

DOI: <https://doi.org/10.15276/ict.03.2026.64>

УДК 004.8:005.8

Багаторівнева модель колективного формування рішень та метод переговорного розподілу завдань і ресурсів ІТ-проєкту

Горалік Олексій Євгенович¹⁾

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

Кузнецов Віталій Вадимович²⁾

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8169-4598>; witjane20002014@gmail.com

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

²⁾ Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2. Дніпро, 49010, Україна

АНОТАЦІЯ

Стаття присвячена проблемі переходу від множини локальних, неповних і потенційно суперечливих пропозицій спеціалізованих агентів штучного інтелекту до узгодженого управлінського рішення та його виконанню ресурсного забезпечення в ІТ-проєкті. Показано, що окреме застосування голосування, централізованого арбітражу або жадібного призначення виконавців не забезпечує одночасно стійкості рішення, контрольованої автономності та узгодженого розподілу взаємозалежних завдань. Удосконалено багаторівневу модель координації та колективного формування рішень спеціалізованими ІІІ-агентами. Модель поєднує розподілений моніторинг, версійне формування робочої множини рішень, рольовий і ваговий кворум, робастне агрегування оцінок, перевірку стабілізації, визначення колективної впевненості та регламентований вибір маршруту людського контролю. На відміну від разового голосування, результатом є не лише обрана альтернатива, а простежуване рішення, підготовлене до декомпозиції та двофазної диспетчеризації. Набув подальшого розвитку метод переговорного розподілу завдань і ресурсів ІТ-проєкту. Метод формує версійні лоти та пакетні пропозиції, враховує відповідність компетенцій, часову виконуваність, вартість, поточне навантаження, втому, ризик і гарантію виконання, а також спільно оптимізує розподіл взаємозалежних дій. Контекстний вибір протоколу, двофазне укладання контрактів і локальні повторні переговори забезпечують стійкість домовленостей та обмежують масштаб реконфігурації після відмов. Експериментальна перевірка складалася з двох частин. Для колективного формування рішень загальна частка розв'язаних конфліктів становила нуль цілих дев'яносто одну соту, індекс стійкості – нуль цілих вісімдесят сім сотих, а частка автономної диспетчеризації досягла нуля цілих вісімдесят однієї соті. У задачі розподілу ресурсів запропонований метод скоротив середню тривалість проєкту зі ста сорока двох до ста двадцяти чотирьох днів, знизив коефіцієнт Джині до нуля цілих вісімнадцяти сотих, частоту перевантаження – до чотирьох відсотків, а ймовірність відмови критичного шляху – до нуля цілих сімнадцяти сотих.

Ключові слова: мультиагентні системи, спеціалізовані ІІІ-агенти, колективне формування рішень, багаторівнева координація, переговорний розподіл, задачі ІТ-проєкту, ресурсне планування, людський контроль

Для цитування: Горалік О. Є., Кузнецов В. В. «Багаторівнева модель колективного формування рішень та метод переговорного розподілу завдань і ресурсів ІТ-проєкту». *Інформатика. Культура. Техніка.* 2026; Том 3 № 2 (4): 825–835. DOI: <https://doi.org/10.15276/ict.03.2026.64>

Актуальність. Управління ІТ-проєктом потребує узгодження рішень щодо змісту, строків, ресурсів, якості та ризиків. У динамічному середовищі ці складові змінюються нерівномірно: затримка постачальника може вимагати перенесення робіт, втрата фахівця – перегляду розподілу ролей, а термінова зміна вимог – одночасного коригування плану, бюджету і ризикового резерву. Agile-підходи скорочують цикл зворотного зв'язку [1], [2], [3]. [4], проте оперативне узгодження великої кількості взаємозалежних сигналів залишається навантаженням для керівника проєкту.

Застосування штучного інтелекту в управлінні проєктами охоплює прогнозування строків, оцінювання ризиків, планування ресурсів та підтримку Agile-процесів [5]. [6],[7]. [8], [9]. Спеціалізація ІІІ-агентів дає змогу розподілити спостереження між предметними контурами, але породжує нову проблему: локально коректні пропозиції можуть бути несумісними на рівні проєкту. Агент строків може рекомендувати прискорення, агент ресурсів – обмеження навантаження, агент ризиків – резервування компетентного виконавця, а агент змісту – включення нової функціональності. Без формального колективного контуру система або повертається до одного центра, або виконує взаємно суперечливі дії.

