

DOI: <https://doi.org/10.15276/ict.03.2026.23>

УДК 004.8:005.8

Модель контекстно-залежної координації та метод адаптивного вибору механізмів взаємодії агентів штучного інтелекту в управлінні ІТ проєктами

Горалік Олексій Євгенович¹⁾

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-4395-8090>; oleksii.goralik@stud.op.edu.ua

¹⁾ Національний університет «Одеська політехніка», пр. Шевченка, 1. Одеса, 65044, Україна

АНОТАЦІЯ

Стаття присвячена завданню адаптації координації спеціалізованих агентів штучного інтелекту до динамічного стану ІТ-проєкту. Показано, що статичний склад агентів і заздалегідь закріплений механізм взаємодії не забезпечують одночасно належної якості та швидкості рішень за зміни вимог, строків, ресурсів, конфліктності й ризику. Вперше розроблено модель контекстно-залежної координації спеціалізованих ШІ-агентів, яка формує повну конфігурацію колективу за оціненим станом проєкту: активних агентів, ролі, комунікаційні зв'язки, механізм координації, ваги та рівень автономності. На відміну від статичних архітектур, модель відсіює структурно й нормативно недопустимі конфігурації, оцінює очікувану результативність у поточному контексті та враховує ціну реконфігурації. Вперше розроблено метод адаптивного вибору та перемикання механізмів координації ШІ-агентів. Метод одержує профіль потреби в координації, формує множину допустимих механізмів і виконує їх робастне ранжування за якістю та швидкістю прийняття рішень, придатністю до рівня конфліктності, комунікаційними витратами, ризиком і результатами попереднього застосування у подібних контекстах. Перемикання виконується лише тоді, коли перевага нового механізму перевищує адаптивний поріг з урахуванням невизначеності, структурної ціни переходу та рівня потреби в координації. За відсутності допустимого варіанта використовується безпечний механізм людського керування. Експериментальну перевірку проведено на сценарії ІТ-проєкту з вісімнадцятьма розробниками, трьома підкомандами, ста двадцятьма користувацькими історіями та шістьма двотижневими спринтами. Порівняно з найкращим фіксованим механізмом запропонований підхід підвищив середню якість рішення з нуля цілих вісімдесяти двох сотих до нуля цілих дев'яноста сотих, скоротив затримку з п'яти цілих однієї десятої до трьох цілих шести десятих хвилини, зменшив залишкову конфліктність з нуля цілих двадцяти трьох сотих до нуля цілих дванадцяти сотих, а нормовані комунікаційні витрати — з нуля цілих шістдесяти однієї соті до нуля цілих сорока семи сотих. Абляція історичної оцінки та гістерезису підтвердила внесок цих складників у якість і стійкість вибору.

Ключові слова: мультиагентні системи; спеціалізовані ШІ-агенти; управління ІТ-проєктами; контекстно-залежна координація; адаптивний вибір механізму; перемикання механізмів; комунікаційні витрати; людський контроль

Для цитування: Горалік О. Є. “Модель контекстно-залежної координації та метод адаптивного вибору механізмів взаємодії агентів штучного інтелекту в управлінні ІТ проєктами”. *Інформатика. Культура. Техніка*. 2026; Том 3 № 1 (3): 277–287. DOI: <https://doi.org/10.15276/ict.03.2026.23>

Актуальність. Управління ІТ-проєктом відбувається в середовищі, де зміст робіт, залежності, доступність компетенцій, строки постачання, технічний борг і ризики змінюються швидше, ніж завершується черговий цикл формального перегляду плану. Agile-підходи підвищують здатність команди реагувати на зміни, однак їхня адаптація здебільшого прив'язана до спринтів, нарад і ретроспектив [1], [2], [3], [4]. За внутрішньоспринтових збурень керівник має одночасно зібрати неоднорідні сигнали, зіставити суперечливі рекомендації та обрати спосіб їх узгодження. Зі зростанням проєкту така концентрація рішень стає вузьким місцем [5].

Штучний інтелект у проєктному управлінні застосовують для прогнозування строків, оцінювання ризиків, планування ресурсів і підтримки Agile-процесів [6], [7], [8], [9]. Проте один універсальний агент не має однаково повної інформації щодо змісту, строків, ресурсів, якості та ризиків. Мультиагентний підхід усуває це обмеження завдяки спеціалізації та локальній автономності [10], [11], [12], [13], але створює іншу проблему: агенти формують взаємозалежні або суперечливі пропозиції, а доцільний спосіб їх узгодження змінюється разом із контекстом.

Централізований арбітраж забезпечує швидкість у терміновій ситуації, проте створює залежність від одного координатора. Зважене голосування є дешевим за повних оцінок і слабого конфлікту, але може приховувати принципову незгоду. Переговори краще опрацьовують конфлікт інтересів, проте потребують часу й повідомлень.

Аукціон придатний до дефіцитних порівнюваних ресурсів, однак не замінює експертного розгляду архітектурного ризику. Ескалація людині безпечна для незворотних рішень, але надмірне її використання перевантажує керівника. Тому незмінний механізм не може бути оптимальним для всіх станів одного проєкту.

