

УДК 005.6

DOI <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2025.3.2.37>**М. В. КУЗЬ**

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри інформаційних технологій
Карпатський національний університет імені Василя Стефаника
ORCID: 0000-0002-9875-1579

Б. С. НЕЗАМАЙ

кандидат технічних наук, доцент,
завідувач кафедри інформаційних технологій
Карпатський національний університет імені Василя Стефаника
ORCID: 0000-0003-0402-6040

Р. О. ТИЧКОВСЬКИЙ

кандидат технічних наук,
доцент кафедри інформаційних технологій
Карпатський національний університет імені Василя Стефаника
ORCID: 0009-0001-5136-2648

І. Б. ПОЛАТАЙКО

асистент кафедри інформаційних технологій
Карпатський національний університет імені Василя Стефаника
ORCID: 0000-0002-9111-0162

КВАЛІМЕТРІЯ ВИМОГ ДО ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ НА ПОЧАТКОВИХ ЕТАПАХ ЇХ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ

У даній статті вирішено науково-практичну проблему кількісної оцінки вимог до програмних засобів (ПЗ) на початкових етапах їхнього життєвого циклу. Традиційні підходи не забезпечують достатньої об'єктивізації процесу аналізу вимог, які часто є якісними та суб'єктивними, що створює високі ризики неефективного розподілу ресурсів та помилок у плануванні. Запропонований кваліметричний підхід ґрунтується на методології шкалювання для переведення нечислових характеристик вимог у точні кількісні значення, що є необхідною умовою для їхнього математичного аналізу та порівняння. Центральним елементом роботи є розроблений метод створення шкал вимог, який формалізує процес експертного оцінювання і забезпечує можливість надання числового рангу якісним критеріям. Зокрема, було створено та обґрунтовано конкретну шкалу для характеристики «Необхідність» вимоги, що дозволяє стандартизовано оцінювати її критичність, чітко розрізняючи обов'язкові, важливі та бажані функціональні/нефункціональні аспекти ПЗ. Це є основою для ефективної пріоритизації. Для інтегральної оцінки складних, багатofакторних властивостей вимог впроваджено використання апарату зваженого математичного очікування. Цей механізм дозволяє розраховувати комплексні характеристики, враховуючи не лише отримані бальні оцінки, але й вагомність (коефіцієнт значущості) кожного окремого критерію, забезпечуючи тим самим реалістичну та всебічну оцінку загальної «цінності» вимоги для проекту. Практична значущість роботи полягає в підвищенні прозорості та обґрунтованості процесу управління вимогами, що дає змогу командам розробників приймати обґрунтовані рішення щодо обсягу робіт та планування ітерацій ще до початку активної фази програмування. Наукова новизна полягає в адаптації та систематизації кваліметричного апарату для специфічної області інженерії вимог на ранньому етапі життєвого циклу. Перспективи подальших досліджень включають: розробку нових шкал для додаткових ключових характеристик (наприклад, «складність реалізації», «ризиковість»), емпіричну валідацію запропонованої методики на різноманітних реальних проектах для підтвердження її універсальності, а також автоматизацію процесу оцінювання та розрахунків шляхом створення програмних інструментів, інтегрованих із системами управління вимогами. Також перспективним є дослідження методів динамічного перерахунку пріоритетів в умовах змін, що базуються на нечіткій логіці або машинному навчанні.

Ключові слова: програмне забезпечення, вимоги, якість вимог, кваліметрія.

M. V. KUZ

Doctor of Science, Professor,
Professor at the Information Technology Department
Vasyl Stefanyk Carpathian National University
ORCID: 0000-0002-9875-1579

B. S. NEZAMAI

Candidate of Technical Science, Associate Professor,
Head of the Information Technology Department
Vasyl Stefanyk Carpathian National University
ORCID: 0000-0003-0402-6040

R. O. TYCHKOVSKYI

Candidate of Technical Science,
Associate Professor at the Information Technology Department
Vasyl Stefanyk Carpathian National University
ORCID: 0009-0001-5136-2648

I. B. POLATAIKO

Assistant at the Information Technology Department
Vasyl Stefanyk Carpathian National University
ORCID: 0000-0002-9111-0162