Другою проблемою є розрив між вибором управлінської альтернативи та її виконанням. Навіть узгоджене рішення має бути декомпоновано на дії, пов'язано залежностями, забезпечено виконавцями, часовими вікнами і ресурсами. Незалежне призначення

найкращого виконавця для кожної дії не враховує спільний дефіцит ресурсів, накопичення втрати, ризик перевантаження ключових фахівців і стійкість пакета домовленостей. Тому модель колективного рішення та метод переговорного розподілу мають утворювати один простежуваний контур.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Теоретичні засади інтелектуальних агентів, координації та розподіленого прийняття рішень сформовано у працях М. Вулдріджа, Н. Дженнінгса, П. Стоуна, М. Велозу, В. Лессера та інших дослідників [10], [11], [12], [13]. У класичних мультиагентних системах координація охоплює розподіл ролей, погодження залежних дій, переговори та розв'язання конфліктів. Однак перенесення цих принципів в управління ІТ-проектами потребує явного представлення стану проекту, версій рішень, часових обмежень і маршруту відповідальності людини.

Протокол Contract Net забезпечує децентралізоване оголошення завдань і вибір виконавців [14], а аукціонні та коаліційні механізми дають змогу враховувати дефіцит і взаємозалежність ресурсів [15]. Їх обмеженням у проєктному контексті є переважно локальне оцінювання заявок: вигідне призначення окремої дії може створити перевантаження, порушити послідовність або підвищити ризик критичного шляху. Методи планування і контролю проєктів [16], [17] формалізують строки та ресурсні обмеження, але здебільшого виходять із централізованого формування рішення.

Мультиагентні підходи до багатопроєктного планування підтверджують доцільність переговорної взаємодії [18]. Попередні дослідження авторів визначили інтегровану архітектуру адаптивного управління ІТ-проектом [19] та показали ефективність ризик- і втомуорієнтованого розподілу завдань [20]. Водночас недостатньо формалізованим залишається наскрізний перехід від конфліктних пропозицій агентів до стабілізованого колективного рішення, оцінювання його впевненості, декомпозиції та версійного укладання узгоджених контрактів.

Метою дослідження є підвищення узгодженості, стійкості та виконуваності управлінських рішень в ІТ-проекті шляхом удосконалення багаторівневої моделі колективного формування рішень спеціалізованими ІІІ-агентами та подальшого розвитку методу переговорного розподілу завдань і ресурсів. Для досягнення мети необхідно формалізувати координаційний епізод, установити правила кворуму й робастного агрегування, визначити впевненість та маршрут контролю, сформувати переговорні лоти і спільну модель розподілу, а також експериментально оцінити обидва результати.

Формальна постановка задачі. Нехай у момент часу t узгоджений стан ІТ-проекту задано вектором $x(t)$, а множина активних спеціалізованих агентів – $A(t)$. Агенти формують множину кандидатних управлінських рішень $D(t)$. До колективного оцінювання допускаються лише альтернативи, які виконують усі жорсткі нормативні, часові, ресурсні та безпекові обмеження:

$$D^U(t) = \{d_j \in D(t) \mid h_k(d_j, x(t)) = 1, k = 1, \dots, K\}, \quad (1)$$

де $D^U(t)$ – робоча множина допустимих рішень; d_j – j -та альтернатива; $x(t)$ – стан проєкту; h_k – індикатор виконання k -го жорсткого обмеження; K – кількість обов'язкових обмежень. Відокремлення допустимості від переваги не дозволяє компенсувати критичне порушення високою середньою оцінкою.

Для забезпечення часової узгодженості колективне оцінювання проводиться в межах версійного епізоду:

$$z_D(t) = \langle v, t_0, \hat{x}, D^U, R_A, Q_A, T_D \rangle, \quad (2)$$

де $z_D(t)$ – координаційний епізод; v – його версія; t_0 – момент відкриття; $\hat{x}$ – зафіксований знімок стану; $R_A(t)$ і $Q_A(t)$ – матриці ролей і повноважень агентів; T_D – часовий бюджет. Повідомлення іншої версії не включаються до поточного раунду.

Багаторівнева модель колективного формування рішень. Модель охоплює рівні моніторингу, координації та виконання. Їхні функції та результати наведено в Таблиці 1.