Наукова суперечність полягає в необхідності одночасно зберегти керованість колективу агентів і змінювати спосіб їх координації у відповідь на контекст. Для її розв'язання недостатньо лише динамічно перепризначати агента-виконавця. Необхідно, по-перше, сформувати цілісну конфігурацію колективу; по-друге, окремо визначити, який механізм координації є допустимим і найрезультативнішим зараз; по-третє, не допускати нестійких перемикань між близькими альтернативами.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Теоретичні основи інтелектуальних агентів і мультиагентних систем сформовано у працях М. Вулдріджа, Н. Дженнінгса, П. Стоуна, М. Велозу та В. Лессера [10], [11], [12], [13]. Координація трактується як узгодження залежних дій, розподіл повноважень і усунення конфліктів. Протокол Contract Net формалізує переговорне призначення завдань за заявками агентів [14], а механізми колективного вибору й аукціонного розподілу систематизовано в теорії мультиагентних систем [15]. Ці результати утворюють каталог можливих протоколів, однак самі по собі не визначають, який із них слід застосувати за конкретного стану ІТ-проєкту та коли його потрібно замінити.

Систематичні огляди штучного інтелекту в управлінні проєктами показують переважання прогнозних і рекомендаційних засобів над замкненими адаптивними контурами [6], [7]. Прогнозування тривалості й контроль проєкту підвищують точність оцінок [8], [9], [16], але прогноз не встановлює склад колективу, спосіб узгодження пропозицій і маршрут людського контролю. Методи планування й контролю також переважно виходять з наявності одного центра прийняття рішень [17].

Мультиагентні підходи до багатопроєктного планування та розподілу ресурсів демонструють переваги децентралізованої взаємодії [18]. Вони забезпечують локальну реакцію на зміну доступності ресурсів, але часто закріплюють протокол до початку роботи або вибирають його лише за типом події. Для ІТ-проєкту додатково необхідно одночасно враховувати якість і швидкість рішення, інтенсивність та тип конфлікту, обсяг комунікацій, ризик наслідків і накопичену результативність механізму в подібних завершених епізодах.

Попередні дослідження авторів сформували інтегровану мультиагентну основу адаптивного управління ІТ-проєктами та показали доцільність розподіленого моніторингу й координованої підтримки рішень [19], [20]. Невирішеною залишається формалізація переходу від багатовимірного контексту до повної конфігурації колективу, а від профілю потреби – до робастно обраного механізму з правилами стійкого перемикання. Саме ця прогалина визначає зміст дослідження.

Метою дослідження є підвищення якості, оперативності та стійкості координації спеціалізованих ІІІ-агентів в управлінні ІТ-проєктом шляхом розроблення моделі контекстно-залежної конфігурації колективу та методу адаптивного вибору і перемикання механізмів координації. Для досягнення мети необхідно: формалізувати стан і контекст проєкту; визначити структуру конфігурації; сформувати профіль потреби в координації; запровадити жорсткий відсів недопустимих механізмів; оцінити допустимі механізми за якістю, швидкістю, конфліктністю, комунікаційними витратами, ризиком та історичною результативністю; встановити правило перемикання з гістерезисом; експериментально порівняти підхід із фіксованими й спрощеними схемами.

Модель контекстно-залежної координації. ІТ-проєкт розглянуто як керовану динамічну систему. На дискретному кроці t її стан подано узгодженим вектором чотирьох груп параметрів:

$$x(t) = [x_S^T(t), x_T^T(t), x_R^T(t), x_K^T(t)]^T, \quad (1)$$

де $x(t)$ – вектор стану ІТ-проекту; $x_s(t)$ – показники змісту й виконання робіт; $x_T(t)$ – часові показники; $x_R(t)$ – доступність і завантаження ресурсів; $x_K(t)$ – показники ризику та якості; верхній індекс T означає транспонування.

Компоненти надходять асинхронно від спеціалізованих агентів і після нормування, перевірки походження та узгодження часових міток утворюють оцінку $\hat{x}(t)$. Для вибору способу взаємодії використано контекст, що відокремлює величину відхилення від швидкості зміни, невизначеності та терміновості:

$$z(t) = [\Delta(t), V(t), N(t), U(t), K(t)]^T, \quad (2)$$

де $z(t)$ – контекст координації; $\Delta(t)$ – нормоване відхилення від плану; $V(t)$ – волатильність стану; $N(t)$ – невизначеність оцінки; $U(t)$ – терміновість реакції; $K(t)$ – інтегральний ризик. Компоненти нормовано до інтервалу $[0; 1]$.

Множину доступних агентів позначено $A = \{a_1, \dots, a_n\}$. Спеціалізований агент a_i описується функціональним рівнем ℓ_i , роллю ρ_i , областю доступних спостережень O_i , дозволенними пропозиціями та діями D_i , локальною базою знань K_i і політикою формування сигналів та рекомендацій π_i . Такий опис задає інформаційні й управлінські межі кожного учасника колективу.

Колектив організовано на рівнях моніторингу, координації та виконання. Агенти змісту, строків, ресурсів і ризиків формують сигнали; координувальні агенти перевіряють походження, узгоджують пропозиції та вибирають маршрут; виконавчий рівень перетворює схвалені рішення на контрольовану директиву (Таблиця 1).

Поточний структурно-функціональний стан колективу задається конфігурацією:

$$g(t) = (A(t), L(t), P(t), E(t), m(t), w(t), \eta(t)), \quad (3)$$

де $g(t)$ – конфігурація; $A(t)$ – активні агенти; $L(t)$ – активні рівні; $P(t)$ – призначення ролей; $E(t)$ – комунікаційні зв'язки; $m(t)$ – механізм координації; $w(t)$ – ваги впливу агентів; $\eta(t)$ – допустима автономність. Принципова відмінність моделі полягає в контекстній зміні всього кортежу, а не одного виконавця.