QUALIMETRY OF SOFTWARE REQUIREMENTS AT THE INITIAL STAGES OF THEIR LIFE CYCLE

This article addresses the scientific and practical problem of quantitative assessment of software requirements (SR) at the initial stages of their life cycle. Traditional approaches lack sufficient objectivity in the requirements analysis process, as requirements are often qualitative and subjective, which creates high risks of inefficient resource allocation and planning errors. The proposed qualimetric approach is based on a scaling methodology designed to convert non-numerical characteristics of requirements into precise quantitative values, a necessary condition for their mathematical analysis and comparison. The central element of this work is the developed method for creating requirements scales, which formalizes the expert evaluation process and allows for assigning a numerical rank to qualitative criteria. Specifically, a concrete scale for the "Necessity" characteristic of a requirement was created and justified. This scale allows for standardized assessment of the requirement's criticality, clearly distinguishing between mandatory, important, and desirable functional/non-functional aspects of the SR. This forms the basis for effective prioritization. For the integral assessment of complex, multi-factor requirement properties, the use of the weighted mathematical expectation apparatus has been implemented. This mechanism enables the calculation of complex characteristics by taking into account not only the acquired scores but also the weight (significance coefficient) of each individual criterion, thereby ensuring a realistic and comprehensive assessment of the overall "value" of the requirement for the project. The practical significance of the work lies in enhancing the transparency and justification of the requirements management process, allowing development teams to make informed decisions regarding the scope of work and iteration planning even before the active programming phase begins. The scientific novelty lies in the adaptation and systematization of the qualimetric apparatus for the specific domain of requirements engineering at the early stage of the life cycle. Perspectives for further research include: the development of new scales for additional key characteristics (e.g., "implementation complexity", "risk level"), empirical validation of the proposed methodology on various real-world projects to confirm its universality, and the automation of the assessment and calculation process through the creation of software tools integrated with requirements management systems. Also promising is the investigation of methods for dynamic priority recalculation under changing conditions, based on fuzzy logic or machine learning.

Key words: software, requirements, quality of requirements, qualimetry.

Постановка проблеми

Сучасна розробка програмного забезпечення (ПЗ) дедалі більше стикається з викликами, пов'язаними зі зростаючою складністю систем, динамічними змінами ринкових умов та потребами користувачів. У цьому контексті етап формування та аналізу вимог є критично важливим. Помилки та неточності, допущені на ранніх стадіях життєвого циклу ПЗ, виявляються найдорожчими для виправлення на пізніших етапах [1].

Однією з ключових проблем, що виникають при роботі з вимогами, є відсутність об'єктивних та уніфікованих методів їхньої кількісної оцінки. Вимоги описуються якісно, що призводить до неоднозначності інтерпретації, суб'єктивності при пріоритизації та складнощів в управлінні змінами. Ця проблема гостро стоїть на ранніх етапах життєвого циклу, коли вимоги ще знаходяться на стадії виявлення та аналізу. Саме тут необхідно мати інструментарій для швидкої та ефективної оцінки таких параметрів, як «необхідність», «повнота», «узгодженість»,

«тестованість», «однозначність» та вплив якості вимог на якість розроблюваного продукту. Без такої кваліметриї ризик «повзучого» обсягу робіт, перевищення бюджету та термінів, а також низької задоволеності кінцевого користувача значно зростає.

Предметом даної статті є розробка системи експертних шкал для кількісної оцінки вимог до програмних засобів. Метою дослідження є створення практичного інструментарію, який дозволить підвищити об'єктивність та прозорість процесу аналізу та пріоритизації вимог, починаючи з найперших етапів життєвого циклу ПЗ. Особлива увага буде приділена диференційованому підходу до оцінки бізнес-вимог, вимог користувача та функціональних вимог, що дозволить більш точно відобразити їхню специфіку та критичність.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Якість кінцевого програмного продукту прямо пропорційна якості специфікації вимог (SRS). Проте, створення точної та повної специфікації залишається складним завданням, яке часто призводить до недоліків, що можуть залишатись непоміченими до пізніх етапів розробки [2].

Використання великих мовних моделей у сфері програмної інженерії є однією з найновіших та найперспективніших тенденцій. Систематичні огляди показують, що великі мовні моделі мають потенціал для трансформації інженерії вимог, зокрема, для підвищення точності та зменшення неоднозначності в специфікаціях. Вони можуть використовуватися для генерації фрагментів коду, верифікації вимог та автоматизації створення тестових випадків. Проте, використання великих мовних моделей для роботи з вимогами не позбавлена проблем. Дослідження виявили проблеми, пов'язані з обробкою доменних вимог, ефективністю підказок (prompt engineering) та нездатністю працювати зі структурованими вхідними даними, що може призводити до помилок та невідповідностей у результатах [3].

Аналіз показує, що, незважаючи на існування всеосяжних і науково обґрунтованих моделей якості вимог, їх практичне застосування в індустрії є непослідовним. Це часто пов'язано з контекстуальними факторами, такими як розмір команди, тип проєкту та відсутність стандартизованих робочих процесів. Дослідження підкреслюють, що проблема полягає не стільки в самій якості моделей, скільки в їхній інтеграції в реальне бізнес-середовище [2, 3, 4].

