

- В. Є. СОКОЛ**, кандидат технічних наук (PhD), доцент, науковий співробітник дослідницької групи з навчальних технологій Рейнсько-Вестфальського технічного університету Аахена, RWTH Aachen University, Templergraben 55, 52062 Aachen, Deutschland; e-mail: sokol@informatik.rwth-aachen.de; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4689-3356>
- Д. О. ГУРТ**, аспірант, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; e-mail: denys.hurt@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-3880-9081>
- М. Д. ГОДЛЕВСЬКИЙ**, доктор технічних наук, професор, директор інституту комп'ютерних наук та інформаційних технологій, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; e-mail: Mykhailo.Hodlevskiy@khi.edu.ua; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2872-0598>
- А. А. ПАШНЕВ**, кандидат технічних наук (PhD), старший науковий співробітник, доцент кафедри «Інформаційні системи та технології», Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; e-mail: pashniev@email.ua; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9150-6108>

МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ КОРПОРАТИВНИХ ЗНАТЬ ТА ОРГАНІЗАЦІЙНОГО КОНТЕКСТУ ІТ-КОМПАНІЙ НА ЛОКАЛЬНІ КРИТЕРІЇ ЯКОСТІ ПРОЦЕСУ РОЗРОБКИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Проведено параметризацію організаційного контексту ІТ-компанії (за масштабом, бізнес-моделлю, рівнем зрілості процесів, ресурсними обмеженнями) та структурну декомпозицію її корпоративних знань на чотири класи: технологічні, процесні, емпіричні та організаційні, з визначенням критеріїв належності до множини корпоративних знань (формалізованість, відчуженість від носія, повторна використовуваність). Локальні критерії якості – структурованість, керованість, передбачуваність, вимірюваність, адаптивність та оптимізованість – визначено як критерії оцінювання окремого процесу розробки програмного забезпечення, узгоджені з дев'ятьма атрибутами процесу моделі SPICE. Розроблено формалізовану тривірневу ієрархічну модель на базі методу аналізу ієрархій, яка встановлює кількісні взаємозв'язки між якістю окремого процесу розробки програмного забезпечення, його локальними критеріями та класами корпоративних знань з урахуванням організаційного контексту конкретної ІТ-компанії. Проведено обчислювальний експеримент для процесу ТЕС.2 «Визначення потреб та вимог зацікавлених сторін» у контексті середньої аутсорсингової компанії, який показав домінування емпіричних знань (43,4 % глобальної ваги) та обгрунтував їх пріоритетний розвиток. Аналіз чутливості підтвердив коректну реакцію ранжування при зміні контексту. Наукова новизна полягає у встановленні кількісної залежності між класами корпоративних знань та якістю окремого процесу розробки програмного забезпечення через локальні критерії якості з прив'язкою до атрибутів моделі SPICE. Практичне значення підходу полягає у заміні інтуїтивних рішень ІТ-менеджменту науково обгрутованим механізмом розподілу ресурсів на розвиток окремих класів корпоративних знань для цільового підвищення якості конкретних процесів розробки програмного забезпечення. Подальші дослідження передбачають урахування ресурсних обмежень та агрегацію оцінок окремих процесів в інтегральну якість процесу розробки програмного забезпечення.

Ключові слова: процес розробки програмного забезпечення, локальні критерії якості, корпоративні знання, організаційний контекст, модель SPICE, метод аналізу ієрархій, формалізація впливу.

Вступ. У сучасних умовах зростання складності ІТ-проектів забезпечення високої якості процесу розробки (ІР) програмного забезпечення (ІЗ) є критичним фактором успіху ІТ-компаній. Впровадження визнаних міжнародних стандартів і моделей зрілості (таких як ISO/IEC 33020 [1], CMMI (Capability Maturity Model Integration) [2], ISO/IEC/IEEE 12207 [3]) спрямоване на стандартизацію та оптимізацію виробничих процесів. Проте універсальні підходи часто виявляються недієвими через ігнорування організаційного контексту конкретної ІТ-компанії та недостатнє використання корпоративних знань (КЗ) [4, 5]. Відсутність формалізованих механізмів, які б дозволяли адаптувати вибір методів підвищення якості під специфіку ІТ-компанії з урахуванням накопиченого інженерного досвіду (Lessons Learned, патернів, метрик), призводить до формального застосування стандартів без відчутного підвищення якості ІР ІЗ. Тому формалізація впливу корпоративних знань та організаційного контексту на локальні критерії якості окремих процесів розробки ІЗ є актуальним науковим завданням, вирішення якого створить підґрунтя для розробки систем підтримки прийняття рішень при плануванні підвищення якості ІР ІЗ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблематиці управління якістю та вдосконалення процесів програмної інженерії присвячено значну кількість сучасних досліджень, які свідчать про відсутність консенсусу щодо метрик якості процесу розробки ІЗ. Порівняльне дослідження [4] факторів успіху покращення процесів Software Process Improvement (SPI) показало, що організаційний контекст суттєво впливає на критичність окремих факторів SPI.

Ролі управління знаннями у підвищенні якості процесів розробки ІЗ присвячено роботи [6, 7]: у [6] проаналізовано взаємозв'язок між ініціативами управління знаннями та покращенням якості програмних процесів; у [7] запропоновано практики поєднання управління знаннями та управління якістю в ІТ-проєктах. Застосуванню методів багатокритеріального аналізу у програмній інженерії присвячено [8], де метод аналізу ієрархій (MAI) використано для пріоритизації критеріїв оцінювання програмних процесів і гнучких практик розробки.