Таблиця 1. Функціональні ролі у конфігурації колективу

Рівень	Основні ролі	Вхід	Результат
Моніторинг	Агенти змісту, строків, ресурсів, ризиків	Події, журнали, метрики	Сигнали та локальні оцінки
Координація	Координатор, агент конфліктів, агент рішень	Узгоджений контекст, пропозиції	Механізм, рішення, маршрут контролю
Виконання	Диспетчер, контроль виконання	Схвалена директива	Зміна стану та зворотний зв'язок

Джерело: розроблено автором

Перед оцінюванням конфігурація має пройти жорсткі перевірки: покриття обов'язкових ролей і компетентностей, зв'язність комунікаційного графа, доступність даних, ресурсну місткість, розділення повноважень і збереження встановленого маршруту людського контролю. Недопустимий варіант вилючається, а не отримує штраф, який можна компенсувати високою очікуваною швидкістю.

Розширений контекст конфігурації враховує результати попереднього циклу узгодження:

$$z_G(t) = [z^T(t), \bar{c}(t), 1 - \bar{\gamma}(t), 1 - \bar{s}_D(t), \bar{T}_I(t)]^T, \quad (4)$$

де $z_G(t)$ – розширений контекст; $\bar{c}(t)$ – остання доступна залишкова конфліктність; $\bar{\gamma}(t)$ – колективна впевненість; $\bar{s}_D(t)$ – стійкість рішення до малих збурень; $\bar{T}_I(t)$ – нормована затримка взаємодії. Риски логічного кола усунуто часовим правилом: під час первинного формування використовуються дані завершеного епізоду $t - 1$, а під час коригування – попередньої ітерації поточного епізоду.

Множину структурно допустимих конфігурацій позначено $G_C(t)$. Для кожної конфігурації оцінюється контекстна корисність із урахуванням прогнозованої результативності та вартості переходу:

$$J_G(g, t) = \hat{R}_G(g | z_G(t)) - \alpha_T T_G(g, t) - \alpha_C C_G(g, t) - \alpha_R R_G(g, t) - \alpha_D d_G(g, g^-), \quad (5)$$

де $J_G(g, t)$ – оцінка конфігурації g ; $\hat{R}_G$ – очікувана результативність у поточному контексті; T_G – очікувана затримка; C_G – комунікаційні витрати; R_G – ризик конфігурації; $d_G(g, g^-)$ – структурна відстань до чинної конфігурації g^- ; $\alpha_T, \alpha_C, \alpha_R, \alpha_D$ – невід’ємні ваги втрат.

Модель передає наступному методу не довільний механізм, а простір конфігурацій, у якому механізм має бути сумісним з ролями, зв’язками, автономністю та людським контролем. Після вибору цільового механізму остаточна конфігурація вводиться атомарно: нова версія не може використовуватися до підтвердження ролей, каналів, прав і готовності виконавчого рівня.

Метод адаптивного вибору та перемикання механізмів координації. Метод виконується окремо від формування управлінського рішення. Спочатку він оцінює потрібний рівень втручання та формує профіль вимог. Узагальнений індекс потреби визначено за нормованими факторами відхилення, волатильності, невизначеності, терміновості, ризику, конфліктності, браку впевненості та затримки:

$$F_C(t) = \text{clip}_{[0,1]} \left(\sum_{j=1}^8 \omega_j(t) r_j(t) + \sum_{(i,j) \in E_F} v_{ij} r_i(t) r_j(t) \right), \quad (6)$$

де $F_C(t)$ – індекс потреби в координації; $r_j(t)$ – нормовані фактори; $\omega_j(t)$ – контекстні ваги факторів; E_F – множина значущих парних взаємодій; v_{ij} – вага синергії факторів; $\text{clip}_{[0,1]}$ – обмеження результату інтервалом $[0; 1]$.

За адаптивними порогами індекс перетворюється на дискретний рівень $L_C(t) \in \{0,1,2,3\}$, а потім – на профіль $p_N(t)$, який містить обов’язкові ролі, підтримувані типи конфліктів, граничний час, ресурсний резерв, автономність і маршрут людини. Профіль не вибирає механізм, а задає вимоги для наступного відсіву.

Каталог M містить централізований арбітраж, ієрархічне узгодження, зважене голосування, консенсус або переговори, ресурсний аукціон і безпечне людське керування (Таблиця 2). Кожний механізм m_k має паспорт ролей, типів конфліктів, часу, базової вартості, автономності, людських маршрутів, структури комунікацій і даних.