Формулювання мети дослідження

Предметом даної статті є розробка системи експертних шкал для кількісної оцінки вимог до програмних засобів, яка буде зручною для невеликих команд і дозволить перейти до кількісної оцінки характеристик вимог перш за все для невеликих проєктів. Метою дослідження є створення практичного інструментарію, який дозволить підвищити об'єктивність та прозорість процесу аналізу та пріоритизації вимог, починаючи з найперших етапів життєвого циклу ПЗ. Особлива увага буде приділена диференційованому підходу до оцінки бізнес-вимог, вимог користувача та функціональних вимог, що дозволить більш точно відобразити їхню специфіку та критичність.

Викладення основного матеріалу дослідження

З метою розв'язання поставленої задачі розроблено алгоритм для створення шкали для кількісної оцінки вимог. Цей алгоритм сформульовано як набір кроків, наведених далі.

Крок 1. Для обраної характеристики вимог формулюється критерій, на основі якого встановлюється відношення за типом низька чи висока якість розглядуваної характеристики.

Крок 2. Вибір коротких змістовних маркерів, які для даних характеристик якості відповідають інтуїтивно зрозумілим поняттям оцінки якості за обраним критерієм.

Крок 3. Вибір крайніх значень діапазону числової шкали та ключових віх на шкалі; при чому кількість точок має відповідати кількості обраних маркерів на попередньому кроці.

Крок 4. Для кожної числової віхи на шкалі описується конкретний маркер з поясненням, який гарантує однозначне розуміння цієї шкали при користуванні нею.

Розроблено шкали для оцінки характеристик якості вимог. В таблиці 1 наведено шкалу для оцінювання характеристики «необхідність» для бізнес вимог. В таблицях 2 і 3 наведено розроблену шкалу для оцінювання характеристики «необхідність» для користувацьких вимог та вимог до функцій. Аналогічним чином можна показати шкали для решти типових характеристик вимог.

Таблиця 1

Шкала для оцінки характеристики «необхідність» для бізнес вимог

Змістовний маркер	Значення шкали	Пояснення маркера
відсутня	0	Вимога не відображає реальну потребу бізнесу
незначна	0,2	Реалізація цієї вимоги зробить роботу користувачів трохи зручнішою, але вона не вирішує важливих проблем бізнесу
бажана	0,5	Вимога вирішує певну проблему або значно покращує частину робочого процесу
пріоритетна	0,8	Реалізація цієї вимоги критично впливає на ефективність, продуктивність або задоволеність користувачів. Її відсутність призведе до значних незручностей, або значної втрати часу
критична	1	Абсолютно необхідна вимога. Без неї система є непридатною для використання

Таблиця 2

Шкала для оцінки характеристики «необхідність» для користувацьких вимог

Змістовний маркер	Значення шкали	Пояснення маркера
Неактуальна	0	Ця вимога не відображає реальну потребу користувача або навіть є небажаною. Її реалізація може ускладнити інтерфейс або відволікати користувача
Зручна для покращення	0,2	Реалізація цієї вимоги зробить роботу користувача трохи зручнішою або приємнішою, але вона не вирішує важливих проблем
Помірно бажана	0,5	Вимога вирішує певну помірну проблему користувача або значно покращує частину його робочого процесу. Її відсутність змусить шукати обхідні шляхи
Дуже важлива	0,8	Реалізація цієї вимоги критично впливає на ефективність, продуктивність або задоволеність користувача. Її відсутність призведе до значних незручностей або значної втрати часу для користувача
Обов'язкова/ Незамінна	1	Абсолютно необхідна вимога для того, щоб користувач міг виконати свою основну задачу. Без неї система є непридатною для використання або не задовольняє базові очікування користувача, що може змусити його відмовитись від продукту

Таблиця 3

Шкала для оцінки характеристики «необхідність» для вимог до функцій

Змістовний маркер	Значення шкали	Пояснення маркера
зайва	0	Ця функція не має жодної цінності, не підтримує жодної бізнес, чи користувацької вимоги, або навіть може бути шкідливою для системи (наприклад, викликає конфлікти)
другорядна	0,2	Функція, яка може бути реалізована для невеликого покращення, але її відсутність не впливає на основну роботу системи або задоволення ключових вимог
підтримуюча	0,5	Функція, яка підтримує одну або кілька бізнес- чи користувацьких вимог, робить систему більш повною або ефективною. Її відсутність вимагатиме ручних обхідних шляхів або знизить зручність
ключова	0,8	Функція є критично важливою для реалізації однієї або кількох високих бізнес- чи користувацьких вимог. Вона може бути залежною для інших важливих функцій або безпосередньо забезпечувати основну функціональність системи
фундаментальна	1	Основна функція, без якої система взагалі не може виконувати свою першочергову місію або не може функціонувати відповідно до мінімальних очікувань

Для оцінювання якості вимог на основі розроблених таким чином шкал (наприклад, для: необхідності, повноти, узгодженості, однозначності, тестованості та відслідковуваності) запропоновано використовувати наступний підхід.