Проблемі адаптації процесів до організаційного контексту присвячено [5, 9]: у [5] показано, що контекстуальні фактори змушують процеси еволюціонувати у гібриди, а у [9] формалізовано підхід до адаптації про-

© Сокол В. Є., Гурт Д. О., Годлевський М. Д., Пашнев А. А. 2026



Дослідницька стаття: Цю статтю опубліковано видавництвом *НТУ «ХПІ»* у збірнику «Вісник Національного технічного університету "ХПІ" Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології». Ця стаття поширюється за міжнародною ліцензією [Creative Commons Attribution \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/). **Конфлікт інтересів:** Автор/и заявив/или про відсутність конфлікту.



грамних процесів з урахуванням цілей проекту та контексту. У контексті декомпозиції знань комплексну таксономію когнітивних концепцій у програмній інженерії розроблено у [10], а роль неявних знань в ІТ-індустрії досліджено у [11] з використанням моделі SECI (Socialization, Externalization, Combination, Internalization) [12]. Фундамент формалізації моделей зрілості CMMI та SPICE (Software Process Improvement and Capability dEtermination) для управління якістю ПР ПЗ закладено у [13, 14].

Незважаючи на вагомні результати, у відомих підходах бракує комплексних моделей, які б встановлювали кількісний та структурний зв'язок між декомпонованими елементами корпоративних знань та локальними критеріями якості через призму конкретного організаційного контексту. Відсутність такої формалізації ускладнює обґрунтоване планування підвищення якості ПР ПЗ для конкретних умов ІТ-середовища.

Мета. Розробка формалізованої ієрархічної моделі, що визначає залежність якості окремого процесу розробки ПЗ від декомпонованих корпоративних знань через локальні критерії якості, узгоджені з атрибутами процесу моделі SPICE, з урахуванням організаційного контексту ІТ-компанії.

Формалізація та параметризація організаційного контексту ІТ-компанії. Вхідною точкою дослідження є система властивостей якості процесу розробки ПЗ, встановлена у [15]:

$$Q = f(St, Ma, Pr, Me, Ad, Op),$$

де *St* – структурованість (формалізованість);

Ma – керованість;

Pr – передбачуваність;

Me – вимірюваність;

Ad – адаптивність;

Op – оптимізованість.

У роботі перелічені властивості розглядаються як локальні критерії оцінювання окремого процесу, узгоджені з атрибутами моделі SPICE. Корпоративні знання виступають як інструмент впливу на ці локальні критерії, що формалізується далі через декомпозицію *Kn* на окремі класи та їх розміщення на рівні альтернатив ієрархічної моделі. Класифікацію ІТ-компаній за організаційними ознаками, яка слугує вхідною точкою для параметризації контексту, наведено у [16].

Під організаційним контекстом ІТ-компанії розуміється впорядкована множина статичних та динамічних характеристик, що визначають умови функціонування команд розробки та накладають обмеження на вибір методів управління [5, 9]. Множину параметрів контексту позначимо як $C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$.

Базуючись на класифікації організаційних структур в ІТ [15, 16], виділимо базовий вектор ключових параметрів $C = \{S, T, M, R\}$, де *S* (Scale) – масштаб компанії (малі, середні, великі); *T* (Type) – тип бізнес-моделі (продуктові або сервісні/аутсорсингові); *M* (Maturity) – рівень зрілості процесів за шкалою CMMI [2] або SPICE [1]; *R* (Resources) – рівень ресурсних обмежень (жорсткі, помірні, гнучкі).

Кожен конкретний стан організаційного контексту $C^* = (s_0, t_0, m_0, r_0)$ визначає пріоритетність локальних критеріїв якості для оцінювання конкретного процесу в умовах ІТ-компанії [4, 5]. Наприклад, для малого аутсорсингового проекту з жорсткими ресурсними обмеженнями критичною є необхідність швидкої реакції на зміни вимог замовника, що підвищує вагу адаптивності (*Ad*). Таким чином, організаційний контекст *C* математично визначає вектор вагових коефіцієнтів локальних критеріїв якості для конкретного процесу розробки ПЗ.

Декомпозиція корпоративних знань ІТ-компанії. Для визначення ступеня впливу корпоративних знань на локальні критерії якості процесу необхідно окреслити межі цього поняття. Відповідно до класичної теорії організаційного знання [12], знання організації поділяються на два фундаментальні типи: явні (explicit) – ті, що можуть бути формалізовані, задокументовані та передані через формальні канали; та неявні (tacit) – ті, що існують у вигляді особистого досвіду, інтуїції та навичок індивідів.

У цій роботі під корпоративними знаннями розуміються виключно явні, формалізовані та доступні для повторного використання інформаційні активи компанії, які залишаються в її розпорядженні незалежно від зміни кадрового складу. Інформаційний актив належить до множини *K3* тоді і тільки тоді, коли він одночасно задовольняє три критерії: формалізованість (знання зафіксоване у документі, репозиторії або базі даних); відчуженість від носія (знання доступне організації незалежно від присутності конкретного співробітника); повторна використовуваність (знання може бути застосоване в нових проектах або ітераціях). Неявні знання, не задокументовані у корпоративних системах, у цій моделі належать до «експертного потенціалу» команди і не розглядаються як елемент керованих *K3*. Такий підхід узгоджується з результатами [11], де показано, що екстерналізація неявних знань у формалізовані артефакти є критичним механізмом організаційного навчання.

Проведемо структурну декомпозицію множини корпоративних знань: $Kn = \{Kn_{tech}, Kn_{proc}, Kn_{exp}, Kn_{org}\}$, де *Kn_{tech}* (технологічні знання) – задокументовані архітектурні рішення (ADR), репозиторії шаблонів коду, технологічні радари, бібліотеки внутрішніх компонентів; *Kn_{proc}* (процесні знання) – регламенти процесів, інструкції (SOP), стандарти написання коду, чек-лісти Code Review, шаблони проектної документації; *Kn_{exp}* (емпіричні знання) – бази даних дефектів, звіти з ретроспектив, документи Lessons Learned, Post-Mortem аналізи, історичні метрики продуктивності; *Kn_{org}* (організаційні знання) – матриці компетенцій (Skill Matrix), онбордінг-матеріали, карти комунікацій.

