому контексті виступають мотивація, ефективність виконання завдань і рівень стресостійкості. Саме ці параметри, хоч і не мають безпосереднього матеріального виміру, можуть істотно вплинути на збої в проєкті, якість рішень, командну синергію та управлінську адаптивність.



Рис. 3. Типи агентних взаємодій у будівельному проєкті та їхній вплив на поведінку моделі (розроблено автором на основі [11])

Поведінкове моделювання у сфері управління трудовими ресурсами в будівництві базується на гіпотезі, що працівники, зокрема агенти у цифровій моделі, не є повністю раціональними. Вони приймають рішення під впливом емоцій, минулого досвіду, рівня залученості до команди та ставлення до керівництва. Відтак в модель можуть інтегруватися індикатори, які дозволяють оцінювати й прогнозувати такі стани, як вигорання, апатія, збудження, тривожність або інтуїтивна реакція.

Щоб реалізувати ці механізми у формалізованому вигляді, до моделі впроваджуються алгоритми машинного навчання, які здатні адаптувати поведінку агентів до змінних умов, зчитуючи, аналізуючи та узагальнюючи тренди в їх діях. На перших етапах йдеться про системи, які аналізують історію рішень та визначають, за яких умов агент діє найефективніше. У перспективі такі системи навчаються прогнозувати, в якому емоційному стані знаходиться агент на основі патернів поведінки, швидкості реакцій, часу бездіяльності або навпаки — надмірної активності [14].

Механізми машинного навчання, зокрема алгоритми підкріпленого навчання (Reinforcement Learning), дають змогу моделювати адаптацію агентів через систему “винагород і покарань”. Така система в мультиагентній симуляції дозволяє агенту навчатися на основі результатів власних дій — наприклад, уникати перевантаження або змінювати підхід до взаємодії з іншими, якщо раніше обраний підхід призвів до затримки в циклі виконання.

Література

1. Дьяків С.І. Комп'ютерне моделювання соціальних систем: міждисциплінарний підхід. – Івано-Франківськ: НТБ ІФНТУНГ, 2020. – 246 с. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://library.nung.edu.ua/>
2. Taylor M.E., Tuyls K. (ред.) Adaptive and Learning Agents. – Berlin: Springer, 2010. – 200 с. – (Lecture Notes in Computer Science; т. 5924). – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://surl.lu/lkohqf>
3. Syvytskyi Y., Shevchenko V. Computer Simulation Model of the Organization at the Stage of Transformation for the Purpose of Adaptation to New Projects // CEUR Workshop Proceedings. – 2024. – Vol. 3806. – С. 1–12. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://ceur-ws.org/Vol-3806/S_61_Shevchenko_Syvytskyi.pdf
4. Mintzberg H. The Structuring of Organizations: A Synthesis of the Research. – Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1979. – 512 с. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://archive.org/details/structuringoforg0000mint>
5. Nonaka I., Takeuchi H. The Knowledge-Creating Company: How Japanese Companies Create the Dynamics of Innovation. – New York: Oxford University Press, 1995. – 284 с. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://global.oup.com/academic/product/the-knowledge-creating-company-9780195092691>
6. Shpakova, H., Chupryna, I., Ivakhnenko, I., Zinchenko, M., & Plys, N. (2024). Tools for assessing the competitiveness of a construction company as a contractor in public-private partnership projects. In 2024 IEEE 4th International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST) (pp. 473–481).
7. Боррманн А., Кеніг М., Кох К., Беєц Я. Інформаційне моделювання будівель: технологічні основи та галузева практика. – Берлін: Springer, 2018. – 584 с. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-92862-3>
8. Sidiropoulos G., Kiourt C., Moussiades L. Metis: Multi-Agent Based Crisis Simulation System // arXiv preprint arXiv:2009.03934. – 2020. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://arxiv.org/abs/2009.03934>
9. Katiyar A., Kumar P. A Review of Internet of Things (IoT) in Construction Industry: Building a Better Future // International Journal of Advanced Computing Science and Engineering. – 2021. – Vol. 3, No. 2. – P. 65–72. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://surl.li/mkunqk>
10. Soleymani M., Bonyani M., Attarzadeh M. Autonomous Resource Management in Construction Companies Using Deep Reinforcement Learning Based on IoT // arXiv preprint arXiv:2208.08087. – 2022. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://arxiv.org/abs/2208.08087>
11. Канеман Д., Тверські А. Теорія перспектив: аналіз прийняття рішень за умов ризику // Econometrica. – 1979. – Т. 47, № 2. – С. 263–291. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://surl.li/bwsdhp>

12. Schweitzer F., Garcia D. An Agent-Based Model of Collective Emotions in Online Communities // arXiv preprint arXiv:1006.5305. – 2010. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://arxiv.org/abs/1006.5305>
13. 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
14. Yang B., Liu B., Han Y., Meng X., Wang Y., Yang H., Xia J. Multiagent Reinforcement Learning Enhanced Decision-making of Crew Agents During Floor Construction Process // arXiv preprint arXiv:2409.01060. – 2024. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://arxiv.org/abs/2409.01060>

Danilov Serhii,
Doctoral Student **Stelmakh Oleksandr, Kryvda Kyrylo,**
Naumenko Yevhen,
Kyiv National University of Construction and Architecture

