

DOI: <https://doi.org/10.15276/ict.03.2026.62>

УДК 004.89:005.8:004.4

Метод багатокритеріального призначення ресурсів ІТ-проєкту колективом спеціалізованих агентів штучного інтелекту

Босєв Олександр Петрович¹⁾

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-5628-2359>; faust040404@stud.op.edu.ua

Забарна Елеонора Миколаївна¹⁾

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2659-5909>; e.m.zabarna@op.edu.ua. Scopus Author ID: 57219289565

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

АНОТАЦІЯ

У статті запропоновано метод багатокритеріального призначення ресурсів ІТ-проєкту колективом спеціалізованих агентів штучного інтелекту. **Метод призначено** для локального або часткового перепланування, коли подія порушує початкове призначення виконавця, обмеження за строком, завантаженням чи ризиком. На відміну від централізованого вибору за єдиним зваженим показником, підхід розділяє формування оцінок між агентами компетентності, вартості, завантаження і втому, ризику та координації. Кожен агент подає обґрунтовану пропозицію і множину обмежень, а координатор узгоджує суперечливі оцінки через обмежені переговори та повторну перевірку здійсненності. Ресурс подано профілем, що містить компетентності, ставку або вартість, поточне завантаження, накопичену втому, ризик виконання і доступність. Для кожного незакритого завдання формується допустима множина ресурсів, після чого обчислюються порівнювані часткові оцінки. Ваги агентів залежать від впевненості у локальній оцінці, історичної результативності та актуальності спостережень. Це дає змогу зменшити вплив застарілої або ненадійної інформації без відмови від спеціалізації агентів. Виконано імітаційне дослідження на шістдесяти базових проєктних графах і шести типах порушувальних подій. Запропонований метод порівнювався зі збереженням початкових призначень, вибором найкомпетентнішого або найдешевшого ресурсу, балансуванням навантаження та централізованим зваженим критерієм. За інтенсивних подій метод зменшив частку жорстких порушень порівняно з найсильнішим базовим варіантом, централізованим критерієм, на тридцять шість цілих вісімдесят чотири сотих відсотка, а нормовану фактичну втрату – на одинадцять цілих шістдесят чотири сотих відсотка. Абляційна перевірка підтвердила окремий внесок урахування втому, ризику і переговорного узгодження. **Практичне значення** методу полягає у можливості включення його до контуру адаптивного управління ІТ-проєктом. Він повертає не лише призначення, а й журнал обґрунтувань, невирішені конфлікти та рівень упевненості, що підтримує контрольовану автономність системи.

Ключові слова: ІТ-проєкт; призначення ресурсів; штучний інтелект; мультиагентна система; координація агентів; переговори; багатокритеріальна оптимізація; перепланування

Для цитування: Босєв О. П., Забарна Е. М. “Метод багатокритеріального призначення ресурсів ІТ-проєкту колективом спеціалізованих агентів штучного інтелекту”. *Інформатика. Культура. Техніка.* 2026; Том 3 № 2 (4): 802–812. DOI: <https://doi.org/10.15276/ict.03.2026.62>

Актуальність. План ІТ-проєкту є поєднанням залежностей між завданнями, строків, обмежених ресурсів і прийнятих правил виконання. На практиці він не зберігає незмінності: виконавець може стати недоступним, оцінка трудомісткості – зрости, у критичному завданні – виявитися дефект, а пріоритет замовника – змінитися. Для таких ситуацій недостатньо разово знайти ресурс із найнижчою вартістю або найвищою компетентністю. Нове призначення має бути здійсненим, не створювати прихованого перевантаження і не переносити неприйнятний ризик у наступні роботи.

Класичні постановки resource-constrained project scheduling problem описують обмеження ресурсів і календарні залежності, однак часто припускають фіксовані параметри ресурсів або зводять їх до одновимірної потужності [1], [5], [6]. У проєктній команді ресурсом є людина чи сервіс із неоднаковими компетентностями, вартістю, поточною зайнятістю та історією виконання. Через це призначення, оптимальне для одного показника, може виявитися неприйнятним для іншого: найдешевший виконавець не володіє потрібною технологією, а найкомпетентніший уже перевантажений критичними роботами.

Невизначеність посилює проблему. У динамічному середовищі рішення оцінюються не тільки безпосередньою вартістю, а й тим, чи зберігає воно життєздатність плану за можливих затримок, повторних робіт і змін доступності [2], [3], [4]. Звідси впливає потреба у локальному механізмі, який може оперативного переоцінити кандидатів, пояснити компроміс і передати на затвердження лише ті варіанти, що задовольняють жорсткі умови.

Мультиагентний підхід забезпечує природне розподілення такої оцінки. Спеціалізований агент може підтримувати власну модель критерію, а механізм переговорів – узгоджувати обмеження й пропозиції без приховування конфлікту за усередненим балом [8], [9], [10], [11], [12], [13]. Водночас більшість відомих протоколів розподілу завдань розглядає однорідних агентів або не пов'язує процес торгування з динамічними характеристиками ресурсу, зокрема накопиченою втомою і свіжістю даних [10], [11], [12], [13].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Огляд робіт із планування за обмежених ресурсів показує, що найбільш поширеними є евристики календарного вирівнювання, метаевристичні алгоритми та багатокритеріальні моделі [1], [6], [14]. Їхньою перевагою є формальна визначеність цільової функції, а недоліком – потреба заздалегідь централізовано задати ваги критеріїв і доступність ресурсів. У ситуації подієвого перепланування ваги стають контекстними: наприклад, за загрози зриву критичного етапу зростає значущість строку й ризику, а за тривалого перевантаження – значущість відновлення команди.