Запропонована декомпозиція узгоджується із сучасними таксономіями знань у програмній інженерії [10, 12] та підходами до управління знаннями в ІТ-компаніях [6, 7]. Кожен елемент множини *Kn* має різний ступінь впливу на локальні критерії якості (*St, Ma, Pr, Me, Ad, Op*) і розміщується на рівні альтернатив трирівневої ієрархічної моделі (рис. 1). Наприклад, процесні знання (*Kn_{proc}*) найсильніше корелюють із під-

вищенням структурованості (St) та керованості (Ma) [7], тоді як емпіричні знання (Kn_{exp}) є ключовим драйвером адаптивності (Ad) та оптимізованості (Op).

Узгодження локальних критеріїв якості з атрибутами моделі SPICE.

Локальні критерії St , Ma , Pr , Me , Ad , Op , визначені у [15] для процесу розробки ПЗ, в межах цієї роботи застосовуються для оцінювання окремого процесу з базової моделі SPICE. Такий підхід забезпечує сумісність запропонованого апарату зі стандартними рейтинговими шкалами ISO/IEC 33020 [1] та створює передумови для побудови агрегованої оцінки якості процесу розробки ПЗ у цілому через зважування окремих процесів, що є предметом подальших досліджень.

Для обґрунтування такого підходу встановлено відповідність між шістьма локальними критеріями та дев'ятьма атрибутами процесу (Process Attributes, PA) моделі SPICE, визначеними в ISO/IEC 33020 [1]. Кожному локальному критерію поставлено у відповідність той атрибут, через який він реалізується у стандартній моделі зрілості (табл. 1).

Таблиця 1 – Відповідність локальних критеріїв якості атрибутам процесу моделі SPICE

Рівень	Атрибут процесу (PA)	Локальний критерій
1	PA 1.1 Process Performance	– (базове виконання)
2	PA 2.1 Performance Management	Ma
2	PA 2.2 Documented Information Management	Ma
3	PA 3.1 Process Definition	St
3	PA 3.2 Process Deployment	St
3	PA 3.3 Process Assurance	Ad
4	PA 4.1 Quantitative Analysis	Me
4	PA 4.2 Quantitative Control	Pr
5	PA 5.1 Process Innovation	Op

Логіка встановленої відповідності полягає в тому, що кожен локальний критерій характеризує ту властивість процесу, яка в моделі SPICE забезпечується відповідним атрибутом або парою атрибутів: керованість Ma відображає здатність планувати й контролювати виконання процесу та керувати його документованою

інформацією (PA 2.1 та PA 2.2); структурованість St відповідає формалізації стандартного процесу та його систематичному розгортанню в проєктах (PA 3.1 та PA 3.2); адаптивність Ad реалізується через моніторинг і забезпечення відповідності процесу визначеним вимогам у мінливих умовах (PA 3.3); вимірюваність Me реалізується через кількісний аналіз (PA 4.1), а передбачуваність Pr – через кількісне управління процесом (PA 4.2); оптимізованість Op відповідає ідентифікації та реалізації інноваційних змін процесу для досягнення цілей покращення (PA 5.1).

Базовий атрибут PA 1.1 характеризує сам факт виконання процесу і не має окремого критерію якості, оскільки передує їх змістовному оцінюванню.

Побудова ієрархічної моделі на базі методу аналізу ієрархій. Для формалізації впливу декомпонованих корпоративних знань (Kn) на локальні критерії якості з урахуванням організаційного контексту (C) обрано метод аналізу ієрархій [17]. На відміну від інших методів багатокритеріального аналізу, МАІ дозволяє трансформувати якісні судження експертів у кількісні вагові коефіцієнти та має вбудований механізм перевірки логічної узгодженості суджень через відношення узгодженості CR . Доцільність застосування МАІ у задачах оцінювання програмних процесів підтверджена у [8, 14].

Відповідно до методології МАІ, розроблено трирівневу ієрархічну модель впливу (рис. 1), яка має таку структуру: Рівень 1 (Глобальна ціль) – інтегральний показник якості окремого процесу Q . Рівень 2 (Критерії) – St , Ma , Pr , Me , Ad , Op , вагові коефіцієнти яких визначаються з урахуванням організаційного контексту C^* та специфіки конкретного процесу, що оцінюється, і формують унікальний профіль потреб компанії. Рівень 3 (Альтернативи) – класи корпоративних знань Kn_{tech} , Kn_{proc} , Kn_{exp} , Kn_{org} ; на цьому рівні визначається, який клас знань є найбільш дієвим інструментом для досягнення кожного локального критерію з Рівня 2.