Таблиця 1. Рівні колективного формування і виконання рішень

Рівень	Основні функції	Вхід	Результат
Моніторинг	Спостереження змісту, строків, ресурсів і ризиків	Події, журнали, метрики	Сигнали та локальні оцінки
Координація	Кворум, конфлікти, агрегування, впевненість	Сигнали та пропозиції	Колективне рішення і маршрут контролю
Виконання	Декомпозиція, контракти, диспетчеризація, контроль	Схвалене рішення	Дії, зміна стану і зворотний зв'язок

Джерело: розроблено авторами

Інформаційний обмін між рівнями виконується типізованими повідомленнями. Кожне повідомлення містить ідентифікатор агента, версію стану, часову мітку, тип сигналу або пропозиції, числову оцінку, невизначеність і посилання на використані дані. На рівні координації перевіряються походження, повнота та сумісність повідомлення з відкритим епізодом. Завдяки цьому прострочена оцінка не може змінити вже зафіксоване рішення, а відсутність обов'язкового пояснення розглядається як неповна відповідь, а не як нульова оцінка.

Конфлікти поділяються на цільові, ресурсні, часові, компетентнісні та нормативні. Цільовий конфлікт означає протилежний вплив пропозицій на один показник; ресурсний – претензію на ту саму обмежену місткість; часовий – несумісність вікон виконання; компетентнісний – відсутність виконавця з необхідним профілем; нормативний – порушення політики безпеки або маршруту людського контролю.

Перші чотири типи можуть опрацьовуватися колективним узгодженням, тоді як нормативний конфлікт накладає жорстку заборону або потребує рішення уповноваженої особи.

Ролі в моделі не ототожнюються з постійними агентами. Один агент може виконувати декілька сумісних ролей, а критична роль може мати основного і резервного виконавців. Перепризначення допускається лише між епізодами або до початку раунду; зміна складу оцінювачів усередині раунду створює нову версію. Це забезпечує динамічність конфігурації без втрати причинності та відтворюваності колективного рішення.

Для кожної альтернативи формується множина компетентних оцінювачів:

$$E_j(t) = \{a_i \in A(t) \mid R_{ir}(t)Q_{ij}(t) = 1, c_{ij}(t) \geq c_{\min}\}, \quad (3)$$

де $E_j(t)$ – агенти, допущені до оцінювання рішення d_j ; a_i – i -й агент; $R_{ir}(t)$ – наявність потрібної ролі r ; $Q_{ij}(t)$ – повноваження щодо альтернативи; $c_{ij}(t)$ – компетентність агента; $c_{\min}$ – мінімально допустимий рівень компетентності.

Оцінювання розпочинається лише за наявності кількісного і вагового кворуму:

$$q_j(t) = \mathbb{I}(n_j^{resp} \geq q_N) \mathbb{I}(W_j^{resp}/W_j \geq q_W), \quad (4)$$

де $q_j(t)$ – індикатор кворуму; n_j^{resp} – кількість агентів, які надали чинні відповіді; W_j^{resp} і W_j – сумарна вага відповідей та всіх допущених агентів; q_N – мінімальна кількість оцінювачів; q_W – мінімальна частка їхньої сумарної ваги; $\mathbb{I}(\cdot)$ – індикатор істинності умови.

У кожному раунді r локальні оцінки агрегуються з урахуванням компетентності, історичної надійності й невизначеності:

$$s_j^{(r)}(t) = \frac{\sum_{i \in E_j^{resp}} \omega_{ij}^{(r)} \psi(s_{ij}^{(r)})}{\sum_{i \in E_j^{resp}} \omega_{ij}^{(r)}}, \quad (5)$$

де $s_j^{(r)}(t)$ – колективна оцінка альтернативи; $s_{ij}^{(r)}$ – локальна оцінка; $\omega_{ij}^{(r)} = w_i c_{ij} \rho_i (1 - u_{ij}^{(r)})$ – інтегральна вага, що поєднує контекстну значущість, компетентність, історичну надійність і невизначеність агента; $\psi(\cdot)$ – робастний оператор, який обмежує вплив крайніх значень. Завдяки цьому одна аномальна або малокомпетентна відповідь не визначає колективний результат.

Раунди продовжуються до стабілізації оцінок і збереження одного лідера протягом установленної кількості послідовних раундів.