Багатонавичкове планування персоналу враховує відповідність навичок потребам робіт [15], [16]. Проте типові моделі задають компетентність як фіксовану матрицю, не розрізняють упевненість у відомостях і не пояснюють, як розв'язувати конфлікт між підсистемами оцінювання. Дослідження про втому вказують, що накопичене навантаження змінює імовірність помилки та продуктивність, тому воно має бути не лише післяфактумним показником, а обмеженням призначення [17], [18].

Методи координації автономних агентів пропонують протоколи контрактної мережі, переговорні функції поступок і коаліційне формування [10], [11], [12]. Вони добре описують обмін пропозиціями, але для управління ІТ-проектом необхідно додати: перевірку календарно-ресурсної здійсненності після кожної поступки, облік історичної результативності агентів і маршрутизацію конфліктного рішення до людини. Ці вимоги визначають розрив між загальним розподілом задач у мультиагентних системах і конкретним призначенням проектних ресурсів.

Отже, задачею дослідження є розроблення методу багатокритеріального призначення ресурсів ІТ-проекту колективом спеціалізованих ІІІ-агентів, який: формує допустиму множину кандидатів; оцінює відповідність компетенцій, вартість, завантаження, втому і ризик; виявляє суперечності між локальними пропозиціями; проводить обмежене переговорне узгодження; повторно перевіряє здійсненність; повертає призначення разом із поясненням та індикатором упевненості.

Метою дослідження є підвищення обґрунтованості ресурсних призначень під час адаптивного перепланування ІТ-проекту через колективну координацію спеціалізованих ІІІ-агентів. Для досягнення мети поставлено завдання: формалізувати динамічний профіль ресурсу та допустимі призначення; визначити локальні критерії і правила формування пропозицій; розробити переговорну процедуру з урахуванням компетентності, історичної результативності та актуальності інформації; виконати імітаційне порівняння запропонованого методу з базовими стратегіями.

Матеріали та метод. Розглянемо момент прийняття рішення t , у якому подія $e(t)$ порушила одне або кілька попередніх ресурсних призначень. Нехай $T(t)$ – множина незавершених завдань, для яких необхідно зберегти або змінити виконавця, а $R(t)$ – доступний пул людських або сервісних ресурсів. Завдання і характеризується вимогами K_i^{req} , очікуваною трудомісткістю d_i , дедлайном τ_i , критичністю κ_i та допустимим ризиком ρ_i^{max} .

Профіль ресурсу наведено у формулі (1)

$$R(t) = \{r_j \mid K_j, c_j, l_j(t), f_j(t), \rho_j(t), a_j(t)\}. \quad (1)$$

Тут K_j – вектор компетентностей; c_j – нормована ставка або вартість; $l_j(t)$ – частка вже запланованого навантаження; $f_j(t)$ – індекс накопиченої втоми; $\rho_j(t)$ – поточна оцінка ризику виконання; $a_j(t)$ – ознака доступності.

Втома не трактується як медичний показник, це управлінський індекс, який агрегує тривалість безперервної роботи, частку наднормових призначень і повторювані термінові зміни. Його значення оновлюється з журналу проєкту та може бути замінено організаційно прийнятною моделлю.

На першому кроці агент здійсненності відкидає кандидатів, що не виконують обов’язкові вимоги. Для кожного завдання формується множина $F_i(t)$ відповідно до формули (2). Позначення $K_j \geq K_i^{req}$ означає відповідність мінімальному профілю навичок, а f^{max} – поріг, після якого призначення забороняється незалежно від інших переваг.

$$F_i(t) = \{r_j \in R(t): a_j = 1, K_j \geq K_i^{req}, l_j + d_i \leq 1, f_j \leq f^{max}\}. \quad (2)$$

Якщо $F_i(t)$ порожня, система не імітує вибір. Вона формує повідомлення про дефіцит компетенції або доступності, пропонує варіанти декомпозиції завдання, залучення зовнішнього ресурсу чи перегляду строку і передає його координатору. Така поведінка не дозволяє маскувати неможливе призначення високим сумарним балом (Таблиця 1).

Таблиця 1. Функціональна спеціалізація агентів

Агент	Локальна відповідальність	Результат повідомлення
A_1 – компетентності	Порівнює профіль K_j з потребою завдання, враховує підтверджений досвід	Рейтинг відповідності, критичні прогалини
A_2 – вартості	Оцінює пряму вартість, очікувані витрати повторної роботи	Нормована вартість та пояснення
A_3 – навантаження і втоми	Перевіряє $l_j(t)$, прогнозує $f_j(t + 1)$, визначає перевантаження	Обмеження та рекомендований резерв
A_4 – ризику	Оцінює ймовірність зриву, залежності, свіжість вихідних даних	Ризик і перелік умов застосування
A_5 – координації	Виявляє конфлікти, організовує переговори, веде журнал	Узгоджений кандидат, упевненість, маршрут