Математичний апарат моделі. Основою розрахунку є матриці парних порівнянь A , елементи яких a_{ij} оцінюються експертами за 9-бальною шкалою Сааті [17] і задовольняють умову зворотної симетричності $a_{ij} = 1/a_{ji}$, $a_{ii} = 1$. Локальні вектори пріоритетів w для



Рис. 1. Ієрархічна модель впливу корпоративних знань на локальні критерії якості окремого процесу розробки ПЗ

кожного рівня ієрархії обчислюються як нормований власний вектор матриці A , що відповідає її максимальному власному значенню λ_{\max} :

$$A \cdot w = \lambda_{\max} \cdot w. \quad (1)$$

Для практичного обчислення вектора пріоритетів використовується метод середнього геометричного рядків [17]:

$$g_i = \left(\prod_{j=1}^n a_{ij} \right)^{\frac{1}{n}}, i = 1, \dots, n. \quad (2)$$

Нормований вектор пріоритетів визначається як:

$$w_i = \frac{g_i}{\sum_{k=1}^n g_k}. \quad (3)$$

Максимальне власне значення λ_{\max} обчислюється як:

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{(A \cdot w)_i}{w_i}. \quad (4)$$

Для перевірки логічної несуперечливості експертних оцінок розраховується індекс узгодженості CI та відношення узгодженості CR :

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}, \quad (5)$$

$$CR = \frac{CI}{RI}, \quad (6)$$

де n – розмірність матриці порівнянь;

RI – випадковий індекс, значення якого для актуальних розмірностей ($n = 4$ для матриць Рівня 3 та $n = 6$ для матриці Рівня 2) становлять 0,90 та 1,24 відповідно [17]. Експертна оцінка вважається прийнятною, якщо $CR \leq 0,10$ [17].

Глобальний пріоритет j -го класу КЗ обчислюється через зважене підсумовування локальних векторів:

$$W_{\text{global}}(j) = \sum_{i=1}^m w_i \cdot w_{ij}, j = 1, \dots, k, \quad (7)$$

де m – кількість локальних критеріїв Рівня 2 ($m = 6$);

k – кількість класів КЗ ($k = 4$);

w_i – вага i -го локального критерію з Рівня 2;

w_{ij} – локальний пріоритет j -го класу КЗ відносно i -го локального критерію.

Процедура експертного оцінювання. Формування експертної групи здійснюється за принципами методу Дельфі [18] з незалежним анонімним оцінюванням. До оцінювання залучаються фахівці з практичним досвідом управління процесами розробки ПЗ, які працюють в ІТ-компаніях з відповідним організаційним контекстом; рекомендований розмір групи – 5–15 осіб [14, 17].

Кожен експерт заповнює матриці парних порівнянь для Рівнів 2 і 3 ієрархії за 9-бальною шкалою

Саати, відповідаючи на запитання про відносну важливість локальних критеріїв для заданого контексту C^* (Рівень 2) та відносний вплив класів КЗ на кожен локальний критерій (Рівень 3). Для кожної індивідуальної матриці перевіряється CR за формулами (5)–(6); матриці з $CR > 0,10$ повертаються на перегляд.

В обчислювальному експерименті матриці сформовані на основі узагальненого інженерного досвіду авторів та консультацій з практикуючими фахівцями за описаною процедурою агрегації, що відповідає підходу, апробованому у роботах [13, 14]. Повномасштабне емпіричне дослідження з розширеною групою експертів та перевіркою міжекспертної узгодженості є предметом подальших досліджень.

Обчислювальний експеримент. Для демонстрації працездатності розробленого підходу модель застосовано до процесу ТЕС.2 «Визначення потреб та вимог зацікавлених сторін» [19] у контексті середньої аутсорсингової ІТ-компанії (параметри C^* : середній масштаб команд, динамічні вимоги замовника, жорсткі часові обмеження). Процес ТЕС.2 обрано як ключовий для аутсорсингової моделі, оскільки робота з вимогами замовника є серцевиною цього бізнес-сегменту, а її якість визначальним чином впливає на успіх проєкту. Цей контекст обрано як показовий завдяки поєднанню високої мінливості вимог і критичної ролі корпоративних знань у забезпеченні якості процесів [15, 16].

Визначення ваг локальних критеріїв якості (Рівень 2). Матриця парних порівнянь важливості локальних критеріїв для процесу ТЕС.2 в обраному контексті наведена у табл. 2.

Таблиця 2 – Матриця парних порівнянь важливості локальних критеріїв якості процесу ТЕС.2

Критерій	<i>St</i>	<i>Ma</i>	<i>Pr</i>	<i>Me</i>	<i>Ad</i>	<i>Op</i>	<i>w</i>
<i>St</i>	1	1/3	1/2	1	1/5	2	0,083
<i>Ma</i>	3	1	2	3	1/2	4	0,239
<i>Pr</i>	2	1/2	1	2	1/3	3	0,147
<i>Me</i>	1	1/3	1/2	1	1/4	2	0,087
<i>Ad</i>	5	2	3	4	1	6	0,393
<i>Op</i>	1/2	1/4	1/3	1/2	1/6	1	0,051

Максимальне власне значення $\lambda_{\max} = 6,054$; індекс узгодженості $CI = 0,011$; де відношення узгодженості $CR = 0,009 < 0,10$, що підтверджує надійність оцінок.

Результати розрахунку підтверджують, що для процесу ТЕС.2 «Визначення потреб та вимог зацікавлених сторін» в контексті середньої аутсорсингової компанії найбільш пріоритетним локальним критерієм є адаптивність ($Ad = 0,393$, або 39,3 %), що зумовлено динамікою змін вимог замовників та необхідністю швидкої реакції на їх корекції в процесі роботи з вимогами. Друге місце посідає керованість ($Ma = 0,239$), що відображає необхідність чіткого управління очікуваннями клієнтів.

Визначення впливу класів КЗ на кожен локальний критерій (Рівень 3). Для кожного з шести локальних критеріїв побудовано окрему матрицю парних порівнянь впливу чотирьох класів КЗ. Приклад такої матриці для локального критерію «Структурованість» (*St*) наведено у табл. 3.