Таблиця 2. Каталог механізмів і доцільний контекст застосування

Механізм	Доцільний контекст	Перевага	Основне обмеження
Централізований арбітраж	висока терміновість, чіткі повноваження	швидкість	залежність від координатора
Ієрархічне узгодження	різні рівні відповідальності	контрольованість	затримка переходів
Зважене голосування	повні оцінки, слабкий конфлікт	низькі витрати	слабке опрацювання жорсткої незгоди
Консенсус / переговори	суперечливі оцінки, достатній час	якість компромісу	ітерації та повідомлення
Ресурсний аукціон	дефіцит порівнюваних ресурсів	ефективність розподілу	потреба у співставних заявках
Людське керування	критичний ризик, невпевненість, вето	безпека й відповідальність	навантаження та час людини

Джерело: розроблено автором

Повна допустимість визначається кон’юнкцією жорстких перевірок:

$$q_k^M(t) = \mathbf{1}[m_k \in M_N(t)] q_k^P q_k^C q_k^T q_k^H q_k^\eta q_k^E q_k^{data} q_k^{safe}, \quad M_F(t) = \{m_k: q_k^M(t) = 1\}. \quad (7)$$

де $q_k^M(t)$ – ознака повної допустимості механізму; $M_N(t)$ – механізми, дозволені профілем потреби; $q_k^P, q_k^C, q_k^T, q_k^H, q_k^\eta, q_k^E, q_k^{data}, q_k^{safe}$ – перевірки ролей, конфліктів, строку, людського маршруту, автономності, зв'язків, даних і безпеки; $M_F(t)$ – множина допустимих механізмів.

Для допустимих механізмів формується вектор критеріїв. Якість оцінюється часткою допустимих і виконаних рішень, швидкість – обернено нормованою затримкою, конфліктна придатність – покриттям активних типів суперечностей, комунікаційна ефективність – оберненою кількістю повідомлень і синхронізацій, ризикова безпечність – очікуваною втратою та оборотністю дії (Таблиця 3). Окремо використовується історія лише завершених епізодів, подібних за контекстом.

Таблиця 3. Критерії адаптивного ранжування механізмів

Критерій	Позначення	Зміст
Якість рішення	s_k^Q	допустимість, виконуваність, досягнення цілі
Швидкість	s_k^T	обернено нормована затримка
Опрацювання конфлікту	s_k^C	покриття типів та очікуваний залишковий конфлікт
Комунікаційна ефективність	s_k^E	повідомлення, раунди, синхронізації
Ризикова безпечність	s_k^R	очікувана втрата, оборотність, контроль
Історична результативність	$\hat{R}_k^M$	результат у подібних завершених епізодах

Джерело: розроблено автором

Вага історичного епізоду $\tau < t$ для механізму m_k зменшується зі зростанням контекстної відстані та давності:

$$\kappa_{k\tau}^M(t) = \mathbf{1}[m(\tau) = m_k] \exp\left(-\frac{d_z(t, \tau)}{h_z^M}\right) \exp\left(-\frac{t - \tau}{h_t^M}\right). \quad (8)$$

де $\kappa_{k\tau}^M(t)$ – вага історичного епізоду; $m(\tau)$ – фактично застосований механізм; $d_z(t, \tau)$ – відстань між поточним та історичним контекстами; h_z^M – масштаб контекстного згасання; h_t^M – часовий горизонт пам'яті.

Очікувана результативність механізму визначається з апіорним згладжуванням, що дає змогу враховувати попереднє застосування і водночас не забороняти новий механізм:

$$\hat{R}_k^M(t) = \frac{\kappa_0^M R_0^M + \sum_{\tau \in H_M(t)} \kappa_{k\tau}^M(t) r_M(\tau)}{\kappa_0^M + \sum_{\tau \in H_M(t)} \kappa_{k\tau}^M(t)}. \quad (9)$$

де $\hat{R}_k^M(t)$ – прогноз результативності механізму m_k ; κ_0^M і R_0^M – вага та значення апіорної оцінки; $H_M(t)$ – історія завершених епізодів; $r_M(\tau)$ – фактична результативність у епізоді τ ; $\kappa_{k\tau}^M(t)$ – вага подібності й актуальності.

Через невизначеність стану одноточкове ранжування може вибрати механізм, перевага якого зникає за малої похибки.

Тому для N_S сценаріїв збурення критеріїв обчислюється середньо-найгірша робастна оцінка:

$$J_k^{rob}(t) = \lambda_{rob} \frac{1}{N_S} \sum_{v=1}^{N_S} \left[\sum_{h=1}^6 \beta_h^M s_{k,h}^{(v)}(t) \right] + (1 - \lambda_{rob}) \min_v \left[\sum_{h=1}^6 \beta_h^M s_{k,h}^{(v)}(t) \right] - \alpha_U U_k^M - \alpha_D d_M(m_k, m^-). \quad (10)$$

де $J_k^{rob}(t)$ – робастний бал механізму; $s_{k,h}^{(v)}(t)$ – значення шести критеріїв у сценарії v ; β_h^M – їхні ваги; λ_{rob} – частка середньої оцінки; U_k^M – невизначеність історичного прогнозу;

$d_M(m_k, m^-)$ – ознака або вартість зміни чинного механізму m^- ; α_U , α_D – штрафні коефіцієнти.

Формула безпосередньо відображає заявлені складники новизни: s_k^Q відповідає якості; s_k^T – швидкості; s_k^C – конфліктності; s_k^E – комунікаційним витратам; s_k^R – ризику; $\hat{R}_k^M$ – результатам попереднього застосування. Жоден із цих критеріїв не замінює жорстких вимог безпеки: ранжуються тільки елементи $M_F(t)$.

Найкращий допустимий механізм визначається за робастним балом:

$$m^*(t) = \arg \max_{m_k \in M_F(t)} J_k^{rob}(t). \quad (11)$$

де $m^*(t)$ – найкращий механізм у поточному контексті; $M_F(t)$ – множина механізмів, що пройшли жорсткий відсів; $J_k^{rob}(t)$ – робастний багатокритеріальний бал. Якщо $M_F(t) = \emptyset$ за активної потреби, вибір не виконується і формується безпечний маршрут людського керування.