Джерело: розроблено авторами

Після фільтрації агенти формують порівнювані часткові оцінки. Для кандидата r_j на завдання і агент компетентності обчислює $q_{ij}^K \in [0; 1]$, агент вартості – q_{ij}^C , агент навантаження – q_{ij}^L , агент втоми – q_{ij}^F , а агент ризику – q_{ij}^R . Високе q^K означає кращу відповідність, тоді як інші компоненти є нормованими втратами. Локальна корисність, запропонована координатору, має вигляд (3).

$$u_{ij}(t) = w_K q_{ij}^K - w_C q_{ij}^C - w_L q_{ij}^L - w_F q_{ij}^F - w_R q_{ij}^R. \quad (3)$$

Формула (3) використовується лише для побудови пропозиції агента, а не як остаточна централізована цільова функція. Коефіцієнти w_K, w_C, w_L, w_F, w_R встановлюються профілем проєкту і можуть змінюватися залежно від типу події. Наприклад, при раптовій недоступності ключового виконавця координатор підвищує вагу компетентності та ризику, але не скасовує обмеження за втомою. Таким чином, доменна політика впливає на порядок альтернатив, проте не дозволяє порушити жорсткі правила.

Для події $e(t)$ ініціатор формує запит $Q_i = \{i, F_i(t), e(t), D_i\}$, де D_i містить строк, критичність і контекст. Агенти A_1 – A_4 надсилають відповіді $o_{ki}(t) = (\text{ранжування, обмеження, пояснення, } h_{ki})$, де $h_{ki} \in [0; 1]$ – локальна впевненість. Впевненість зменшується, якщо дані про навички застаріли, доступність не підтверджена або оцінка ризику має широкий інтервал. Координатор не усереднює лише бали: він формує матрицю конфлікту, у якій фіксує пари агентів, що висувають несумісні вимоги.

Наприклад, агент вартості може пропонувати найдешевший ресурс, а агент ризику – забороняти його через нестачу досвіду у критичній технології. Координатор спочатку перевіряє, чи має конфлікт жорсткий характер. Якщо так, пропозицію вилучають; якщо ні,

агентам дозволяється зробити одну обмежену поступку – змінити кандидатуру, уточнити оцінку після отримання додаткової інформації або запропонувати парне призначення «основний виконавець – рецензент». Максимальна кількість раундів дорівнює трьом, що обмежує затримку перепланування.

Рішення подається як багатокритеріальний вибір з пріоритетом жорсткої здійсненності. Серед допустимих варіантів мінімізуються нормована фактична втрата J , кількість жорстких порушень H і дисбаланс навантаження B , як показано у формулі (4).

$$x^*(t) = \arg \min_{x \in X(t)} [J(x, t), H(x, t), B(x, t)]. \quad (4)$$

Після кожного раунду координатор повторно перевіряє календарні залежності, сумарне навантаження, сумісність компетенцій та обмеження ризику. Якщо одночасне призначення кількох завдань створює конфлікт, розглядається не ізольована пара «завдання – ресурс», а невелика локальна компонента графа залежностей. Це відрізняє метод від незалежного ранжування кандидатів.

Вплив агента на координаційне рішення визначається не посадою агента, а якістю його поточної інформації. Нормований ваговий коефіцієнт $w_k(t)$ обчислюється за формулою (5), де $h_k(t)$ – впевненість у конкретній оцінці, $\eta_k(t)$ – історична результативність прогнозів агента, $v_k(t)$ – актуальність даних. Історична результативність оновлюється лише після завершення відповідних завдань, тому поточне рішення не може «підтвердити» саме себе.

$$w_k(t) = \frac{h_k(t)\eta_k(t)v_k(t)}{\sum_{m=1}^K h_m(t)\eta_m(t)v_m(t)}. \quad (5)$$

Узгоджене рішення містить призначення x^* , запасні кандидатури, перелік активних обмежень, колективну впевненість і маршрут застосування. Якщо впевненість нижча за поріг або компроміс збільшує ризик критичного завдання, рішення позначається як таке, що потребує підтвердження менеджером. Отже, автоматизація прискорює аналіз, але не усуває відповідальність людини за виняткові ситуації.

Процедура призначення реалізується послідовно – фіксується подія, формується допустима множина, агенти готують локальні оцінки, координатор визначає конфлікти, після чого виконується обмежене узгодження й повторна перевірка. Це відокремлює пошук здійснених альтернатив від вибору переважної альтернативи та унеможливорює приховану компенсацію критичних обмежень (Таблиця 2).

Таблиця 2. Етапи процедури багатокритеріального призначення

Етап	Операція	Результат
1	Реєстрація події $e(t)$ і визначення порушених призначень	Локальна множина завдань для перепланування
2	Фільтрація ресурсів за доступністю, компетентністю, місткістю та втомою	Допустимі множини $F_i(t)$ або повідомлення про дефіцит
3	Формування агентних пропозицій і локальної впевненості	Ранжування, обмеження та пояснення
4	Виявлення конфліктів і до трьох раундів переговорів	Узгоджені або ескальовані альтернативи
5	Повторна календарно-ресурсна перевірка	Призначення, запасний кандидат і журнал рішення

Джерело: розроблено авторами

Параметри методу мають інтерпретований характер. Пороги доступності, допустимого навантаження та втоми належать до політики організації, а не виводяться з одного універсального набору даних. Тому їх можна налаштовувати під тип проєкту, не змінюючи послідовність перевірок, склад локальних оцінок і вимогу до пояснюваності рішення.

