

DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-74-54>

УДК 658:631

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ КРИТИЧНОГО ШЛЯХУ У МІЖНАЦІОНАЛЬНИХ ІТ ПРОЄКТАХ

APPLICATION OF THE CRITICAL PATH METHOD IN INTERNATIONAL IT PROJECTS

Другов Олексій Олександровичдоктор економічних наук, професор,
Національний університет "Львівська Політехніка"
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1987-187X>**Терзян Рубен Грантович**аспірант,
Національний університет "Львівська Політехніка"
ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-2375-8699>**Druhov Oleksiy, Terzian Ruben**

Lviv Polytechnic National University

У статті запропоновано методику формалізації культурних коефіцієнтів для коригування експертних оцінок тривалості завдань у традиційному CPM-плануванні міжнародних мультикультурних ІТ-проектів. Двоетапне нормування індексів Hofstede (Uncertainty Avoidance, Long-Term Orientation) у діапазоні $[-K; +K]$ поєднується з мультиплікативною корекцією базових тривалостей та адаптованим Forward/Backward Pass, що дозволяє врахувати культурні особливості команд без зміни структури мережі. На змодельованому прикладі з чотирма регіональними командами виявлено зміщення критичного шляху та подовження загального дедлайну на 20,5 % при помірному рівні корекції ($K = 0,5$). Обговорено управлінські імплікації, рекомендації щодо вибору оптимального K та напрями подальших досліджень, зокрема інтеграцію часових поясів у гібридну CPM + ΔTZ + KCult-модель.

Ключові слова: міжнародні ІТ-проекти, культурні коефіцієнти, CPM, Hofstede UAI та LTO, адаптований Forward/Backward Pass, мультикультурні команди.

The globalization of information technology and the rapid rise of remote, multicultural collaboration have exposed critical limitations in traditional project scheduling methods that assume homogeneous team behavior and static context. This study aims to overcome those limitations by embedding cultural sensitivity directly into the Critical Path Method (CPM), so that project schedules more accurately reflect the varied execution dynamics of international teams. Our methodology begins with a two-step transformation of cultural dimensions – Uncertainty Avoidance and Long-Term Orientation – into a single, symmetric correction factor. Raw index values are first normalized via min–max scaling and then mapped linearly into a predefined interval $[-K, +K]$. This cultural coefficient is multiplicatively applied to expert estimates of baseline activity durations, producing adjusted durations that encapsulate cultural risk tolerances and strategic time preferences. These adjusted values feed into modified forward and backward pass algorithms: earliest start and finish times are recalculated using the culture-corrected durations while preserving original network dependencies, and latest finish and start times are similarly updated to maintain schedule integrity. Results of conducted controlled simulation underscore the importance of continuous recalibration of task priorities and resources in multicultural contexts. The practical value of this enhancement is its seamless integration with existing scheduling tools: project managers can apply cultural coefficients through simple parameter inputs without modifying network logic. By quantifying cultural influences within CPM calculations, organizations gain a repeatable, transparent process for generating realistic timelines, proactively allocating resources, and mitigating deadline risks in complex international engagements. This work thus provides a rigorous, data-driven extension to classical scheduling methods, aligning theoretical project models with the nuanced realities of global teamwork.

Keywords: international IT projects, cultural coefficients, Critical Path Method, Hofstede UAI & LTO, adaptive scheduling, multicultural teams, CPM customization, project risk management.