Умова числової стабілізації має вигляд:

$$\Delta_r = \max_{d_j \in D^{U(t)}} |s_j^{(r)}(t) - s_j^{(r-1)}(t)| \leq \varepsilon_D, \quad (6)$$

де Δ_r – найбільша зміна оцінки між сусідніми раундами; ε_D – допустимий поріг зміни. Додаткова умова незмінності лідера запобігає фіксації рішення в момент випадкового перетину близьких оцінок.

Після стабілізації для кожної альтернативи визначається робастна колективна перевага:

$$B_j = s_j - \lambda_U U_j - \lambda_C C_j - \lambda_R R_j - \lambda_L L_j, \quad (7)$$

де $B_j(t)$ – підсумкова перевага; U_j , C_j , R_j і L_j – нормовані невизначеність, залишкова конфліктність, ризик і затримка; λ_U , λ_C , λ_R , λ_L – контекстні коефіцієнти штрафів. Рішення з максимальною $B_j(t)$ стає основним, а друга за значенням альтернатива використовується для оцінювання розриву.

Колективна впевненість поєднує кворум, невизначеність, конфліктність і перевагу лідера:

$$\gamma_D = q_j^* (1 - U_F) (1 - C_F) \sigma_k (B_F - B_2) \quad (8)$$

де $\gamma_D(t)$ – колективна впевненість; q_j^* – кворум для обраного рішення; U_F і C_F – узагальнені невизначеність та конфліктність; B_F і B_2 – переваги першої і другої альтернатив; $\sigma_k(\cdot)$ – логістична функція з крутизною k . Значення $\gamma_D(t)$ визначає маршрут виконання, наведений у Таблиці 2.

Таблиця 2. Маршрутизація колективного рішення

Умова	Маршрут	Дія системи
$\gamma_D \geq \gamma_A$, вплив допустимий	Автономний	Диспетчеризація після повторної перевірки
$\gamma_H \leq \gamma_D < \gamma_A$	Керівник проєкту	Рекомендація з поясненням і резервною альтернативою
$\gamma_D < \gamma_H$ або високий вплив	Розширений контроль	Передавання набору альтернатив керівнику
Критичний ризик або вето	Керівний комітет	Блокування автономного виконання та ескалація

Джерело: розроблено авторами

Після фіксації рішення формується орієнтований ациклічний граф дій $G^U(t)$. Виконавчий рівень повторно перевіряє версію стану, повноваження, ресурси та передумови. Пов'язані дії спочатку отримують статус підготовки, а остаточно вводяться лише після підтвердження всього сумісного пакета. Така двофазна диспетчеризація запобігає частковому виконанню рішення за відмови одного з критичних учасників.

Метод переговорного розподілу завдань і ресурсів. Якщо дія має декількох потенційних виконавців, потребує дефіцитного ресурсу або залежить від спільного виконання, для неї створюється версійний переговорний лот:

$$\ell_j = \langle u_j, v_j, S_j, e_j, \bar{t}_j, b_j, R_j^{req}, K_j^{req}, \eta_j \rangle, \quad (9)$$

де ℓ_j – лот для дії u_j ; v_j – версія; S_j – множина попередників; e_j і $\bar{t}_j$ – найраніший і найпізніший допустимі моменти виконання; b_j – бюджет; R_j^{req} і K_j^{req} – ресурсні та компетентнісні вимоги; η_j – мінімальна гарантія виконання.

До переговорів допускаються агенти, які мають потрібну роль, повноваження та доступність у часовому вікні. Кожна заявка є перевірюваним пакетом «виконавець – ресурси – строк – вартість – ризик – гарантія». Локальна корисність заявки визначається як:

$$U_{ij} = \beta_M M_{ij} + \beta_F F_{ij} + \beta_G G_{ij} - P_{ij} \quad (10)$$

де U_{ij} – корисність призначення агента a_i на дію u_j ; M_{ij} – відповідність компетенцій; F_{ij} – часова виконувальність; G_{ij} – гарантія; β_M , β_F і β_G – контекстні ваги; $P_{ij} = \beta_C C_{ij} + \beta_L L_{ij} + \beta_R R_{ij} + \beta_T T_{ij}$ – сукупний штраф за вартість, додаткове навантаження і втому, ризик призначення та очікувану затримку.