Для усунення непорівнюваності локальних оцінок усі агенти передають не «сирі» значення, а нормовані характеристики та межі їх достовірності. Агент компетентності фіксує

не тільки підсумковий бал, а й перелік обов'язкових і бажаних навичок. Агент вартості розділяє пряму ставку, витрати на залучення та очікувані витрати повторної роботи. Агент навантаження і втомі подає окремо поточну частку зайнятості, прогнозну зайнятість після призначення та причину наближення до порогу. Така структура дозволяє координатору виявляти, який саме показник є підставою для відхилення кандидата.

Актуальність локальної оцінки визначається часом її останнього підтвердження і тим, чи змінилися пов'язані із завданням обставини. Наприклад, запис про технологічну компетентність залишається корисним довше, ніж календарна доступність ресурсу; натомість оцінка ризику може втратити актуальність після появи нового дефекту або зміни архітектурного рішення. Координатор враховує це під час зважування голосів, але не переписує локальні повідомлення. У журналі зберігається початкова оцінка, її пояснення та причина можливого зниження впливу (Таблиця 3).

Таблиця 3. Структура повідомлення спеціалізованого агента

Поле повідомлення	Зміст	Використання координатором
Ідентифікатор завдання	Завдання, подія-ініціатор, момент формування	Зв'язування пропозицій одного циклу
Кандидат і позиція	Ресурс, місце в ранжуванні, запасний варіант	Побудова спільної множини альтернатив
Оцінка критерію	Нормоване значення та інтервал невизначеності	Порівняння без змішування шкал
Обмеження	Жорсткі заборони й м'які умови застосування	Вилучення або переговорне опрацювання
Пояснення і впевненість	Підстава оцінки, свіжість даних, рівень h_k	Вагове узгодження й аудит рішення

Джерело: розроблено авторами

Конфлікти пропозицій класифікуються за трьома ознаками. Конфлікт здійсненності виникає, коли хоча б один агент підтверджує порушення жорсткого обмеження; такий варіант не переходить до торгування. Конфлікт пріоритетів має місце, коли всі умови виконуються, але агенти обирають різних кандидатів через різний порядок важливості критеріїв. Конфлікт даних виникає, коли агенти використовують різні або несинхронні відомості про той самий ресурс. Для останнього типу координатор запитує уточнення, а не обчислює середнє значення з неузгоджених фактів.

Поступка агента має обмежену форму. Агент може погодитися з наступним кандидатом власного ранжування, зменшити впевненість у пропозиції після виявлення неактуальних даних або запропонувати захисний захід.

Прикладом такого заходу є призначення досвідченого виконавця на короткий критичний підетап, а менш завантаженого фахівця – на наступну некритичну частину роботи; іншим варіантом є обов'язкове рецензування результату. Агент не має права знімати жорстке обмеження іншого агента, оскільки це перетворило б переговори на механізм обходу політики проєкту.

Колективна впевненість формується тільки для альтернатив, що пройшли повторну перевірку. Вона зменшується зі зростанням кількості невирішених м'яких конфліктів, зниженням актуальності даних або необхідністю використання запасного кандидата. Якщо значення нижче від заданого порогу, координатор не блокує роботу автоматично, а змінює маршрут застосування: рішення передається менеджеру проєкту разом із двома або трьома поясненими варіантами. Отже, метод підтримує контрольовану автономність, а не замінює управлінську відповідальність.

Важливою властивістю є локальність обчислень. Подія не запускає повне формування нового плану, якщо її наслідок обмежено невеликою множиною завдань і ресурсів. Координатор розглядає лише завдання, пов'язані залежностями з порушеним призначенням, і ресурси, для яких може змінитися сумарне завантаження.

Повне перепланування ініціюється окремим контуром лише тоді, коли локальне призначення не відновлює здійсненність або кількість взаємопов'язаних порушень перевищує заданий поріг.

Запропонований підхід відрізняється від простого рейтингу ще й тим, що повертає відтворюваний слід рішення. До журналу заносяться подія-ініціатор, первинні кандидатури, усі застосовані фільтри, локальні оцінки, раунди поступок, остаточне призначення та причини ескалації. Такий журнал може використовуватися для післяпроектного аналізу та для наступного уточнення параметрів агентів, але не змінює вже прийняте в поточному циклі рішення.

Експериментальне дослідження. Експеримент спрямовано не на відтворення корпоративної історії конкретної організації, а на перевірку властивостей методу за контрольованих подій. Використано шістдесят базових графів проєктів, побудованих за структурними класами відкритої бібліотеки PSPLIB [5] і доповнених профілями ІТ-завдань – аналіз, розроблення, тестування, інтеграція та розгортання. Для кожного графа сформовано шість сценаріїв: недоступність виконавця, зростання оцінки трудомісткості, поява термінового дефекту, зміна пріоритету, одночасне перевантаження двох фахівців та застарілі дані про компетенцію. Кожен сценарій повторено з тридцятьма контрольованими початковими станами.

Профілі ресурсів є напівсинтетичними: матриці навичок і доступності генерувалися у визначених діапазонах, але правила залежностей, критичності та календарних обмежень зберігалися однаковими для всіх методів. Такий дизайн усуває перевагу, що могла б виникнути через доступ до різних подій. Усього проаналізовано десять тисяч вісімсот локальних рішень. Розбиття виконано за базовими проєктами: епізоди одного графа не потрапляли одночасно до налаштування параметрів і до підсумкового порівняння (Таблиця 4).