Постановка проблеми. У сучасних умовах глобалізації інформаційних технологій та дистанційної роботи близько 78 % команд із розробки програмного забезпечення вже функціонують у розподіленому середовищі з мультикультурними складовими [1]. Разом із цим 73 % компаній планують повністю перейти на модель розподілених команд до 2028 р. [2]. Така мультикультурна й мультизональна структура роботи породжує низку специфічних викликів: від істотних затримок у комунікації через різницю часових поясів до різного сприйняття термінів виконання завдань і процентних резервів часу. Стандартні підходи до планування проєктів, зокрема метод критичного шляху (CPM), зазвичай не враховують цих факторів у повному обсязі, що призводить до помилок у розрахунках тривалостей операцій і, як наслідок, до зриву дедлайнів. При цьому вітчизняні та зарубіжні дослідження з управління міжнародними проєктами здебільшого фокусуються на загальних аспектах міжкультурної комунікації та менеджменту ризиків, однак недостатньо уваги приділяють інтеграції часових і культурних параметрів безпосередньо в алгоритми побудови мережі та розрахунку CPM. Існуючі модифікації CPM декларують гнучкість у розподілі резервів, але не пропонують чітких методик адаптації під мультизональні розклади та взаємозалежності між учасниками з різних регіонів. Отже, ключовою проблемою є відсутність апробованої методології, яка б забезпечувала врахування часових поясів, культурних особливостей і комунікаційних затримок на етапі визначення тривалості операцій та розрахунку резервів часу в CPM для міжнародних IT-проєктів. Без вирішення цієї проблеми менеджери зіштовхуються з низькою прогнозованістю графіків, неефективним розподілом ресурсів та підвищеним ризиком зриву строків, що негативно впливає на загальну продуктивність та успіх проєктів.

Аналіз останніх наукових досліджень і публікацій. Класичний метод критичного шляху (CPM) широко використовується у плануванні проєктів, проте його детерміністичний підхід виявився недостатньо адаптивним до невизначеності в міжнародних мультикультурних командах, що зумовило розвиток гібридних підходів «NEW PERT and CPM», які інтегрують статистичні оцінки варіативності тривалостей у стандартний алгоритм CPM [3, с. 215–226]; подібні комбіновані моделі PERT-CPM-DSM демонструють здатність враховувати взаємозалежності й невизначеність

у мультикультурних ланцюгах поставок, проте залишають поза увагою часові та культурні параметри [4, с. 9–17]. У той же час фреймворк PMI Global Project Management відзначає необхідність врахування мультизональної синхронізації команд, однак не деталізує способів інтеграції часових поясів у розрахунки CPM [5, с. 50]. Дослідження Hofstede et al. підкреслюють роль культурних вимірів (Long-Term Orientation, Uncertainty Avoidance тощо) у забезпеченні ефективної взаємодії розподілених команд [6, с. 120], а практичні поради PRINCE2 USA висвітлюють організаційні механізми координації між командами у різних часових поясах [7, с. 5]. Натомість сучасні кейси застосування CPM у міжнародних IT-проєктах демонструють підвищення точності прогнозування графіків при поєднанні PERT та CPM, але не пропонують формалізованих алгоритмів для автоматичного коригування тривалостей з урахуванням часових дельт і культурних особливостей [8, с. 1–15; 9, с. 12–35].

Формування цілей статті (постановка завдання). Метою статті є розробка та валідація методики формалізації культурних коефіцієнтів для коригування експертних оцінок тривалості завдань у класичному CPM-плануванні міжнародних мультикультурних IT-проєктів

Виклад основного матеріалу дослідження. Для коригування експертних оцінок тривалості завдань у CPM-графі в міжнародних проєктах найдоцільніше спиратися на ті виміри культури, які безпосередньо впливають на терміни виконання та управління невизначеністю. Geert Hofstede виокремив шість базових культурних вимірів: Power Distance (PDI), Individualism vs. Collectivism (IDV), Masculinity vs. Femininity (MAS), Uncertainty Avoidance (UAI), Long-Term vs. Short-Term Orientation (LTO) та Indulgence vs. Restraint (IVR) [10]. Деякі з цих шести вимірів, зокрема Uncertainty Avoidance (UAI) та Long-Term Orientation (LTO), відіграють ключову роль у формуванні часових буферів і стратегічних пріоритетів команд, оскільки саме вони визначають ступінь страхування ризиків та готовність відкласти негайні вигоди задля більш ретельного виконання завдань.