Без гістерезису невеликі флуктуації критеріїв спричиняють часті переходи. Адаптивний поріг перемикавання підвищується зі зростанням невизначеності та структурної ціни, але зменшується за критичної потреби:

$$\theta_{sw}^M(t) = \text{clip}_{[\theta_{min}, \theta_{max}]} \left[\theta_0^M + d_U U_*^M(t) + d_G d_{G,*}(t) - d_L \frac{L_C(t)}{3} \right]. \quad (12)$$

де $\theta_{sw}^M(t)$ – поріг переваги для перемикавання; θ_0^M – базове значення; $U_*^M(t)$ – невизначеність оцінки найкращого механізму; $d_{G,*}(t)$ – структурна відстань потрібної конфігурації; $L_C(t)$ – рівень потреби в координації; d_U , d_G , d_L – коефіцієнти чутливості.

Остаточне правило зберігає чинний механізм, якщо координація не потрібна або перевага альтернативи недостатня, та не блокує терміновий перехід за критичного режиму:

$$\tilde{m}(t) = \begin{cases} m^-(t), & q_C(t) = 0; \\ m_H(t), & M_F(t) = \emptyset; \\ m^*(t), & m^-(t) \notin M_F(t) \vee [J_*^{rob} - J_-^{rob} \geq \theta_{sw}^M(t) \wedge q_{cd}^M(t) = 1]; \\ m^-(t), & \text{інакше.} \end{cases} \quad (13)$$

де $\tilde{m}(t)$ – цільовий механізм; $q_C(t)$ – ознака потреби в координації; $m_H(t)$ – безпечний людський механізм; $m^*(t)$ – найкраща допустима альтернатива; J_*^{rob} і J_-^{rob} – бали найкращого та чинного механізмів; $\theta_{sw}^M(t)$ – адаптивний поріг; $q_{cd}^M(t)$ – виконання мінімального інтервалу між переходами.

Таким чином, вибір і перемикавання є різними операціями. Вибір ранжує допустимі механізми, а перемикавання визначає, чи достатня перевага переможця для фактичної реконфігурації. Цільовий механізм передається моделі конфігурації, яка добирає сумісні ролі й зв'язки та атомарно вводить нову версію. Після завершення епізоду фактичні якість, час, залишковий конфлікт, витрати комунікації та ризик додаються до $H_M(t+1)$; незавершені або поточні результати для вибору не використовуються.

Алгоритм застосування моделі та методу. Даний алгоритм можна представити у вигляді циклу, який складається з наступних кроків:

- 1) фіксація події та узгодження стану $\hat{x}(t)$;
- 2) обчислення $z(t)$ і $z_G(t)$;
- 3) визначення $F_C(t)$, $L_C(t)$ і профілю $p_N(t)$;
- 4) формування каталогу й множини $M_F(t)$;
- 5) оцінювання якості, швидкості, конфліктної, комунікаційної та ризикової придатності;
- 6) перенесення результатів лише з подібної завершеної історії;
- 7) сценарне робастне ранжування;
- 8) перевірку гістерезису та формування $\tilde{m}(t)$;
- 9) вибір сумісної конфігурації $g(t)$;
- 10) людське схвалення, якщо його вимагають профіль або ризик;

- 11) атомарне введення;
- 12) повернення фактичного результату до історії.

Збереження версій стану, профілю, відсіву, критеріальних внесків, переходу й результату забезпечує простежуваність. Метод не може знижувати нормативно заданий рівень людського контролю, а історія не може компенсувати відсутність обов'язкової ролі, даних або безпечного маршруту.

Коректність методу визначається п'ятьма інваріантами. Інваріант допустимості означає, що до робастного ранжування потрапляють виключно механізми з $M_F(t)$; тому компенсаторна згортка критеріїв не може подолати заборону безпеки. Інваріант часової причинності вимагає, щоб $H_M(t)$ містила лише результати, зафіксовані до моменту вибору: фактичний результат поточного епізоду стає доступним лише після виконання та контролю. Інваріант людського контролю забороняє методу зменшувати маршрут, заданий профілем $p_N(t)$ або політикою організації. Інваріант атомарності означає, що $\tilde{m}(t)$ є ціллю, а не дозволом на виконання: права виникають лише після введення узгодженої конфігурації. Інваріант безпечної відмови забезпечує перехід до $m_H(t)$, якщо допустиму множину не сформовано.

Метод також забезпечує обмежену частоту перемикачів. У некритичному режимі умова $q_{cd}^M(t) = 1$ встановлює мінімальний інтервал між змінами, а $\theta_{sw}^M(t) > 0$ відкидає переходи між майже рівними механізмами. Отже, за обмеженої кількості подій кількість реконфігурацій не перевищує кількості моментів, у яких одночасно виконано умови нового епізоду, допустимості та достатньої переваги. У критичному режимі інтервал може бути обійдений, але не скасовуються жорсткі перевірки та людський маршрут. Це розділяє оперативність і безпеку: терміновість прискорює перехід, проте не легалізує неприйнятний механізм.

Для пояснення вибору зберігаються внески $\beta_h^M s_{k,h}^{(v)}(t)$, причини відсіву, історичні епізоди з найбільшими $\kappa_{kt}^M(t)$, невизначеність U_k^M і різниця $J_*^{rob} - J_-^{rob}$. Тому відповідь системи містить не лише назву механізму, а й перевірюване обґрунтування: які обмеження виконано, які критерії дали перевагу, наскільки вибір стійкий до збурень і чому здійснено або відкладено перемикач. Така простежуваність потрібна для аудиту автономних рішень і ретроспективного калібрування ваг.