Таблиця 4. Порівнювані стратегії

Позначка	Стратегія	Принцип вибору
B_0	Збереження призначення	Ресурс не змінюється, якщо це формально можливо
B_1	Максимальна компетентність	Вибір кандидата з найбільшим q^K
B_2	Мінімальна вартість	Вибір кандидата з найменшим q^C
B_3	Балансування навантаження	Вибір ресурсу з найменшим прогнозним l_j
B_4	Централізований критерій	Один зважений бал без переговорного узгодження
M	Запропонований метод	Спеціалізовані агенти, переговори, повторна перевірка

Джерело: розроблено авторами

Показниками є – нормована фактична втрата J , що агрегує відхилення строку, вартість, ризикові наслідки та нестабільність; частка жорстких порушень H ; дисбаланс навантаження B ; максимальна прогнозна втома F^{max} ; і кількість переговорних раундів N . Кращі значення для J , H , B та F^{max} є меншими. Усереднення здійснено по всіх сценаріях; різницю з B_4 оцінено парним непараметричним тестом Вілкоксона на рівні значущості 0,05.

Результати та їх обговорення. Таблиця 5 подає результати імітаційного порівняння. Стратегія B_1 знижує частину календарних затримок, але створює найбільшу вартісну та навантажувальну концентрацію. Стратегія B_2 зберігає прямі витрати, однак частіше порушує вимоги до навичок і збільшує ризик повторної роботи.

Стратегія B_3 стабілізує навантаження, але не розрізняє критичні та некритичні прогалини компетенцій. Централізований критерій B_4 є найсильнішим базовим методом, оскільки поєднує всі показники, але не коригує сумнівні оцінки через переговори та не відокремлює жорсткі конфлікти від м'яких.

Таблиця 5. Узагальнені результати імітаційного дослідження

Метод	J , відн. од.	H , %	B , відн. од.	F^{max} , відн. од.	N , раундів
B_0	1,000	14,8	1,000	0,81	0
B_1	0,904	12,1	0,963	0,84	0
B_2	0,929	10,4	0,916	0,77	0
B_3	0,885	8,9	0,781	0,74	0
B_4	0,842	7,6	0,691	0,62	0
M	0,744	4,8	0,564	0,52	1,7

Джерело: розроблено авторами

Запропонований метод M зменшив нормовану фактичну втрату з 0,842 до 0,744, тобто на одинадцять цілих шістдесят чотири сотих відсотка відносно B_4 (Рис. 1). Частка жорстких порушень зменшилася з 7,6 до 4,8 відсотка, або на тридцять шість цілих вісімдесят чотири сотих відсотка. Дисбаланс навантаження знизився на вісімнадцять цілих тридцять вісім сотих відсотка, а максимальна прогнозна втома – на шістнадцять цілих тринадцять сотих відсотка. Медіана кількості переговорних раундів становила два, у дев'яноста чотирьох відсотках епізодів процедуру завершено не більше ніж за три раунди.

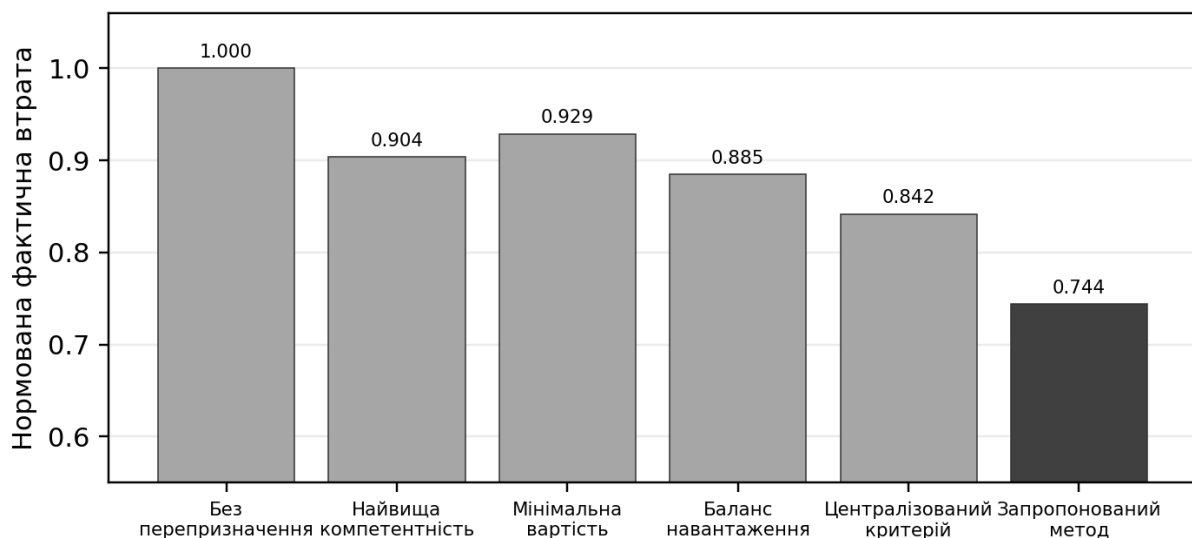


Рис. 1. Нормована фактична втрата для порівнюваних методів

Джерело: розроблено авторами

Перевага M проявляється не у механічному зниженні однієї метрики, а у вилученні неможливих компромісів. У B_4 один високий показник компетентності міг компенсувати надмірну втому, якщо значення ваги виявилось недостатнім (Таблиця 6). У запропонованому методі такий кандидат відсікається агентом здійсненності або стає предметом переговорів, де може бути запропоноване парне призначення. Це пояснює одночасне зменшення H і F^{max} за порівняно невеликої кількості додаткових раундів.