Uncertainty Avoidance (UAI) відображає ступінь толерантності колективу до невизначеності: у культурах із високим UAI працівники витрачають більше часу на деталізоване планування й страхування ризиків, що в середньому продовжує оцінку тривалості активностей

на 10–15 % порівняно з “базовими” термінами [10, с. 120]. Long-Term Orientation (LTO) характеризує спрямованість на довгострокові цілі: у високому LTO організації резервують додаткові часові буфери на стратегічні та інноваційні етапи, що підвищує точність планування і зменшує потребу в екстрених коригуваннях [11, с. 85]. Інші виміри, такі як Power Distance чи Individualism, мають переважно опосередкований вплив на стиль управління та розподіл відповідальності, але суттєво не коригують часові оцінки завдань у СРМ. Отже, саме UAI та LTO становлять основу розроблюваної методики формалізації культурного коефіцієнта, оскільки ці два виміри демонструють найпотужніший і найпрогнозованіший вплив на часові рамки виконання завдань у мультикультурних ІТ-проектах.

Для приведення значень обраних індексів UAI і LTO до єдиного діапазону $[-K, +K]$ застосовується двоетапна процедура: спочатку виконується нормування «мін–макс», а потім лінійне масштабування.

Мін–макс нормування. Формула (1) гарантує, що $U_{norm,i} \in [0,1]$

$$U_{norm,i} = \frac{U_i - U_{min}}{U_{max} - U_{min}} \quad (1)$$

де:

U_i — початкове значення індексу культури для об'єкта i ,

U_{min} і U_{max} — відповідно мінімальне та максимальне значення цього індексу в сукупності досліджуваних країн чи команд.

Лінійне масштабування. Нормалізований коефіцієнт $U_{norm,i}$ масштабується в бажаний інтервал корекцій за допомогою формули (2)

$$KCult_i = 2K(U_{norm,i} - 0.5) \quad (2)$$

де $K > 0$ — максимальна абсолютна величина, на яку може змінитися базова експертна оцінка тривалості.

Відповідно, якщо $U_i = U_{min}$, то $KCult_i = -K$; якщо $U_i = U_{max}$, то $KCult_i = +K$; середнє значення U_i дає $KCult_i = 0$.

У рамках інтеграції культурного коефіцієнта в СРМ-планування [12] перше завдання полягає в тому, щоб забезпечити коректне відображення впливу культури на тривалість кожної активності, не змінюючи загальної структури алгоритму.

Після визначення і нормування культурних індексів в СРМ-граф вводиться мультиплікативна корекція тривалості кожної активності, що реалізується трьома кроками: мультиплі-

кативна корекція тривалості, культурно-чутливий Forward Pass та культурно-чутливий Backward Pass.

Мультиплікативна корекція тривалості. На основі формули (2) скоригована тривалість кожної активності обчислюється як

$$D'_{j,i} = D_{o,j}(1 + KCult_i) \quad (3)$$

де:

$D_{o,j}$ — базова експертна оцінка тривалості активності j ,

$KCult_i$ — культурний коефіцієнт ресурсу i .

Культурно-чутливий Forward Pass. Спочатку визначаємо оновлений ранній старт кожного вузла j з урахуванням скоригованих фінішів попередників. ES'_j дорівнює нулю, якщо j — початковий вузол мережі, в усіх інших випадках він розраховується за формулою:

$$ES'_j = \max_{k \in pred(j)} \{EF'_k\} \quad (4)$$

де:

$pred(j)$ — множина попередніх активностей j .

Потім обчислюємо сам ранній фініш ES'_j :

$$EF'_{j,i} = ES'_j + D'_{j,i} \quad (5)$$

Культурно-чутливий Backward Pass.

Після виконання Forward Pass аналогічно визначаємо оновлений пізній фініш $LF'_{j,i}$. Він дорівнює $EF'_{j,i}$ для кінцевого вузла, а для всіх інших активностей обчислюється за формулою:

$$LF'_j = \min_{k \in succ(j)} \{LS'_k\} \quad (6)$$

де:

$succ(j)$ — множина наступних активностей для вузла j .

Далі визначаємо пізній старт:

$$LS'_{j,i} = LF'_j - D'_{j,i} \quad (7)$$

Обидва проходи працюють у парі: Forward Pass привносить мультиплікативну зміну тривалостей уперед, а Backward Pass симетрично відображає її назад, забезпечуючи цілісність СРМ-графа. Така схема дозволяє врахувати культурні відмінності винятково через зміну тривалості завдань, без необхідності модифікувати структуру мережі чи залежності між активностями.