Для інтегрального оцінювання вимоги кожна характеристика має свій ваговий коефіцієнт W_i , при чому $\sum W_i = 1$. Тут W_i встановлюються експертним шляхом для проєкту, в частковому випадку може бути прийнято $W_1 = W_2 = \dots W_N$ де N – кількість характеристик вимог. Комплексна характеристика вимоги (I) встановлюється як середнє зважене характеристик якості вимоги P_i :

$$I = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N P_i \cdot W_i.$$

Аналогічним чином, методом зважених середніх пропонується встановлювати комплексну оцінку якості груп вимог (наприклад, бізнес вимог), та проєкту в цілому. Також можуть встановлюватись обмежуючі мінімально допустимі граничні значення по характеристиках вимог, встановлення яких має призвести до перегляду останніх.

Висновки

У статті вирішено важливу проблему кількісного оцінювання вимог до програмних засобів на початкових етапах їхнього життєвого циклу. Запропонований кваліметричний підхід забезпечує необхідну об'єктивність процесу аналізу вимог, що має вирішальне значення для мінімізації проєктних ризиків та забезпечення високої якості кінцевого продукту. Основним досягненням є розробка методу шкалювання вимог, який, спираючись на принципи кваліметрії та експертного оцінювання, формалізує переведення якісних характеристик вимог у точні кількісні значення, що робить можливим їх коректне порівняння та подальші розрахунки. Як приклад, було створено шкалу для характеристики «Необхідність», що дозволяє стандартизовано оцінювати критичність та пріоритетність кожної вимоги, чітко розмежовуючи обов'язкові, бажані та другорядні аспекти ПЗ. Додатково, запропоновано ефективний механізм розрахунку комплексних характеристик через використання зваженого математичного очікування. Такий підхід забезпечує інтегральне оцінювання загальної «цінності» вимоги. Практичне впровадження розроблених методів дасть змогу командам розробників та замовникам приймати обґрунтовані рішення щодо обсягу робіт, розподілу ресурсів та планування ітерацій ще до початку активної фази програмування. Подальші дослідження у сфері кваліметрії вимог до ПЗ мають бути сфокусовані на розширенні та валідації шкал для інших ключових характеристик (наприклад, «складність реалізації» та «ризиковість»), а також на інтеграції з автоматизованими засобами для створення інструментів, що автоматизують оцінювання та розрахунки. Важливими

напрямами є також дослідження динамічної кваліметрії вимог для перерахунку пріоритетів в умовах постійних змін, а також удосконалення механізмів обробки експертних даних, що враховують компетентність та консенсус експертів. Реалізація цих кроків забезпечить перехід від інтуїтивного до точної інженерії вимог, істотно підвищуючи ефективність розробки програмного забезпечення.

Список використаної літератури

1. Говорущенко Т. О., Боднар М. А., Кушнір В. О. Сучасні проблеми формування та аналізу вимог до програмного забезпечення. *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*. 2019. № 1. С. 45–53. <https://doi.org/10.31891/2219-9365-2019-63-1-45-53>
2. Ramesh, M. R., Reddy, Ch. S. Metrics for software requirements specification quality quantification. *Computers & Electrical Engineering*. 2021. 96pp. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2021.107445>
3. Han Seong Son Using Large Language Models in Software Requirements Analysis. *Edelweiss Applied Science and Technology*. 2025. 3(9). P. 856–863. <https://doi.org/10.55214/25768484.v9i3.5357>
4. Gobov, D., and Zuieva, O. 2023. Identifying the dependencies between IT project context and business analysis document content. *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, no. 2(24), 39–53. <https://doi.org/10.30837/itssi.2023.24.039>

References

1. Hovorushchenko T. O., Bodnar M. A., Kushnir V. O. (2019) Cuchasni problemy formuvannya ta analizu vymoh do prohramnoho zabezpechennya. *Vymiryuval'na ta obchyslyuval'na tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh*. № 1. С. 45–53.
2. Ramesh, M. R., Reddy, Ch. S. (2021) Metrics for software requirements specification quality quantification. *Computers & Electrical Engineering*. 96pp. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2021.107445>
3. Han Seong Son Using Large Language Models in Software Requirements Analysis. *Edelweiss Applied Science and Technology*. 2025. 3(9). P. 856–863. <https://doi.org/10.55214/25768484.v9i3.5357>
4. Gobov, D., and Zuieva, O. (2023) Identifying the dependencies between IT project context and business analysis document content. *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, no. 2(24), 39–53. <https://doi.org/10.30837/itssi.2023.24.039>

Дата першого надходження рукопису до видання: 20.09.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 15.10.2025

Дата публікації: 28.11.2025