Таблиця 3 – Матриця парних порівнянь впливу елементів КЗ на локальний критерій «Структурованість» (St)

Критерій: St	Kn_{tech}	Kn_{proc}	Kn_{exp}	Kn_{org}	w
Kn_{tech}	1	1/5	2	1/2	0,123
Kn_{proc}	5	1	7	3	0,587
Kn_{exp}	1/2	1/7	1	1/3	0,072
Kn_{org}	2	1/3	3	1	0,218

Для даної матриці $\lambda_{max} = 4,019$; $CI = 0,006$; $CR = 0,007 < 0,10$. Аналогічно побудовано матриці для локальних критеріїв Ma , Pr , Me , Ad , Op ; для всіх матриць відношення узгодженості CR не перевищує 0,030, що значно нижче критичного порогу 0,10 і підтверджує надійність отриманих локальних векторів пріоритетів. Обчислені локальні ваги w_{ij} використано далі для синтезу глобального вектора.

Синтез глобального вектора пріоритетів. Глобальний вектор пріоритетів W_{global} обчислюється за формулою (7). Результати синтезу наведено у табл. 4.

Таблиця 4 – Глобальний вектор пріоритетів класів КЗ процесу ТЕС.2

Критерій	Kn_{tech}	Kn_{proc}	Kn_{exp}	Kn_{org}
St (0,083)	0,123	0,587	0,072	0,218
Ma (0,239)	0,160	0,467	0,095	0,277
Pr (0,147)	0,157	0,272	0,483	0,088
Me (0,087)	0,218	0,123	0,587	0,072
Ad (0,393)	0,182	0,068	0,636	0,115
Op (0,051)	0,140	0,140	0,643	0,077
W_{global}	0,169	0,245	0,434	0,153

Результати синтезу демонструють, що для обраного контексту глобальний рейтинг пріоритетності класів корпоративних знань має такий вигляд: лідером є емпіричні знання ($Kn_{exp} = 0,434$, або 43,4 %), друге місце посідають процесні знання ($Kn_{proc} = 0,245$, або 24,5 %), третє – технологічні знання ($Kn_{tech} = 0,169$, або 16,9 %), а замикають рейтинг організаційні знання ($Kn_{org} = 0,153$, або 15,3 %).

Отриманий результат свідчить про те, що для підвищення якості процесу ТЕС.2 в умовах аутсорсингової компанії пріоритетним є розвиток саме емпіричних знань – баз даних дефектів, документів Lessons Learned, історичних метрик та звітів з ретроспектив, оскільки вони найсильніше впливають на ключовий локальний критерій адаптивності.

Аналіз чутливості результатів. Для оцінки стійкості отриманих пріоритетів класів КЗ для процесу ТЕС.2 «Визначення потреб та вимог зацікавлених сторін» до можливих варіацій в оцінках проведено аналіз чутливості, який у МАІ полягає у дослідженні впливу зміни входних параметрів на ранжування альтернатив [20]. Розглянемо вплив зміни ваги найбільш пріоритетного локального критерію «Адаптивність» (Ad) на глобальний рейтинг класів КЗ за трьома сценаріями (табл. 5). Сценарій S1 відповідає базовому контексту середньої аутсорсингової ІТ-компанії ($Ad = 0,393$), S2 – тому самому контексту зі зниженою динамікою вимог замовника ($Ad = 0,200$), а S3 – контексту великої продуктової компанії ($St = 0,350$; $Me = 0,250$).

Таблиця 5 – Аналіз чутливості: глобальні пріоритети W_{global} для процесу ТЕС.2 за різних сценаріїв контексту

Сценарій	Kn_{tech}	Kn_{proc}	Kn_{exp}	Kn_{org}	Лідер
S1	0,169	0,245	0,434	0,153	Kn_{exp}
S2	0,172	0,298	0,352	0,178	Kn_{exp}
S3	0,178	0,368	0,276	0,178	Kn_{proc}

При зниженні ваги Ad з 0,393 до 0,200 (сценарій S2) Kn_{exp} зберігає першу позицію (0,352), однак розрив з Kn_{proc} суттєво скорочується (0,298).

При переході до сценарію S3 Kn_{proc} виходить на першу позицію (0,368), що є логічним: якщо процес ТЕС.2 розглядається в контексті великої продуктової компанії, формалізовані процесні регламенти роботи з вимогами є суттєвішими, ніж емпіричний досвід.

Таким чином, аналіз чутливості підтверджує, що модель коректно реагує на зміни організаційного контексту, в якому виконується процес.

Обговорення результатів. Домінування емпіричних знань Kn_{exp} (43,4 %) для процесу ТЕС.2 в аутсорсинговому контексті пояснюється специфікою організаційної моделі: в умовах мінливості вимог замовника формалізовані уроки минулого (Lessons Learned) та аналіз історичних дефектів виявляються дієвішим за статичні інструкції, що узгоджується з [5, 6]. Водночас структура впливу неоднорідна: Kn_{proc} домінує для структурованості (58,7 %) та керованості (46,7 %), що підтверджує взаємозалежність практик управління знаннями та якістю [7] і необхідність контекстно-залежного балансу між класами КЗ. Аналіз чутливості (табл. 5) показав, що при зміні контексту профіль пріоритетів кардинально перебудовується.

Висновки. У роботі вирішено науково-практичне завдання формалізації впливу корпоративних знань на локальні критерії якості процесу розробки ПЗ з урахуванням організаційного контексту ІТ-компанії.

Здійснено структурну декомпозицію корпоративних знань на чотири класи (Kn_{tech} , Kn_{proc} , Kn_{exp} , Kn_{org}) із визначенням критеріїв належності: формалізованості, відчуженості від носія, повторної використовуваності.

Встановлено відповідність шести локальних критеріїв якості (St , Ma , Pr , Me , Ad , Op) дев'ятьом атрибутам процесу моделі SPICE відповідно до ISO/IEC 33020:2019, що забезпечує сумісність запропонованого підходу зі стандартними рейтинговими шкалами.