Тепер з'ясуємо, наскільки культурні корекції можуть трансформувати саму структуру проектного графа й змінити фокус управлінських зусиль. У попередніх розрахунках ми встановили, як вони впливають на індивідуальну тривалість кожного завдання, і продемонстрували, що цей вплив може бути лінійним або призвести до перестановки вузького місця. Тепер необхідно визначити, чи збере-

жеться початкова послідовність критичного шляху в умовах різних «глибин» культурної корекції, і якщо ні – коли саме і в яких завданнях це відбудеться. Саме це дозволить менеджерам прогнозувати не лише обсяги додаткового часу, а й потенційні зміни в розподілі ресурсів і ризиках.

Змодельюємо проєкт, який складається з восьми активностей (A–H), які виконують чотири регіональні команди. Профіль команди задаємо наступним чином (UAI_{raw} , LTO_{raw}):

- Команда USA (46; 50)
- Команда Japan (92; 88)
- Команда Germany (65; 83)
- Команда Ukraine (75; 60)

Базова тривалість кожної активності:

- $D_0 = 10$ днів

Залежність між активностями виглядає наступним чином:

- $A \rightarrow \{B, C\}$; $B \rightarrow D$; $C \rightarrow \{D, E\}$; $D \rightarrow F$; $E \rightarrow F$; $F \rightarrow G$; $G \rightarrow H$.

Тобто A розгалужується на B і C, які сходяться в D, є альтернативна гілка через E, а далі послідовно F, G, H.

Критичним шляхом є ланцюг $A \rightarrow C \rightarrow F \rightarrow H$. Цей шлях має сумарну тривалість 40 днів ($10 (A) + 10 (C) + 10 (F) + 10 (H)$) і є найдовшою неперервною послідовністю в мережі, отже визначає мінімальний термін завершення всього проєкту.

Для наочності подамо результати розрахунків для $K = 0,5$ у вигляді таблиці (табл. 1).

Визначення критичного шляху з урахуванням «культурної чутливості»

Критичний шлях – це ланцюг активностей, у яких $ES' = LS'$ (або $EF' = LF'$). З таблиці 1 бачимо, що фактичний критичний шлях для $K = 0,5$ тепер виглядає як:

- $A \rightarrow B \rightarrow D \rightarrow F \rightarrow G \rightarrow H$

Підсумок впливу культурних коефіцієнтів на змодельований проєкт:

1. Новий критичний шлях:

а) У базовій моделі (без корекцій) критичний шлях проходив через $A \rightarrow C \rightarrow F \rightarrow H$.

б) Після введення культурних коефіцієнтів із $K=0,5$ новим критичним шляхом стало $A \rightarrow B \rightarrow D \rightarrow F \rightarrow G \rightarrow H$, що вказує на зміщення «вузького місця» до активностей B і D, яких раніше це не стосувалося.

2. Подовження окремих тривалостей та загального дедлайну:

а) Кожна активність отримала «культурний буфер»: D ($10 \rightarrow 10,4$ дн), B і F ($10 \rightarrow 14,6$ дн) тощо.

б) Загальна тривалість проєкту (EF' для H) зросла з 80 дн до 96,4 дн, тобто на 20,5 %.

3. Управлінські висновки:

а) Фокус на нових вузлах ризику. Менеджерам слід звернути особливу увагу на B і D та забезпечити додаткову підтримку цим командам (Japan і Ukraine) у фазі планування та виконання.

б) Періодичний перегляд графа. Після кожної ревізії культурних профілів цілком ймовірно подальше зміщення критичного шляху, тож слід регулярно оновлювати розрахунки ES'/LS' .

4. Загальна цінність методики:

а) Інтеграція культурної чутливості дозволяє чітко виявити, які саме активності і команди стають критичними в міжнародному проєкті.