Обчислювальна складність одного циклу визначається кількістю механізмів $|M|$, завершених записів $|H_M|$, критеріїв і сценаріїв N_S . Жорсткий відсів є лінійним відносно каталогу; історичний прогноз потребує перегляду релевантних записів; робастне ранжування має порядок $O(|M_F|N_S)$ за сталої кількості критеріїв. Для оперативного застосування історію можна індексувати за режимом проєкту та наближеним контекстом, а сценарії обчислювати паралельно. Це не змінює математичної логіки та дає змогу застосовувати метод у подієвому контурі між плановими нарадами.

Експериментальна перевірка. Експеримент відтворював розроблення вебплатформи командою з 18 фахівців у трьох підкомандах. Беклог містив 120 користувацьких історій, горизонт – шість двотижневих спринтів. У третьому спринті моделювалося термінове розширення змісту, у четвертому – затримка зовнішнього постачальника, у п'ятому – втрата ключового фахівця. Для кожної реалізації були передбачені однакові послідовності подій і локальних оцінок; кожний сценарій повторювався 1000 разів (Таблиця 4).

Порівнювалися чотири варіанти: B_1 – постійний централізований арбітраж; B_2 – постійне зважене голосування; B_3 – правило вибору механізму лише за типом події без історії та гістерезису; M – запропонована контекстно-залежна модель із повним методом адаптивного вибору й перемикачів. Таким чином, система M відрізняється не наявністю кількох агентів, а використанням усіх шести критеріїв, жорсткого відсіву, історичного перенесення, робастності та правила стійкого переходу.

Таблиця 4. Параметри експерименту та метрики

Параметр	Значення
Розробники / підкоманди	18 / 3
Беклог / горизонт	120 історій / 6 спринтів
Збурення	зміст; постачальник; втрата фахівця
Повторення	1000 реалізацій
Каталог механізмів	6 механізмів
Метрики	QDI, DLT, RCI, CCI, RLI, MSR

Джерело: розроблено автором

Індекс якості рішення QDI визначав частку допустимих рішень, які досягли цілі без скасування в контрольному горизонті. DLT – час від першого сигналу до зафіксованого рішення. RCI – нормована залишкова конфліктність після застосування механізму. CCI – комунікаційні витрати за кількістю повідомлень, раундів і синхронізацій. RLI – нормована фактична втрата від реалізованого ризику. MSR – частота перемикань механізму на один спринт. Для QDI, DLT, RCI, CCI та RLI розраховували середні значення й 95-відсоткові бутстреп-інтервали за 5000 повторних вибірок; парні відмінності оцінювали на однакових реалізаціях подій. Результати проведеного експериментального дослідження запропонованої моделі та методу наведені в Табл. 5.

Таблиця 5. Порівняльні результати експерименту

Показник	B_1 : арбітраж	B_2 : голосування	B_3 : подієве правило	M : запропонований
QDI, 0–1	0,80	0,78	0,82	0,90
DLT, хв	4,4	3,7	5,1	3,6
RCI, 0–1	0,25	0,31	0,23	0,12
CCI, 0–1	0,42	0,39	0,61	0,47
RLI, 0–1	0,21	0,26	0,19	0,11
MSR, перемикань/спринт	0,00	0,00	4,9	2,1

Джерело: розроблено автором

Порівняно з B_3 запропонований метод підвищив QDI на 9,8 %, скоротив DLT на 29,4 %, зменшив RCI на 47,8 %, CCI – на 23,0 %, RLI – на 42,1 %. Порівняно з найшвидшим фіксованим голосуванням затримка практично не зросла, тоді як QDI підвищився на 0,12, а залишкова конфліктність зменшилася у 2,6 раза. Це означає, що адаптивність не була отримана ціною необмежених переговорів: комунікаційно дорогі механізми активувалися лише за відповідного профілю.

За режимами вибір мав інтерпретовану структуру. У номінальних епізодах переважали голосування та локальний арбітраж; за ресурсного дефіциту зростав вибір аукціону; за суперечливих оцінок і достатнього часу – переговорів; за критичного ризику – людського керування. Частка випадків, коли вибраний механізм залишався переможцем щонайменше у 80 % сценаріїв збурення, становила 0,88. Це підтверджує, що робастний бал стабілізує вибір за неточних оцінок.

Виконано дві абляції. Без історичного показника $\hat{R}_k^M(t)$ QDI зменшився до 0,85, DLT зріс до 4,0 хв, а RLI – до 0,15: система повторно використовувала механізми, які формально відповідали профілю, але демонстрували слабкий результат у схожих контекстах. Без штрафу переходу й порога $\theta_{sw}^M(t)$ частота перемикань зросла з 2,1 до 7,2 на спринт, CCI – з 0,47 до 0,69, а QDI знизився до 0,84. Отже, історія відповідає за адаптацію до фактичної результативності, а гістерезис – за структурну стійкість.

Обговорення результатів. Експеримент підтвердив, що контекстно-залежна модель і метод вибору механізму виконують різні, але взаємопов'язані функції. Модель визначає простір допустимих конфігурацій: хто бере участь, які ролі й зв'язки активні, яка автономність можлива. Метод визначає конкретний механізм у цьому просторі та

обґрунтовує необхідність переходу. Завдяки такому розділенню високий очікуваний бал не може легалізувати небезпечну конфігурацію, а структурна допустимість не підміняє багатокритеріального вибору.