Таблиця 6. Абляційна перевірка складників методу

Варіант M	J , відн. од.	H , %	F^{max} , відн. од.	Інтерпретація
Повний метод	0,744	4,8	0,52	Базовий результат
Без агента компетентності	0,803	6,1	0,53	Зростання невідповідностей навичок
Без агента втоми	0,782	5,6	0,68	Накопичення перевантаження
Без агента ризику	0,776	5,9	0,55	Зростання нестійких призначень
Без переговорів	0,790	6,3	0,60	Конфлікти розв'язуються усередненням

Джерело: розроблено авторами

Абляційна перевірка підтвердила самостійність складників. Вимкнення агента компетентності найбільше погіршує відповідність вимогам завдань, а вимкнення агента втоми збільшує максимальний індекс втоми з 0,52 до 0,68. Відмова від переговорів погіршує J до 0,790 і H до 6,3 відсотка: отже, перевагу забезпечує не тільки набір критеріїв, а й спосіб оброблення суперечливих пропозицій (Таблиця 7). За високої інтенсивності подій відрив M від B_4 збільшується, що показано на Рис. 2.

Найбільшу перевагу метод показав у сценарії подвійного перевантаження. У централізованому критерії вибір кандидата з нижчим прогнозним навантаженням міг одночасно підвищити ризик через недостатню спеціалізацію або застарілі відомості про доступність. Спеціалізовані агенти виявляли такі суперечності до формування остаточного ранжування, а переговорне узгодження пропонувало запасного кандидата або захисний захід. Унаслідок цього знижувалася як частка жорстких порушень, так і кількість повторних перепризначень у межах одного сценарію.

Таблиця 6. Результати за типами порушувальних подій

Тип події	J для B_4	J для M	H для B_4 , %	H для M , %
Недоступність виконавця	0,790	0,690	6,6	4,2
Зростання трудомісткості	0,823	0,725	7,1	4,7
Терміновий дефект	0,914	0,812	9,3	6,0
Зміна пріоритету	0,806	0,720	6,8	4,5
Подвійне перевантаження	0,878	0,764	8,6	5,1
Застарілі дані	0,841	0,751	7,2	4,6

Джерело: розроблено авторами

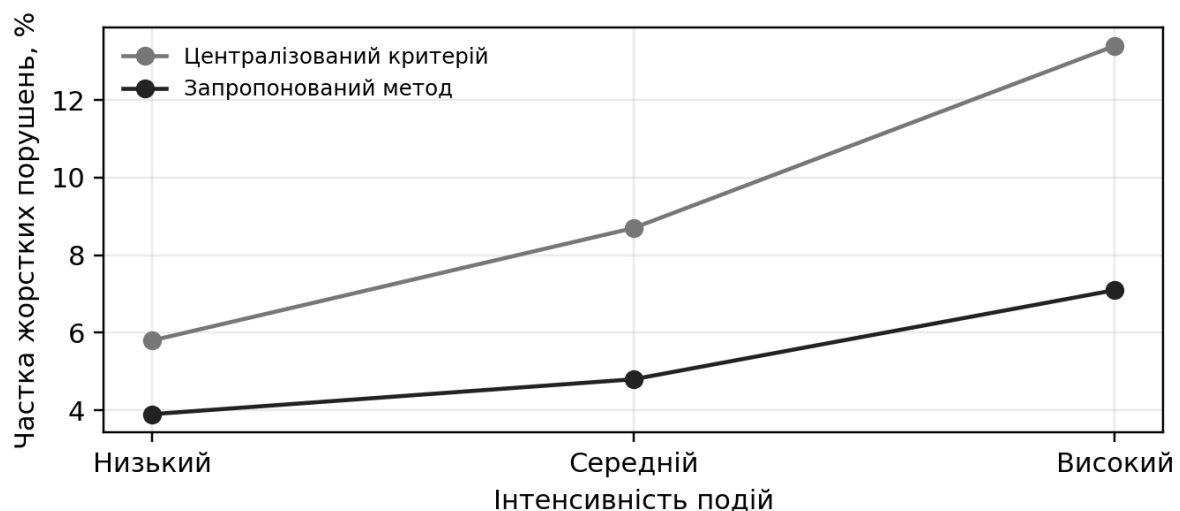


Рис. 2. Частка жорстких порушень за різної інтенсивності подій

Джерело: розроблено авторами

Для подій, пов'язаних із терміновим дефектом, абсолютні значення втрати залишалися вищими для всіх порівнюваних стратегій. Це пояснюється тим, що у таких епізодах одночасно звужується допустима множина ресурсів і зростає критичність строку. Проте запропонований метод не намагався штучно усунути цей дефіцит: якщо жоден кандидат не проходив обов'язкові обмеження, він повертав повідомлення про необхідність управлінського рішення. Саме тому показник H для M зменшується без хибного зростання кількості автоматично прийнятих призначень.