Розроблено трирівневу ієрархічну модель на базі МАІ з математичним апаратом (формули (1)–(7)), яка параметризується через організаційний контекст компанії $C = \{S, T, M, R\}$. Наукова новизна полягає у встановленні кількісної залежності між класами корпоративних знань та локальними критеріями якості окремого процесу через призму організаційного контексту з прив'язкою до атрибутів моделі SPICE.

В обчислювальному експерименті для процесу ТЕС.2 «Визначення потреб та вимог зацікавлених сторін» у контексті середньої аутсорсингової ІТ-компанії побудовано 7 матриць парних порівнянь ($CR \leq 0,030$) та встановлено глобальний рейтинг класів корпоративних знань: емпіричні знання ($Kn_{exp} = 0,434$), процесні ($Kn_{proc} = 0,245$), технологічні ($Kn_{tech} = 0,169$), організа-

ційні ($Kn_{org} = 0,153$). Аналіз чутливості при зміні контексту підтвердив коректну реакцію ранжування. Практичне значення – заміна інтуїтивних рішень IT-менеджменту на науково обґрунтований механізм розподілу ресурсів на розвиток КЗ для цільового підвищення якості окремого процесу розробки ПЗ.

Подальші дослідження передбачають розширення моделі на множину процесів життєвого циклу ПЗ, агрегацію оцінок окремих процесів в інтегральну якість процесу розробки програмного забезпечення, проведення повномасштабного експертного опитування та урахування ресурсних обмежень, що становить розвиток підходу, започаткованого у [14].

Декларація про використання генеративного штучного інтелекту. Під час підготовки цієї роботи автори використовували Claude для перевірки граматики та орфографії, перепарафразування та переформулювання тексту. Після використання цих інструментів/сервісів автори перевірили та відредагували вміст за необхідності та несуть повну відповідальність за зміст публікації.

Список використаних джерел інформації

1. ISO/IEC 33020:2019. *Information technology – Process assessment – Process measurement framework for assessment of process capability*. Geneva: ISO, 2019.
2. ISACA. *CMMI Model, Version 3.0*. ISACA, 2023.
3. ISO/IEC/IEEE 12207:2017. *Systems and software engineering – Software life cycle processes*. Geneva: ISO, 2017.
4. Iqbal J., Jibran H., Al-Shamayleh A. S., Abbas F., Akhuzada A., Alharthi S. Z., Gani A. Comparative study of SPI success factors in global and in-house environment for large-scale software companies. *PeerJ Computer Science*. 2023. Vol. 9. Article e1656. DOI: 10.7717/peerj-cs.1656.
5. Kuhrmann M., Tell P., Hebig R., Klünder J., Münch J., Linssen O., Pfahl D., Felderer M., Prause C., Macdonell S., Nakatumba-Nabende J., Raffo D., Beecham S., Tüzün E., López G., Paez N., Fontdevila D., Licorish S., Küpper S., Richardson I. What Makes Agile Software Development Agile? *IEEE Transactions on Software Engineering*. 2021. Vol. 48, no. 9. P. 3523–3539. DOI: 10.1109/TSE.2021.3099532.
6. Chugh M. A Deep Drive into Knowledge Management for Improving Software Process and Product: Visions and Research Directions / M. Chugh. *Proceedings of 3rd International Conference on Machine Learning, Advances in Computing, Renewable Energy and Communication*. LNEE, vol. 915. Springer, 2022. P. 21–30. DOI: 10.1007/978-981-19-2828-4_2.
7. Naprawski T. Best Practices for Knowledge and Quality Management in IT Projects. *Procedia Computer Science*. 2023. Vol. 225. P. 3813–3821. DOI: 10.1016/j.procs.2023.10.377.
8. Packer Mohamed S. F., Baharom F., Deraman A., Tarawneh O., Yusof Y. Software Process Assessment and Certification: Application of the Analytic Hierarchy Process for Priority Determination. *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*. 2022. Vol. 14, no. 3. DOI: 10.13033/ijahp.v14i3.870.
9. Silvestre L., Bastarrica M., Hurtado J., Sánchez J. Formalizing the Goal-directed and Context-based Software Process Tailoring Method. *2021 XLVII Latin American Computing Conference (CLEI)*. IEEE, 2021. P. 1–9. DOI: 10.1109/CLEI53233.2021.9639963.
10. Fagerholm F., Felderer M., Fucci D., Unterkalmsteiner M., Marculescu B., Martini M., Wallgren L., Feldt R., Lehtelä B., Nagyvárad B., Khattak J. Cognition in Software Engineering: A Taxonomy and Survey of a Half-Century of Research. *ACM Computing Surveys*. 2022. Vol. 54, no. 11s. Article 226. DOI: 10.1145/3508359.
11. Kucharska W., Erickson S. Tacit knowledge acquisition & sharing, and its influence on innovations: A Polish/US cross-country study. *International Journal of Information Management*. 2023. Vol. 71. 102647. DOI: 10.1016/j.ijinm.2023.102647.
12. Nonaka I., Takeuchi H. *The Knowledge-Creating Company: How*

Japanese Companies Create the Dynamics of Innovation. Oxford University Press, 1995. 284 p.