Важливо, що «результати попереднього застосування» не подано як загальну середню для механізму. Вага завершеного епізоду залежить від близькості контексту та давності, тому успіх аукціону за дефіциту взаємозамінних ресурсів не переноситься безпосередньо на архітектурний конфлікт. Апріорне згладжування запобігає відмові від нових механізмів, а невизначеність малої історії зменшує їхній робастний бал без абсолютної заборони.

Практичне значення полягає в можливості розвантажити керівника проєкту від рутинних узгоджень без передачі системі необмежених повноважень. Журнал простежуваності пов'язує версію стану, профіль потреби, причини відсіву, внески критеріїв, цільовий механізм, факт перемикання, конфігурацію та результат. Це дає змогу пояснити як автономне виконання, так і ескалацію.

Висновки. Запропоновано модель контекстно-залежної координації спеціалізованих ІІІ-агентів, яка формує повну конфігурацію $g(t)$ з активних агентів, рівнів, ролей, зв'язків, механізму, ваг і автономності. Конфігурація визначається за багатовимірним контекстом, проходить жорсткі структурні перевірки та вводиться з урахуванням очікуваної результативності, затримки, комунікаційних витрат, ризику й ціни переходу.

Запропоновано метод адаптивного вибору та перемикання механізмів координації ІІІ-агентів, який: формує профіль потреби; вилучає недопустимі механізми; оцінює допустимі альтернативи за якістю і швидкістю рішення, рівнем конфліктності, комунікаційними витратами, ризиком та результатами попереднього застосування; виконує робастне ранжування; застосовує адаптивний поріг, мінімальний інтервал і безпечне людське керування.

Експериментально встановлено, що повний підхід порівняно з подієвим правилом підвищив QDI з 0,82 до 0,90, скоротив DLT з 5,1 до 3,6 хв, зменшив RCI з 0,23 до 0,12, CCI з 0,61 до 0,47 і RLI з 0,19 до 0,11. Вилучення історичної оцінки погіршило якість і ризикову безпечність, а вилучення гістерезису збільшило частоту перемикань більш ніж утричі. Отримані результати підтверджують доцільність спільного застосування моделі конфігурації та методу адаптивного вибору механізму.

Конфлікт інтересів: Автори декларують, що не мають конфлікту інтересів, зокрема фінансового, особистого, авторського чи будь-якого іншого характеру, який міг би вплинути на дослідження, а також на результати, опубліковані в цій статті

Фінансування: Дослідження проводилося без фінансової підтримки

Доступність даних: Усі дані доступні в цифровій або графічній формі в основному тексті рукопису

Використання засобів штучного інтелекту (ІІІ): Автори підтверджують, що не застосовували інструментальні засоби ІІІ для написання цієї роботи

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Fernandez, D. J. & Fernandez, J. D. “Agile project management – agilism versus traditional approaches”. *Journal of Computer Information Systems*. 2008; 49 (2): 10–17. DOI: <https://doi.org/10.1080/08874417.2009.11646044>.
2. Conforto, E. C. & Amaral, D. C. “Agile project management and stage-gate model – a hybrid framework for technology-based companies”. *Journal of Engineering and Technology Management*. 2016; 40: 1–14. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jengtecman.2016.02.003>.
3. Dingsøyr, T., Nerur, S., Baliyepally, V. & Moe, N. B. “A decade of agile methodologies: towards explaining agile software development”. *Journal of Systems and Software*. 2012; 85 (6): 1213–1221. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jss.2012.02.033>.
4. Serrador, P. & Pinto, J. K. “Does Agile work? A quantitative analysis of agile project success”. *International Journal of Project Management*. 2015; 33 (5): 1040–1051. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2015.01.006>.
5. Maylor, H., Vidgen, R. & Carver, S. “Managerial complexity in project-based operations: a grounded model and its implications for practice”. *Project Management Journal*. 2008; 39 (1): S15–S26. DOI: <https://doi.org/10.1002/pmj.20057>.