Протокол переговорів вибирається за структурою задачі, дефіцитом і часовим бюджетом (Таблиця 3). Це дозволяє не запускати комунікаційно дорогі коаліційні переговори для незалежних дій із очевидним виконавцем.

Таблиця 3. Контекстний вибір переговорного протоколу

Контекст	Протокол	Призначення
Незалежні дії, достатня місткість	Спрощений Contract Net	Швидкий вибір серед допустимих заявок
Дефіцит взаємозамінних ресурсів	Багатораундовий аукціон	Узгодження попиту через тіньові ціни
Щільні залежності або спільні ресурси	Пакетні переговори	Спільний вибір сумісного набору призначень
Неподільне коаліційне виконання	Коаліційний протокол	Формування групи виконавців і спільної гарантії
Критичний ризик і малий час	Скорочений протокол	Обмежений раунд із людським підтвердженням

Джерело: розроблено авторами

Початкова тіньова ціна ресурсу h залежить від співвідношення попиту і доступної місткості:

$$\pi_h^{(0)} = \pi_h^{\min} + \kappa_h \max\left(0, \frac{D_h - C_h}{C_h}\right), \quad (11)$$

де $\pi_h^{(0)}$ – початкова тіньова ціна; $\pi_h^{\min}$ – базова ціна; D_h – сумарний попит; C_h – доступна місткість; κ_h – чутливість до дефіциту. У наступних раундах ціна зростає за надлишкового попиту та зменшується після його усунення, спонукаючи агентів перебудовувати ресурсні пакети.

На відміну від незалежного жадібного призначення, метод оптимізує весь сумісний набір заявок:

$$X^* = \operatorname{argmax}_X \left[\sum_{j,i} x_{ij} V_{ij} - P_R(X) - \lambda_G G(X) - \lambda_S S(X) \right], \quad (12)$$

де X^* – обраний розподіл; x_{ij} – ознака призначення агента a_i на дію u_j ; V_{ij} – нормована цінність заявки; $P_R(X)$ – сумарна тіньова вартість ресурсів; $G(X)$ – нерівномірність навантаження; $S(X)$ – нестійкість домовленостей; λ_G і λ_S – штрафні коефіцієнти.

Ключові умови допустимості розподілу охоплюють єдине призначення, ресурсну місткість та індивідуальну раціональність:

$$\sum_i x_{ij} = 1; \quad \sum_j x_{ij} r_{ijh\tau} \leq C_{ih\tau}; \quad U_{ij} \geq U_i^{res} \quad (13)$$

де $r_{ijh\tau}$ – потреба призначення в ресурсі h у момент τ ; $C_{ih\tau}$ – доступна місткість агента; U_i^{res} – резервна корисність агента. Часові залежності графа контролюються окремою умовою: наступна дія починається не раніше завершення попередньої. Порушення будь-якої умови вилучає пакет незалежно від його цільового значення.

Для прийнятого пакета формуються версійні контракти, які фіксують виконавця, ресурси, строк, вартість, гарантію, критерії прийняття та компенсацію. Попереднє прийняття не змінює робочий стан; остаточний коміт виконується після підтвердження всіх пов'язаних контрактів. У разі відмови повторні переговори відкриваються лише для локального околу порушеної дії у графі, що зберігає чинні домовленості та зменшує вартість реконфігурації.

Завершення переговорів визначається не лише часовим лімітом. Пакет фіксується, якщо протягом двох послідовних раундів не змінюється склад призначень, надлишковий попит на дефіцитні ресурси не перевищує встановленого порога, а кожний учасник одержує корисність не нижчу за резервну. Якщо ці умови не виконано до завершення бюджету часу, система повертає найкращий допустимий пакет для людського підтвердження або формує безпечну відмову. Тому часовий дефіцит не перетворює недопустиму домовленість на виконувану.

Обчислювальна складність кворуму й агрегування є лінійною відносно кількості оцінок. Найскладнішим етапом є пакетний розподіл, який за загального графа залежностей має комбінаторну природу. Для практичного застосування спочатку вилучаються недопустимі пари «агент – дія», незалежні компоненти графа розв'язуються окремо, а коаліційний пошук обмежується діями критичного шляху і ресурсами з підтвердженим дефіцитом. Це не змінює умов допустимості та зменшує розмір робочого простору.