Стійкість результату додатково перевірялася зміною ваг м'яких критеріїв у межах двадцяти відсотків від базового профілю проєкту. Порядок найкращих стратегій не змінювався: M залишався першим за J і H , тоді як B_4 зберігав позицію найсильнішого базового варіанта. Це свідчить, що ефект методу пов'язаний передусім із відокремленням

жорстких обмежень, контролем актуальності даних і переговорною процедурою, а не з випадково підібраним набором числових ваг.

Обмеження дослідження пов'язані з контрфактичним характером імітації та відмінностями між відкритими й корпоративними проектами. Для зменшення загроз внутрішній валідності методи порівнювалися на однакових базових графах і однакових подіях, сценарії з порожньою допустимою множиною не використовувалися для налаштування ваг. Отримані результати не встановлюють універсальні числові порогові: організація може змінити ваги строку, вартості, ризику й стабільності, зберігши структуру методу та пріоритет жорсткої здійсненності.

Висновки. У роботі запропоновано метод багатокритеріального призначення ресурсів ІТ-проекту колективом спеціалізованих ІІІ-агентів. На відміну від централізованого ранжування, метод розподіляє аналіз між агентами компетентності, вартості, навантаження і втоми, ризику та координації. Це робить видимими причини конфлікту між пропозиціями і дозволяє пояснювати прийняте призначення.

Метод формує допустиму множину кандидатів до етапу багатокритеріального порівняння, тому неможливе призначення не може бути обране через компенсацію високим балом іншого критерію. Переговорна процедура обмежена трьома раундами, включає повторну перевірку календарно-ресурсної здійсненності й повертає журнал обмежень, запасні варіанти та рівень упевненості.

Імітаційне дослідження показало, що порівняно з централізованим зваженим критерієм запропонований метод зменшує нормовану фактичну втрату на одинадцять цілих шістдесят чотири сотих відсотка, а частку жорстких порушень – на тридцять шість цілих вісімдесят чотири сотих відсотка. Абляція підтвердила внесок урахування компетентності, втоми, ризику і переговорного узгодження.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на апробацію методу на анонімізованих корпоративних журналах, навчання параметрів агентів за фактичними результатами та поєднання локального перепризначення з вибором масштабу загального перепланування.

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. Hartmann, S. & Briskorn, D. “A survey of variants and extensions of the resource-constrained project scheduling problem”. *European Journal of Operational Research*. 2010; 207 (1): 1–14. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2009.11.005>.
2. Herroelen, W. & Leus, R. “Project scheduling under uncertainty: Survey and research potentials”. *European Journal of Operational Research*. 2005; 165 (2): 289–306. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2004.04.002>.
3. Ouelhadj, D. & Petrovic, S. “A survey of dynamic scheduling in manufacturing systems”. *Journal of Scheduling*. 2009; 12 (4): 417–431. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10951-008-0090-8>.
4. Vieira, G. E., Herrmann, J. W. & Lin, E. “Rescheduling manufacturing systems: a framework of strategies, policies, and methods”. *Journal of Scheduling*. 2003; 6 (1): 39–62. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1022235519958>.
5. Kolisch, R. & Sprecher, A. “PSPLIB — a project scheduling problem library”. *European Journal of Operational Research*. 1997; 96 (1): 205–216. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(96\)00170-1](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(96)00170-1).
6. Brucker, P., Drexel, A., Möhring, R., Neumann, K. & Pesch, E. “Resource-constrained project scheduling: notation, classification, models, and methods”. *European Journal of Operational Research*. 1999; 112 (1): 3–41. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(98\)00204-5](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(98)00204-5).

7. Artigues, C., Demasse, S., Néron, E. (eds.) “Resource-constrained project scheduling: models, algorithms, extensions and applications”. *Control Systems, Robotics and Manufacturing Series*. London: ISTE; Hoboken, NJ: Wiley. 2008. DOI: 10.1002/9780470611227.
8. Jennings, N. R. “An agent-based approach for building complex software systems”. *Communications of the ACM*. 2001; 44 (4): 35–41. DOI: [https://doi.org/ 10.1145/367211.367250](https://doi.org/10.1145/367211.367250).
9. Jennings, N. R., Sycara, K. & Wooldridge, M. “A roadmap of agent research and development”. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*. 1998; 1 (1): 7–38. DOI: 10.1023/A:1010090405266.
10. 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>.
11. Faratin, P., Sierra, C. & Jennings, N. R. “Negotiation decision functions for autonomous agents”. *Robotics and Autonomous Systems*. 1998; 24 (3-4): 159–182. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0921-8890\(98\)00029-3](https://doi.org/10.1016/S0921-8890(98)00029-3).
12. Rahwan, T., Michalak, T. P., Wooldridge, M. & Jennings, N. R. “Coalition structure generation: a survey”. *Artificial Intelligence*. 2015; 229: 139–174. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.artint.2015.08.004>.
13. Gerkey, B. P. & Mataric, M. J. “A formal analysis and taxonomy of task allocation in multi-robot systems”. *The International Journal of Robotics Research*. 2004; 23 (9): 939–954. DOI: <https://doi.org/10.1177/0278364904045564>.
14. Deb, K., Pratap, A., Agarwal, S. & Meyarivan, T. “A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II”. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*. 2002; 6 (2): 182–197. DOI: <https://doi.org/10.1109/4235.996017>.
15. Bellenguez-Morineau, O. & Néron, E. “A branch-and-bound method for solving multi-skill project scheduling problem”. *RAIRO Operations Research*. 2007; 41 (2): 155–170. DOI: <https://doi.org/10.1051/ro:2007015>.
16. Heimerl, C. & Kolisch, R. “Scheduling and staffing multiple projects with a multi-skilled workforce”. *OR Spectrum*. 2010; 32 (2): 343–368. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00291-009-0169-4>.
17. Dawson, D., McCulloch, K. “Managing fatigue: it's about sleep”. *Sleep Medicine Reviews*. 2005; 9 (5): 365–380. DOI: [https://doi.org/ 10.1016/j.smrv.2005.03.002](https://doi.org/10.1016/j.smrv.2005.03.002).
18. Folkard, S. & Åkerstedt, T. “Trends in the risk of accidents and injuries and their implications for models of fatigue and performance”. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*. 2004; 75 (3): A161–A167. – Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15018280>. – [Accessed: 06.10.2024].
19. Rockafellar, R. T. & Uryasev, S. “Optimization of conditional value-at-risk”. *Journal of Risk*. 2000; 2 (3): 21–41. DOI: [https://doi.org/ 10.21314/JOR.2000.038](https://doi.org/10.21314/JOR.2000.038).
20. Bertsimas, D. & Sim, M. “The price of robustness”. *Operations Research*. 2004; 52 (1): 35–53. DOI: <https://doi.org/10.1287/opre.1030.0065>.
21. “A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide)”. 7th ed. Newtown Square, PA: Project Management Institute. 2021. – Available from: <https://www.pmi.org/standards/pmbok>. – [Accessed: 06.10.2025].