6. Taboada, I., Daneshpajouh, A., Toledo, N. & de Vass, T. “Artificial intelligence enabled project management: A systematic literature review”. *Applied Sciences*. 2023; 13 (8): 5014. DOI: <https://doi.org/10.3390/app13085014>.
7. Bento, S., Pereira, L., Gonçalves, R., Dias, Á. & Lopes da Costa, R. “Artificial intelligence in project management: systematic literature review”. *International Journal of Technology Intelligence and Planning*. 2022; 13 (2): 143–163. DOI: <https://doi.org/10.1504/IJTIP.2022.126841>.
8. Dam, H. K., Tran, T., Grundy, J., Ghose, A. K. & Kamei, Y. “Towards effective AI-powered agile project management”. *Proceedings of the 41st International Conference on Software Engineering: New Ideas and Emerging Results*. 2019. p. 41–44. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICSE-NIER.2019.00019>.
9. Wauters, M. & Vanhoucke, M. “A comparative study of artificial intelligence methods for project duration forecasting”. *Expert Systems with Applications*. 2016; 46: 249–261. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2015.10.008>.
10. Wooldridge, M. & Jennings, N. R. “Intelligent agents: theory and practice”. *The Knowledge Engineering Review*. 1995; 10 (2): 115–152. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0269888900008122>.
11. Dorri, A., Kanhere, S. S. & Jurdak, R. “Multi-agent systems: a survey”. *IEEE Access*. 2018; 6: 28573–28593. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2831228>.
12. Stone, P. & Veloso, M. “Multiagent systems: A survey from a machine learning perspective”. *Autonomous Robots*. 2000; 8 (3): 345–383. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1008942012299>.
13. Lesser, V. R. “Reflections on the nature of multi-agent coordination and its implications for an agent architecture”. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*. 1998; 1 (1): 89–111. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1010046623013>.
14. Smith, R. G. “The Contract Net Protocol: high-level communication and control in a distributed problem solver”. *IEEE Transactions on Computers*. 1980; C-29 (12): 1104–1113. DOI: <https://doi.org/10.1109/TC.1980.1675516>.
15. Shoham, Y. & Leyton-Brown, K. “Multiagent systems: Algorithmic, game-theoretic, and logical foundations”. *Cambridge: Cambridge University Press*, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9780511811654>.
16. Wauters, M. & Vanhoucke, M. “Support vector machine regression for project control forecasting”. *Automation in Construction*. 2014; 47: 92–106. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.07.014>.
17. Pellerin, R. & Perrier, N. “A review of methods, techniques and tools for project planning and control”. *International Journal of Production Research*. 2019; 57 (7): 2160–2178. DOI: <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1524168>.
18. He, N., Zhang, D. Z. & Yuce, B. “Integrated multi-project planning and scheduling: a multiagent approach”. *European Journal of Operational Research*. 2022; 302 (2): 688–699. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2022.01.018>.
19. Hodovychenko, M. A., Lobachev, M. V., Boeiv, O. P., Linnyk, O. O. & Horalik, O. E. “Adaptive and coordinated IT project management in dynamic environments: a multi-agent AI perspective”. *Applied Aspects of Information Technology*. 2026; 9 (2): 208–219. DOI: <https://doi.org/10.15276/ait.09.2026.15>.
20. Hodovychenko, M. A., Lobachev, M. V., Linnyk, O. O., Horalik, O. Y. & Revenko, P. H. “Coordinated decision support for IT projects using multi-agent artificial intelligence systems”. *Herald of Advanced Information Technology*. 2026; 9 (3): 429–442. DOI: <https://doi.org/10.15276/hait.09.2026.28>.

Отримано 29.07.2026

Отримано після перегляду 30.08.2026

Прийнято 04.09.2026

DOI: <https://doi.org/10.15276/ict.03.2026.23>

UDC 004.8:005.8

A model of context-dependent coordination and a method for the adaptive selection of interaction mechanisms between AI agents in IT project management

Oleksii Y. Horalik

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-4395-8090>; oleksii.goralik@stud.op.edu.ua
Odesa Polytechnic National University, 1, Shevchenko Av. Odesa, 65044, Ukraine

ABSTRACT

This article addresses the challenge of adapting the coordination of specialized artificial intelligence agents to the dynamic state of an IT project. It is demonstrated that a static composition of agents and a pre-defined mechanism of interaction do not simultaneously ensure the required quality and speed of decision-making when requirements, deadlines, resources, conflicts and risks change. For the first time, a model of context-dependent coordination of specialized AI agents has been developed, which forms the complete configuration of the team based on the assessed state of the project: active agents, roles, communication links, coordination mechanism, weights and level of autonomy. Unlike static architectures, the model filters out structurally and normatively unacceptable configurations, assesses expected performance in the current context, and takes into account the cost of reconfiguration. A method for the adaptive selection and switching of coordination mechanisms for AI agents has been developed for the first time. The method derives a coordination requirement profile, generates a set of admissible mechanisms and performs a robust ranking of these based on decision-making quality and speed, suitability for the level of conflict, communication costs, risk and the results of previous application in similar contexts. A switch is made only when the advantage of the new mechanism exceeds an adaptive threshold, taking into account uncertainty, the structural cost of transition and the level of coordination required. In the absence of a viable option, a safe human-controlled mechanism is used. Experimental testing was carried out on an IT project scenario involving eighteen developers, three sub-teams, one hundred and twenty user stories and six two-week sprints. Compared with the best fixed mechanism, the proposed approach increased the average decision quality from zero point eight two to zero point nine zero, reduced the delay from five point one to three point six minutes, reduced residual conflict from zero point two three to zero point one two, and reduced normalised communication costs from zero point six one to zero point four seven. Ablation of the historical evaluation and hysteresis confirmed the contribution of these components to the quality and stability of the selection.

Keywords: Multi-agent systems; specialized AI agents; IT project management; context-dependent coordination; adaptive mechanism selection; mechanism switching; communication costs; human oversight

ІНФОРМАЦІЯ ПРО АВТОРА



Горалік Олексій Євгенович - аспірант, кафедра Штучного інтелекту та аналізу даних. Національний університет «Одеська політехніка», пр. Шевченка, 1. Одеса, 65044, Україна

Галузь досліджень: управління IT-проєктами, інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень, управління ризиками, динаміка складних систем, розробка програмного забезпечення

Oleksii Y. Horalik - postgraduate, Artificial Intelligence and Data Analysis Department, Odesa Polytechnic National University, 1, Shevchenko Av. Odesa, 65044, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-4395-8090>; oleksii.goralik@stud.op.edu.ua

Research field: IT project management, intelligent decision support systems, risk management, dynamics of complex systems, software development