13. Годлевський М. Д., Гончаренко Т. Є., Бурлаков Г. О., Малець Д. К. Шляхи підвищення якості процесу розробки програмного забезпечення на основі моделей зрілості. *Вісник Нац. техн. ун-ту «ХПІ». Сер.: Системний аналіз, управління та інформаційні технології*. 2019. № 2. С. 63–69. DOI: 10.20998/2079-0023.2019.02.11.
14. Рубін Е. Е., Годлевський М. Д., Бараш В. С. Структурний синтез моделі зрілості SPICE Integration. *Вісник Нац. техн. ун-ту «ХПІ». Сер.: Системний аналіз, управління та інформаційні технології*. 2015. № 58 (1167). С. 77–81.
15. Сокол В. Є., Годлевський М. Д., Гурт Д. О., Пашнєв А. А. Аналіз проблем підвищення якості процесу розробки програмного забезпечення IT-компаній з урахуванням її корпоративних знань. *Наука і техніка сьогодні*. 2025. № 10 (51). DOI: 10.52058/2786-6025-2025/10(51)-2004-2024.
16. Гурт Д. О. Класифікація IT-компаній як інструмент аналізу проблем підвищення якості процесу розробки програмного забезпечення / Д. О. Гурт, В. Є. Сокол. *Тези доповідей XXXIII міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2025*. Харків: НТУ «ХПІ», 2025.
17. Saaty T. L. *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*. McGraw-Hill, 1980. 287 p.
18. Dalkey N. C., Helmer O. An Experimental Application of the Delphi Method to the Use of Experts. *Management Science*. 1963. Vol. 9, No. 3. P. 458–467. DOI: 10.1287/mnsc.9.3.458.
19. ISO/IEC TS 33061:2021. *Information technology – Process assessment – Process assessment model for software life cycle processes*. Geneva: ISO, 2021. 73 p.
20. Triantaphyllou E., Sánchez A. A Sensitivity Analysis Approach for Some Deterministic Multi-Criteria Decision-Making Methods. *Decision Sciences*. 1997. Vol. 28, no. 1. P. 151–194. DOI: 10.1111/j.1540-5915.1997.tb01306.x.

References (transliterated)

1. ISO/IEC 33020:2019. *Information technology – Process assessment – Process measurement framework for assessment of process capability*. Geneva: ISO, 2019.
2. ISACA. *CMMI Model, Version 3.0*. ISACA, 2023.
3. ISO/IEC/IEEE 12207:2017. *Systems and software engineering – Software life cycle processes*. Geneva: ISO, 2017.
4. Iqbal J., Jibran H., Al-Shamayleh A., Abbas F., Akhuzada A., Alharthi S., Gani A. Comparative study of SPI success factors in global and in-house environment for large-scale software companies. *PeerJ Computer Science*. 2023, vol. 9, article e1656. DOI: 10.7717/peerj-cs.1656.
5. Kuhrmann M., Tell P., Hebig R., Klünder J., Münch J., Linssen O., Pfahl D., Felderer M., Prause C., Macdonell S., Nakatumba-Nabende J., Raffo D., Beecham S., Tüzün E., López G., Paez N., Fontdevila D., Licorish S., Küpper S., Richardson I. What Makes Agile Software Development Agile? *IEEE Transactions on Software Engineering*. 2021, vol. 48, no. 9, pp. 3523–3539. DOI: 10.1109/TSE.2021.3099532.
6. Chugh M. A Deep Drive into Knowledge Management for Improving Software Process and Product: Visions and Research Directions. *Proceedings of 3rd Int. Conf. on Machine Learning, Advances in Computing, Renewable Energy and Communication*. LNEE, vol. 915. Springer, 2022, pp. 21–30. DOI: 10.1007/978-981-19-2828-4_2.
7. Naprawski T. Best Practices for Knowledge and Quality Management in IT Projects. *Procedia Computer Science*. 2023, vol. 225, pp. 3813–3821. DOI: 10.1016/j.procs.2023.10.377.
8. Packer Mohamed S. F., Baharom F., Deraman A., Tarawneh O., Yusof Y. Software Process Assessment and Certification: Application of the Analytic Hierarchy Process for Priority Determination. *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*. 2022, vol. 14, no. 3. DOI: 10.13033/ijahp.v14i3.870.
9. Silvestre L., Bastarrica M., Hurtado J., Sánchez J. Formalizing the Goal-directed and Context-based Software Process Tailoring Method. *2021 XLVII Latin American Computing Conf. (CLEI)*. IEEE, 2021, pp. 1–9. DOI: 10.1109/CLEI53233.2021.9639963.
10. Fagerholm F., Felderer M., Fucci D., Unterkalmsteiner M., Marculescu B., Martini M., Wallgren L., Feldt R., Lehtelä B., Nagyvárad B., Khattak J. Cognition in Software Engineering: A Taxonomy and Survey of a Half-Century of Research. *ACM*