Інтегрований алгоритм застосування моделі та методу. Після надходження події система фіксує версію стану, формує робочу множину альтернатив і множини компетентних оцінювачів, перевіряє кворум, проводить раунди агрегування та стабілізації, визначає колективне рішення і впевненість. Після необхідного людського контролю рішення декомпонується на граф дій. За однозначних призначень формується диспетчерський пакет, а за дефіциту або конфлікту запускаються переговори. Після спільної перевірки версій, повноважень, ресурсів і контрактів пакет вводиться атомарно, а фактичний результат повертається до журналу історії.

Коректність забезпечують п'ять інваріантів: недопустима альтернатива не потрапляє до агрегування; усі оцінки належать одній версії; автономний маршрут не може перевищити нормативний рівень; ресурс не резервується двічі; невиконуваний пакет не комітиться частково. За відсутності кворуму, допустимого рішення або стійкого розподілу система переходить до безпечної відмови й передає керівнику причини блокування.

Експериментальна перевірка. Дослідження складалося з двох взаємопов'язаних частин. У першій відтворено розроблення вебплатформи командою з 18 фахівців у трьох підкомандах, беклогом зі 120 користувацьких історій і горизонтом шість двотижневих спринтів. У спринтах 2, 4 і 5 моделювалися розширення змісту, затримка постачальника та втрата ключового фахівця. Пороги автономності й ескалації фіксувалися до експерименту. Оцінювалися частка розв'язаних конфліктів CRR, затримка та індекс стійкості рішення RSI.

Для порівнюваності всі варіанти отримували однакові послідовності подій, локальні оцінки і моменти доступності ресурсів. Конфлікт вважався розв'язаним, якщо зафіксоване рішення не містило взаємовиключних директив і не було скасоване в межах контрольного горизонту. RSI визначав частку повторних запусків із тим самим лідером за малих збурень оцінок. Затримку вимірювали від надходження першого валідного сигналу до фіксації рішення або його передачі людині. Така постановка відокремлює швидкість алгоритму від часу фактичного виконання робіт (Таблиця 4).

Таблиця 4. Результати колективного формування рішень

Показник	Номінальний	Підвищений	Критичний / аварійний	Загалом
Частка розв'язаних конфліктів CRR	0,96	0,89	0,81	0,91
Середня затримка рішення, хв	2,1	3,8	6,4	3,4
Індекс стійкості рішення RSI	0,94	0,83	0,71	0,87

Джерело: розроблено авторами

Загальна частка розв'язаних конфліктів становила 0,91, а індекс стійкості – 0,87. У критичному режимі CRR знизився до 0,81, а затримка зросла до 6,4 хв, оскільки рішення високого впливу передавалися людині. Таке зниження автономності є очікуваною реакцією безпечної системи. До шостого спринту колективна впевненість зросла з 0,71 до 0,89, частка автономної диспетчеризації досягла 0,81, а ефективність пом'якшення ризиків – 0,72. Порівняно з людським Scrum-управлінням середня затримка скоротилася на 68 %, а порівняно з одноагентною системою частка автономної диспетчеризації була більшою на 29 відсоткових пунктів [19].

У другій частині використано модифіковані набори PSPLIB J30 і J60 з компетентнісними вимогами Backend, Frontend, DevOps і QA. Віртуальна команда містила двох Senior, чотирьох Middle, трьох Junior розробників і двох QA-інженерів. Моделювалися випадкові затримки, недоступність старшого розробника після 30 % виконання і додавання 15 % високопріоритетних завдань після 50 % виконання. Для кожного сценарію проведено 1000 ітерацій Монте-Карло. Метод порівнювався зі статичним CPM, жадібним динамічним призначенням і DRL-планувальником [20].

Для кожної ітерації зберігалися тривалість проєкту, простій, перевантаження, коефіцієнт Джині завантаження, затримка адаптації та факт відмови критичного шляху. Базові підходи використовували ті самі компетентнісні й ресурсні обмеження, але відрізнялися способом вибору: CPM не змінював початкові призначення, жадібний підхід локально обирав найкращу доступну заявку, а DRL застосовував попередньо навчену політику. Це дозволило оцінити внесок саме спільного переговорного узгодження, а не перевагу від додаткових вхідних даних (Табл. 5).