THEORETICAL FOUNDATIONS OF MULTI-AGENT MODELING IN LABOR RESOURCE MANAGEMENT SYSTEMS WITH AN EMPHASIS ON INTERDISCIPLINARY INTEGRATION AND THE BEHAVIORAL COMPONENT

The modern development of the construction industry and related sectors requires the search for new methods of labor resource management that ensure resilience, efficiency, and adaptability of systems to unpredictable challenges. Traditional models of personnel management often fail to take into account the complexity of interactions between various actors in labor relations, especially under conditions of digitalization and globalization. One of the promising directions in this context is the application of multi-agent modeling, which makes it possible to create dynamic simulations of agent behavior—whether individual employees, departments, managers, or organizations. Such modeling integrates economic, social, psychological, and technical aspects of labor resource functioning, forming an interdisciplinary approach to analyzing and forecasting processes. The use of multi-agent systems opens the possibility of gaining deeper insights into behavioral factors such as motivation levels, communication patterns, collective dynamics, and responses to managerial decisions.

Keywords: multi-agent modeling; labor resources; management; behavioral factors; digitalization; interdisciplinary integration; risks; efficiency.

REFERENCES

1. Diakiv, S.I. (2020). Computer Modeling of Social Systems: An Interdisciplinary Approach. Ivano-Frankivsk: NTB IFNTUNG. 246 p. [Electronic resource]. Access mode: <https://library.nung.edu.ua/>. {in Ukrainian}
2. Taylor, M.E., & Tuyls, K. (Eds.). (2010). Adaptive and Learning Agents. Berlin: Springer. 200 p. (Lecture Notes in Computer Science; Vol. 5924). [Electronic resource]. Access mode: <https://surl.lu/lkohqf>. {in English}
3. Syvytskyi, Y., & Shevchenko, V. (2024). Computer Simulation Model of the Organization at the Stage of Transformation for the Purpose of Adaptation to New Projects. CEUR Workshop Proceedings, 3806, 1–12. [Electronic resource]. Access mode: https://ceur-ws.org/Vol-3806/S_61_Shevchenko_Syvytskyi.pdf. {in Ukrainian}
4. Mintzberg, H. (1979). The Structuring of Organizations: A Synthesis of the Research. Englewood Cliffs: Prentice-Hall. 512 p. [Electronic resource]. Access mode: <https://archive.org/details/structuringoforg0000mint>. {in English}
5. Nonaka, I., & Takeuchi, H. (1995). The Knowledge-Creating Company: How Japanese Companies Create the Dynamics of Innovation. New York: Oxford University Press. 284 p. [Electronic resource]. Access mode: <https://global.oup.com/academic/product/the-knowledge-creating-company-9780195092691>. {in English}
6. Shpakova, H., Chupryna, I., Ivakhnenko, I., Zinchenko, M., & Plys, N. (2024). Tools for assessing the competitiveness of a construction company as a contractor in public-private partnership projects. In 2024 IEEE 4th International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST) (pp. 473–481). {in English}
7. Borrmann, A., König, M., Koch, C., & Beetz, J. (2018). Building Information Modeling: Technological Foundations and Industry Practice. Berlin: Springer. 584 p. [Electronic resource]. Access mode: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-92862-3>. {in English}
8. Sidiropoulos, G., Kiourt, C., & Moussiades, L. (2020). Metis: Multi-Agent Based Crisis Simulation System. arXiv preprint arXiv:2009.03934. [Electronic resource]. Access mode: <https://arxiv.org/abs/2009.03934>. {in English}
9. Katiyar, A., & Kumar, P. (2021). A Review of Internet of Things (IoT) in Construction Industry: Building a Better Future. International Journal of Advanced Computing Science and Engineering, 3(2), 65–72. [Electronic resource]. Access mode: <https://surl.li/mkunqk>. {in English}
10. Soleymani, M., Bonyani, M., & Attarzadeh, M. (2022). Autonomous Resource Management in Construction Companies Using Deep Reinforcement Learning Based on IoT. arXiv preprint arXiv:2208.08087. [Electronic resource]. Access mode: <https://arxiv.org/abs/2208.08087>. {in English}
11. Kahneman, D., & Tversky, A. (1979). Prospect Theory: An Analysis of Decision under Risk. Econometrica, 47(2), 263–291. [Electronic resource]. Access mode: <https://surl.li/bwsdhp>. {in English}

12. Schweitzer, F., & Garcia, D. (2010). An Agent-Based Model of Collective Emotions in Online Communities. arXiv preprint arXiv:1006.5305. [Electronic resource]. Access mode: <https://arxiv.org/abs/1006.5305>. {in English}
13. Chupryna, Kh.M., Chupryna, Yu.A., Borodavko, & Hrabchak, D.V. (2020). Structural-Cognitive Modeling of Processes of Managing the Intellectualization of Construction Enterprises. Formation of Market Relations in Ukraine, 5(228), 89–98. {in Ukrainian}
14. Yang, B., Liu, B., Han, Y., Meng, X., Wang, Y., Yang, H., & Xia, J. (2024). Multiagent Reinforcement Learning Enhanced Decision-making of Crew Agents During Floor Construction Process. arXiv preprint arXiv:2409.01060. [Electronic resource]. Access mode: <https://arxiv.org/abs/2409.01060>. {in Ukrainian}