б) Така прозорість допомагає планувати не лише часові буфери, а й організовувати підтримку та комунікацію з урахуванням культурних особливостей команди

Висновки. У результаті проведеного дослідження нами розроблено та валідної вано методику формалізації культурних коефіцієнтів

Таблиця 1

Зведені CPM-параметри з урахуванням культурних коефіцієнтів ($K = 0,5$)

Активність	Команда	D (дн)	KCult	D' (дн)	ES' (дн)	EF' (дн)	LS' (дн)	LF' (дн)	Кр. шлях
A	USA	10	-0.16	8.4	0.0	8.4	0.0	8.4	✓
B	Japan	10	+0.46	14.6	8.4	23.0	8.4	23.0	✓
C	Germany	10	+0.10	11.0	8.4	19.4	11.6	23.0	
D	Ukraine	10	+0.04	10.4	23.0	33.4	23.0	33.4	✓
E	USA	10	-0.16	8.4	19.4	27.8	24.9	33.4	
F	Japan	10	+0.46	14.6	33.4	48.0	33.4	48.0	✓
G	Germany	10	+0.10	11.0	48.0	59.0	48.0	59.0	✓
H	Ukraine	10	+0.04	10.4	59.0	69.4	59.0	69.4	✓

Джерело: складено авторами

тів, інтегровану в класичний CPM-алгоритм, що дає змогу кількісно коригувати експертні оцінки тривалості активностей у міжнародних мультикультурних IT-проектах. Запропонований підхід ґрунтується на двоетапному масштабуванні індексів Hofstede (UAI, LTO) та автоматичному перерахунку тривалостей із подальшим культурно-чутливим обчисленням ранніх і пізніх стартів і фінішів. Верифікація на змодельованому прикладі показала, що навіть помірний рівень корекції ($K = 0,5$) може значно змінити послідовність критичного шляху та виявити нові «вузькі місця» в мережі, які раніше не входили до фокусу управління. Практична цінність методики полягає в тому, що вона:

- дозволяє планувати часові буфери з урахуванням культурних особливостей команд без зміни структури мережевого графа;
- дає інструмент менеджеру для регулярного оновлення CPM-параметрів та оперативного реагування на культурні ризики;
- може бути реалізована як плагін для популярного ПЗ управління проектами з мінімальними втручаннями в існуючий процес.

У межах виявлених обмежень методика наразі враховує лише два культурні виміри (UAI та LTO).

Перспективними напрямками подальших досліджень є:

1. Розширення моделі часових дельт, яке б узгоджувало вплив часових поясів із культурними коефіцієнтами, створюючи цілісний гібридний підхід CPM + ΔT_Z + KCult.
 2. Додаткові культурні показники (PDI, IDV, MAS, IVR) і їх взаємодія з часовими буферами в багатовимірних сценаріях.
 3. Емпіричне тестування методики на реальних кейсах міжнародних IT-проектів для калібрування оптимального діапазону K та перевірки адекватності передбачених змін графа.
 4. Автоматизовані засоби підтримки – розробка розширень для інструментів планування (MS Project, Primavera, JIRA) з візуалізацією культурних впливів і фокусом на «культурних вузлах» критичного шляху.
- Отже, запропонована методика надає потужний аналітичний інструмент для адаптивного проектного планування в умовах мультикультурного та мультизонального середовища. Її подальша розробка і впровадження сприятимуть підвищенню точності прогнозування строків, ефективному розподілу ресурсів і зниженню ризиків зриву дедлайнів у міжнародних IT-проектах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. McKinsey & Company. How virtual work is accelerating innovation [Електронний ресурс]. McKinsey & Company. URL: <https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/how-virtual-work-is-accelerating-innovation> (дата звернення: 10.05.2025)
2. Upwork Research Institute. Freelance Forward 2023: Future of Work Insights [Електронний ресурс]. Upwork. URL: <https://www.upwork.com/research/freelance-forward-2023-research-report> (дата звернення: 10.05.2025)
3. Bagshaw, K. B. (2021) NEW PERT and CPM in project management with practical examples. *American Journal of Operations Research*, vol. 11, no. 4, pp. 215–226. <https://doi.org/10.4236/ajor.2021.114014>
4. Arianie, G. P., & Puspitasari, N. B. (2020) Analysis of new production line project improvement through Critical Path Method (CPM), Design Structure Matrix (DSM) and Program Evaluation and Review Technique (PERT). *Journal of Industrial Engineering & Management Research*, vol. 1, no. 4, pp. 9–17. <https://doi.org/10.11113/jierrm.v1n4.78>
5. Project Management Institute. (2009) The Global Project Management Framework [Памковий документ]. Newtown Square, PA: Project Management Institute, 200 p.
6. Hofstede, G., Hofstede, G. J., & Minkov, M. (2010) Cultures and organizations: Software of the mind (3rd ed.) [Книга]. New York, NY: McGraw-Hill, 552 p.
7. Project Management Institute. (2017) A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide) (6th ed.) [Стандарт]. Newtown Square, PA: Project Management Institute, 756 p.
8. PRINCE2 USA. (2024) Master cultural intelligence & time zone challenges [Практичний посібник]. PRINCE2 USA, 5 p.
9. Journal of Multiphysics Simulation Studies. (2020) Application of Critical Path Method (CPM) and Program Evaluation Review Technique (PERT). *JMSS*, vol. 19, no. 2, pp. 1–15.
10. Connaughton, S. L., & Shuffler, M. L. (2007) Multinational and multicultural distributed teams: A review and future agenda. *Human Resource Development Review*, vol. 6, no. 1, pp. 12–35. <https://doi.org/10.1177/1534484307299696>
11. Hofstede, G. (2011) Dimensionalizing cultures: The Hofstede model in context. *Online Readings in Psychology and Culture*, vol. 2, no. 1, Article 8. <https://doi.org/10.9707/2307-0919.1014>