- Computing Surveys*. 2022, vol. 54, no. 11s, article 226. DOI: 10.1145/3508359.
11. Kucharska W., Erickson S. Tacit knowledge acquisition & sharing, and its influence on innovations: A Polish/US cross-country study. *International Journal of Information Management*. 2023, vol. 71, article 102647. DOI: 10.1016/j.ijinfomgt.2023.102647.
 12. Nonaka I., Takeuchi H. *The Knowledge-Creating Company: How Japanese Companies Create the Dynamics of Innovation*. Oxford University Press, 1995. 284 p.
 13. Godlevskiy M. D., Goncharenko T. Ye., Burlakov H. O., Malets D. K. Shliakhy pidvyshchennia yakosti protsesu rozrobky prohramnoho zabezpechennia na osnovi modeli zrilosti [Ways to improve the quality of the software development process based on maturity models]. *Visnyk Nats. tekhn. un-tu «KhPI»*. Ser.: *Systemnyi analiz, upravlinnia ta informatsiini tekhnolohii* [Bulletin of the National Technical University "KhPI". Ser.: System analysis, control and information technology]. Kharkiv, NTU "KhPI" Publ., 2019, no. 2, pp. 63–69. DOI: 10.20998/2079-0023.2019.02.11. (in Ukr.).
 14. Rubin E. E., Godlevskiy M. D., Barash V. S. Strukturny sintez modeli zrelosti SPICE Integration [Structural synthesis of the SPICE Integration maturity model]. *Visnyk Nats. tekhn. un-tu «KhPI»*. Ser.: *Systemnyi analiz, upravlinnia ta informatsiini tekhnolohii* [Bulletin of the National Technical University "KhPI". Ser.: System analysis, control and information technology]. Kharkiv, NTU "KhPI" Publ., 2015, no. 58 (1167), pp. 77–81. (in Russ.).
 15. Sokol V. Ye., Godlevskiy M. D., Hurt D. O., Pashniev A. A. Analiz problem pidvyshchennia yakosti protsesu rozrobky prohramnoho zabezpechennia IT-kompanii z urakhuvanniam yii korporatyvnykh znan [Analysis of problems of improving the quality of the software development process of an IT company taking into account its corporate knowledge]. *Nauka i tekhnika sьогодni* [Science and Technology Today]. 2025, no. 10 (51). DOI: 10.52058/2786-6025-2025-10(51)-2004-2024. (in Ukr.).
 16. Hurt D. O., Sokol V. Ye. Klyasifikatsiia IT-kompanii yak instrument analizu problem pidvyshchennia yakosti protsesu rozrobky prohramnoho zabezpechennia [Classification of IT companies as a tool for analyzing problems of improving the quality of the software development process]. *Tezy dopovidei XXXIII mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii MicroCAD-2025* [Abstracts of the XXXIII Int. Scientific and Practical Conf. MicroCAD-2025]. Kharkiv, NTU "KhPI" Publ., 2025. (in Ukr.).
 17. Saaty T. L. *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*. McGraw-Hill, 1980. 287 p.
 18. Dalkey N. C., Helmer O. An Experimental Application of the Delphi Method to the Use of Experts. *Management Science*. 1963, vol. 9, no. 3, pp. 458–467. DOI: 10.1287/mnsc.9.3.458.
 19. ISO/IEC TS 33061:2021. Information technology – Process assessment – Process assessment model for software life cycle processes. Geneva: ISO, 2021. 73 p.
 20. Triantaphyllou E., Sánchez A. A Sensitivity Analysis Approach for Some Deterministic Multi-Criteria Decision-Making Methods. *Decision Sciences*. 1997, vol. 28, no. 1, pp. 151–194. DOI: 10.1111/j.1540-5915.1997.tb01306.x.

Надійшла (received) 03.03.2026
Прийнята (accepted) 19.03.2026
Оприлюднена (published) 20.05.2026

UDC 004.41

V. Ye. SOKOL, Candidate of Technical Sciences (PhD), Docent, Researcher at the Learning Technologies Research Group, RWTH Aachen University, Templergraben 55, 52062 Aachen, Germany; e-mail: sokol@informatik.rwth-aachen.de; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4689-3356>

D. O. HURT, Postgraduate Student, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine; e-mail: denys.hurt@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-3880-9081>

M. D. GODLEVSKYI, Doctor of Technical Sciences, Professor, Director of the Institute of Computer Science and Information Technologies, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine; e-mail: Mykhailo.Hodlevskiy@khpi.edu.ua; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2872-0598>

A. A. PASHNIEV, Candidate of Technical Sciences (PhD), Senior Researcher, Docent at the Department of Information Systems and Technologies, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine; e-mail: pashniev@email.ua; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9150-6108>

MODELING THE INFLUENCE OF CORPORATE KNOWLEDGE AND ORGANIZATIONAL CONTEXT OF AN IT COMPANY ON LOCAL QUALITY CRITERIA OF THE SOFTWARE DEVELOPMENT PROCESS

The organizational context of an IT company has been parameterized by scale, business model, process maturity level, and resource constraints, and its corporate knowledge has been structurally decomposed into four classes: technological, process, empirical, and organizational, with defined inclusion criteria (formalizability, separation from the individual carrier, reusability). The local quality criteria – structuredness, manageability, predictability, measurability, adaptability, and optimizability – have been defined as evaluation criteria for an individual software development process, aligned with the nine process attributes of the SPICE model. A formalized three-level hierarchical model has been developed using the Analytic Hierarchy Process that establishes quantitative relationships among the quality of an individual software development process, its local criteria, and classes of corporate knowledge with regard to the organizational context of a specific IT company. A computational experiment has been conducted for the TEC.2 process «Stakeholder needs and requirements definition» in the context of a medium-sized outsourcing company, which revealed the dominance of empirical knowledge (43.4% of the global weight) and substantiated its prioritization. Sensitivity analysis confirmed the correct response of the ranking under contextual changes. The scientific novelty consists in establishing a quantitative dependence between classes of corporate knowledge and the quality of an individual software development process through local quality criteria with a linkage to the SPICE model attributes. The practical significance of the approach lies in replacing intuitive IT management decisions with a scientifically grounded mechanism for resource allocation toward the development of specific classes of corporate knowledge for the targeted improvement of the quality of specific software development processes. Further research will address resource limitations and the aggregation of individual process scores into the integral quality of the software development process.

Keywords: software development process, local quality criteria, corporate knowledge, organizational context, SPICE model, analytic hierarchy process, formalization of impact.

Повні імена авторів / Author's full names

Автор 1 / Author 1: Сокол Володимир Євгенович / Sokol Volodymyr Yevhenovych

Автор 2 / Author 2: Гурт Денис Олександрович / Hurt Denys Oleksandrovych

Автор 3 / Author 3: Годлевський Михайло Дмитрович / Godlevskiy Mykhailo Dmytrovych

Автор 4 / Author 4: Пашнев Андрій Анатолійович / Pashniev Andrii Anatoliiovych