Запропонований метод скоротив середню тривалість проєкту до 124 днів: на 12,7 % порівняно зі статичним CPM, на 8,1 % порівняно з жадібним призначенням і на 3,1 % порівняно з DRL. Стандартне відхилення 6,2 дня підтверджує підвищення стійкості розкладу. Коефіцієнт Джині 0,18 був на 48,6 % нижчим, ніж у жадібного підходу, а частота перевантаження знизилася з 22 % до 4 % завдань. Імовірність відмови критичного шляху становила 0,17 завдяки включенню ризику до корисності заявки.

Обговорення результатів. Експеримент підтвердив взаємодоповнюваність двох наукових результатів. Багаторівнева модель забезпечує логічну узгодженість рішення: відсіює недопустимі альтернативи, залучає компетентних агентів, обмежує вплив аномальних оцінок і визначає достатній рівень людського контролю. Переговорний метод забезпечує операційну виконуваність: добирає сумісний пакет виконавців і ресурсів, контролює часові залежності, навантаження, ризик і стійкість контрактів.

Запропонований метод скоротив середню тривалість проєкту до 124 днів: на 12,7 % порівняно зі статичним CPM, на 8,1 % порівняно з жадібним призначенням і на 3,1 % порівняно з DRL. Стандартне відхилення 6,2 дня підтверджує підвищення стійкості розкладу. Коефіцієнт Джині 0,18 був на 48,6 % нижчим, ніж у жадібного підходу, а частота перевантаження знизилася з 22 % до 4 % завдань. Імовірність відмови критичного шляху становила 0,17 завдяки включенню ризику до корисності заявки.

Таблиця 5. Результати переговорного розподілу завдань і ресурсів

Показник	CPM / статичний	Жадібний	DRL	Розроблений метод
Середня тривалість, днів	142	135	128	124
Стандартне відхилення, днів	18,4	12,7	8,9	6,2
Середній простій, %	18,4	12,1	10,2	8,5
Перевантаження, % завдань	–	22	9	4
Коефіцієнт Джині	0,42	0,35	0,24	0,18
Затримка адаптації, с	0,8	1,4	3,7	2,1
Відмова критичного шляху	0,31	0,26	0,19	0,17
Попереднє навчання	ні	ні	так	ні

Джерело: розроблено авторами

Перевага не зводиться до збільшення кількості повідомлень або раундів. У номінальному режимі більшість рішень завершується після короткого узгодження, а складні переговорні протоколи активуються лише за дефіциту чи щільних залежностей. У критичному режимі зростання затримки супроводжується посиленням людського контролю, тому не є прихованою деградацією. Для ресурсного контуру тіньові ціни та пакетний вибір запобігають локально вигідним, але глобально конфліктним призначенням.

Практичне значення полягає в можливості інтегрувати модель і метод у програмні засоби управління ІТ-проектами як простежуваний контур. Журнал епізоду пов'язує версію стану, допущені альтернативи, учасників кворуму, внески оцінок, упевненість, маршрут погодження, граф дій, заявки, контракти й фактичний результат. Це дає змогу пояснити як автономне виконання, так і блокування або ескалацію рішення.

Реалізаційно модель не вимагає єдиного типу ШІ для всіх агентів. Моніторинговий агент може використовувати правила, статистичну модель або мовну модель; критичною є стандартизація його вихідного повідомлення та оцінки невизначеності. Аналогічно переговорний агент не зобов'язаний розкривати внутрішню політику формування заявки, але має надати перевірювані ресурси, строк, вартість, ризик і гарантію. Такий поділ зберігає модульність і дає змогу замінювати локальні моделі без зміни логіки колективного контуру.

Основним обмеженням є використання контрольованих та імітаційних сценаріїв. Вони не повністю відтворюють неповні журнали, неформальні комунікації, стратегічну поведінку учасників і корельовані ризики реальних команд. Подальше дослідження має охопити пілотне застосування, калібрування ваг за фактичними результатами та аналіз масштабованості за зростання кількості одночасних дій і агентів.

Висновки. Удосконалено багаторівневу модель координації та колективного формування рішень спеціалізованими ШІ-агентами. Її відмінністю є поєднання версійного епізоду, жорсткого відсіву, рольового і вагового кворуму, робастного агрегування, ітеративної стабілізації, оцінювання колективної впевненості та регламентованого людського контролю. Модель формує не лише обрану альтернативу, а простежуване рішення, підготовлене до контрольованого виконання.