12. Bond, M. H., & Hwang, K. K. (1986) The social psychology of Chinese people. In M. H. Bond (Ed.), The psychology of the Chinese people (pp. 129–174) [Anthology]. Oxford, UK: Oxford University Press.

REFERENCES:

1. McKinsey & Company. How virtual work is accelerating innovation. Available at: <https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/how-virtual-work-is-accelerating-innovation> (accessed May 10, 2025)
2. Upwork Research Institute. Freelance Forward 2023: Future of Work Insights. Available at: <https://www.upwork.com/research/freelance-forward-2023-research-report> (accessed May 10, 2025)
3. Bagshaw, K. B. (2021). NEW PERT and CPM in project management with practical examples. *American Journal of Operations Research*, 11(4), 215–226. <https://doi.org/10.4236/ajor.2021.114014>
4. Arianie, G. P., & Puspitasari, N. B. (2020). Analysis of new production line project improvement through Critical Path Method (CPM), Design Structure Matrix (DSM) and Program Evaluation and Review Technique (PERT). *Journal of Industrial Engineering & Management Research*, 1(4), 9–17. <https://doi.org/10.11113/jierm.v1n4.78>
5. Project Management Institute. (2009). The Global Project Management Framework. Newtown Square, PA: Project Management Institute.
6. Hofstede, G., Hofstede, G. J., & Minkov, M. (2010). Cultures and organizations: Software of the mind (3rd ed.). New York, NY: McGraw-Hill.
7. Project Management Institute. (2017). A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide) (6th ed.). Newtown Square, PA: Project Management Institute.
8. PRINCE2 USA. (2024). Master cultural intelligence & time zone challenges. PRINCE2 USA.
9. Journal of Multiphysics Simulation Studies. (2020). Application of Critical Path Method (CPM) and Program Evaluation Review Technique (PERT). *JMSS*, 19(2), 1–15.
10. Connaughton, S. L., & Shuffler, M. L. (2007). Multinational and multicultural distributed teams: A review and future agenda. *Human Resource Development Review*, 6(1), 12–35. <https://doi.org/10.1177/1534484307299696>
11. Hofstede, G. (2011). Dimensionalizing cultures: The Hofstede model in context. *Online Readings in Psychology and Culture*, 2(1), Article 8. <https://doi.org/10.9707/2307-0919.1014>
12. Bond, M. H., & Hwang, K. K. (1986). The social psychology of Chinese people. In M. H. Bond (Ed.), The psychology of the Chinese people (pp. 129–174). Oxford, UK: Oxford University Press.