Отримано 03.09.2026

Отримано після перегляду 05.10.2026

Прийнято 12.10.2026

DOI: <https://doi.org/10.15276/ict.03.2026.62>

UDC 004.89:005.8:004.4

Multi-criteria IT project resource assignment method by a collective of specialized ai agents

Oleksandr P. Boeiv¹⁾

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-5628-2359>; faust040404@stud.op.edu.ua

Eleonora M. Zabarna¹⁾

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2659-5909>; e.m.zabarna@op.edu.ua. Scopus Author ID: 57219289565

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

ABSTRACT

The paper proposes a multi-criteria IT project resource assignment method performed by a collective of specialized artificial intelligence agents. The method is intended for local or partial replanning after an event violates a previous assignment, deadline, workload or risk restriction. Instead of selecting a candidate by one centrally calculated score, the approach separates the assessment of competence, direct cost, workload and accumulated fatigue, execution risk, and coordination. Each agent produces an explainable proposal with constraints; the coordinator resolves compatible preferences through bounded negotiation and rechecks feasibility after every concession. A resource is represented by a dynamic profile containing competences, rate, current workload, accumulated fatigue, execution risk and availability. First, the feasibility agent creates a candidate set that satisfies mandatory skill, capacity and fatigue requirements. Then the specialized agents issue comparable local scores and confidence values. The influence of an agent depends on current confidence, historical predictive performance and data freshness, which reduces the impact of obsolete project information. The result includes a selected assignment, reserve candidates, active constraints, collective confidence and an escalation route for a project manager. A simulation study used sixty base project graphs, six disruption types and thirty controlled initial states for each scenario. The method was compared with unchanged assignment, maximum-competence selection, minimum-cost selection, workload balancing and a centralized weighted criterion. Relative to the strongest baseline, the centralized criterion, the proposed method decreased normalized actual loss by eleven point sixty-four percent and hard-constraint violations by thirty-six point eighty-four percent. Ablation confirmed the separate contribution of competence, fatigue, risk and negotiation components. The method can therefore serve as an explainable resource-assignment module in an adaptive IT project management loop.

Keywords: IT project; resource assignment; artificial intelligence; multi-agent system; agent coordination; negotiation; multi-criteria optimization; replanning

ІНФОРМАЦІЯ ПРО АВТОРІВ



Босєв Олександр Петрович - аспірант, кафедра Штучного інтелекту та аналізу даних. Національний університет «Одеська політехніка», пр. Шевченка, 1. Одеса, 65044, Україна

Галузь досліджень: штучний інтелект, мультиагентні системи, розподілені обчислення, машинне навчання.

Oleksandr P. Boeiv - postgraduate, Artificial Intelligence and Data Analysis Department, Odesa Polytechnic National University, 1, Shevchenko Av. Odesa, 65044, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-5628-2359>; faust040404@stud.op.edu.ua

Research field: artificial intelligence, multi-agent systems, distributed computing, machine learning



Забарна Елеонора Миколаївна - доктор економічних наук, професор, завідувачка кафедри Інтегрованих технологій управління. Національний університет «Одеська політехніка», пр. Шевченка, 1. Одеса, 65044, Україна

Галузь досліджень: цифрова трансформація бізнес-процесів, цифровий маркетинг, застосування штучного інтелекту в управлінні

Eleonora M. Zabarna - Doctor of Economics, Professor, Head of the Department of Integrated Management Technologies, Odesa Polytechnic National University, 1, Shevchenko Av. Odesa, 65044, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2659-5909>; e.m.zabarna@op.edu.ua; Scopus Author ID: 57219289565

Research field: digital transformation of business processes, digital marketing, applications of artificial intelligence in management