Набув подальшого розвитку метод переговорного розподілу завдань і ресурсів ІТ-проекту. Метод ураховує компетентність, часову виконуваність, вартість, навантаження, втому, ризик і гарантію; спільно оптимізує взаємозалежні призначення; використовує тіньові ціни, двофазні контракти й локальні повторні переговори. Це забезпечує узгодження інтересів агентів із ресурсними та часовими обмеженнями проекту.

Експериментально підтверджено, що колективний контур забезпечує CRR 0,91, RSI 0,87 та автономну диспетчеризацію 0,81. Переговорний метод скоротив середню тривалість проекту до 124 днів, зменшив нерівномірність навантаження до 0,18, частоту перевантаження до 4 % та ймовірність відмови критичного шляху до 0,17. Отримані

результати підтверджують доцільність наскрізного поєднання колективного формування рішення з переговорним ресурсним контуром.

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 (ШІ): Автори підтверджують, що не застосовували інструментальні засоби ШІ для написання цієї роботи

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

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., Balijepally, 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): 15–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*. Montreal, Canada. 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: [10.1016/j.ejor.2022.01.018](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/aait.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 02.09.2026

Отримано після перегляду 05.10.2026

Прийнято 12.10.2026

DOI: <https://doi.org/10.15276/ict.03.2026.64>

UDC 004.8:005.8

A multi-level model of collective decision-making and a negotiation method for IT project task and resource allocation

Oleksii Y. Horalik¹⁾

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

Vitalii V.Kuznetsov²⁾

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8169-4598>; witjane20002014@gmail.com

¹⁾ Odesa Polytechnic National University, 1, Shevchenko Av. Odesa, 65044, Ukraine

²⁾ Ukrainian State University of Science and Technologies, 2, Lazariana St. Dnipro, 49010, Ukraine

ABSTRACT

The article addresses the transition from local, incomplete and potentially conflicting proposals of specialized artificial intelligence agents to an agreed management decision and an executable allocation of IT project tasks and resources. Separate use of voting, centralized arbitration or greedy assignment does not simultaneously provide decision stability, controlled autonomy and consistent allocation of interdependent actions. A multi-level model of coordination and collective decision-making by specialized AI agents has been improved. The model combines distributed monitoring, versioned formation of the feasible decision set, role-based and weighted quorum, robust aggregation, iterative stabilization, collective confidence assessment and regulated human oversight. Unlike one-shot voting, the model produces a traceable decision prepared for decomposition and two-phase dispatch. The negotiation method for IT project task and resource allocation has been further developed. It creates versioned lots and package bids, considers competence matching, temporal feasibility, execution cost, current workload, fatigue, assignment risk and performance guarantees, and jointly optimizes interdependent assignments. Context-dependent protocol selection, two-phase contracting and local renegotiation improve agreement stability and limit reconfiguration after a failure. The experimental evaluation comprised two parts. The collective decision model achieved an overall conflict resolution rate of zero point nine one, a decision stability index of zero point eight seven and an autonomous dispatch rate of zero point eight one. In resource allocation, the proposed method reduced mean project duration from one hundred forty-two to one hundred twenty-four days, lowered the Gini coefficient to zero point one eight, reduced overload frequency to four percent and decreased critical-path failure probability to zero point one seven.

Keywords: multi-agent systems, specialized AI agents, collective decision-making, multi-level coordination, negotiation-based allocation, IT project tasks, resource scheduling, human oversight

ІНФОРМАЦІЯ ПРО АВТОРІВ



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

Галузь досліджень: управління IT-проектами, 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



Кузнецов Віталій Вадимович - канд. техніч. наук, доцент, кафедра Електричної інженерії, Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2. Дніпро, 49010, Україна

Галузь досліджень: управління IT-проектами, управління ризиками, електропривод і електромеханічні системи, енергоефективне керування, математичне моделювання, штучні нейронні мережі та цифрові двійники

Vitalii V. Kuznetsov – Candidate of Technical Science, Assistant Professor, Department of Electrical Engineering, Ukrainian State University of Science and Technologies, 2, Lazariana St. Dnipro, 49010, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8169-4598>; witjane20002014@gmail.com

Research field: IT project management, risk management, electric drives and electromechanical systems, energy-efficient control, mathematical modeling, artificial neural networks, and digital twins