

О. В. Нестеренко

МЕТОД ПРІОРИТЕЗАЦІЇ ВИМОГ В ПРОГРАМНІЙ ІНЖЕНЕРІЇ

У процесах розробки програмного забезпечення ключову роль відіграє пріоритезація вимог. Належне збирання вимог та їхня об'єктивна пріоритезація можуть забезпечити послідовний та ефективний розвиток програмного проєкту. Зі збільшенням складності програмного забезпечення, що є ознакою сьогодення, зростають і проблеми, пов'язані із визначенням вимог. Усе складнішим завданням стає виявлення в потоці побажань і рекомендацій найважливішого, найсуттєвішого, того, з чого треба починати розроблення і що варте найбільшої уваги. Задача ранжування вимог є багатокритеріальною і викликає значні когнітивні навантаження. Більшість із дослідників та фахівці пропонують для ухвалення рішень у такому середовищі експертні методи, які певною мірою дають змогу вирішувати поставлені задачі. Однак серед відомих методів пріоритезації вимог практично усі передбачають якісний описовий аналіз, що спирається на техніки інтелектуального штурму. В той же час в сучасних умовах цифровізації перспективнішим є забезпечення підтримки рішень на основі вичерпного подання інформаційної моделі предметної області та опрацювання за допомогою інформаційних технологій кількісних оцінок альтернатив. Також важливою можливістю сучасних технологій є забезпечення візуалізації процесів, пов'язаних із прийняттям рішень. Отже, у цій роботі досліджується комплексний метод пріоритезації, який передбачає вичерпне подання інформаційної картини предметної області, зокрема у вигляді комп'ютерних онтологій, застосування для порівняння вимог кількісного методу аналізу ієрархій та візуалізовані у графах дані щодо розгляду альтернатив. Додаткове використання модифікованої матриці SWOT дозволяє проводити дезагрегування вимог до окремих їхніх характеристик та врахування переваг для оцінювання проблем. Наявність таких інструментів та можливостей інформаційних технологій підтверджують ефективність та стабільність запропонованого методу.

Ключові слова: інженерія вимог, комп'ютерні онтології, візуалізація, графи, AHP, SWOT.

О. В. Nesterenko

THE METHOD OF REQUIREMENTS PRIORITIZATION IN SOFTWARE ENGINEERING

Abstract: In software development processes, requirements prioritization plays a key role. Proper gathering of requirements and their objective prioritization can ensure a sequential and effective development of a software project. With the increasing complexity of software, which is a characteristic of today, problems related to defining requirements also increase. It becomes increasingly challenging to identify the most important and essential requirements in a stream of wishes and recommendations, determining what should be the starting point of development and where the most attention should be focused. The task of requirements prioritization is multi-criterial and poses significant cognitive loads. Most researchers and professionals suggest expert methods for decision-making in such environments, which to some extent help solve the tasks at hand. However, among the known requirements prioritization methods, practically all involve qualitative descriptive analysis based on brainstorming techniques. At the same time, in the modern conditions of digitalization, providing decision support based on a comprehensive presentation of the information model of the subject area and processing through information technologies for quantitative assessment of alternatives is more promising. Another important capability of modern technologies is visualization of decision-making processes. Thus, this work explores a comprehensive prioritization method that involves a full presentation of the information picture of the subject area, including in the form of computer ontologies, applying a quantitative AHP method for comparing requirements, and visualized data in graphs for considering alternatives. Additional use of a modified SWOT matrix allows for the disaggregation of requirements into their individual characteristics and consideration of their advantages for problem evaluation. The existence of such tools and the capabilities of information technologies confirm the effectiveness and stability of the proposed method.

Key words: requirements engineering, computer ontologies, visualization, graphs, AHP, SWOT

Вступ

Інженерія вимог до програмного забезпечення (ПЗ) є поширеною і необхідною дисципліною в ІТ-компаніях. Галузь знань Software Requirements міжнародних рекомендацій з програмної інженерії є першою у зведенні знань. Від адекватного визначення функцій, умов і обмежень виконання ПЗ суттєво залежить успіх програмного проєкту і, зрештою, якість отриманого продукту.

Збирання вимог є нетривіальною задачею і проводиться, як правило, шляхом багатьох ітерацій спілкування розробника з замовником. Але ще складнішим завданням є виявлення в потоці побажань і рекомендацій найважливішого, найсуттєвішого, того, з чого треба починати і що варте найбільшої уваги. Тому пріоритизація, або ранжування вимог, може забезпечити їхню структурування, створити умови для їх класифікації та систематизації, що допоможе команді розробників зрозуміти їхнє значення і цінність та ухвалити відповідні ефективні рішення.

Задача ранжування вимог є багатокритеріальною і викликає значні когнітивні навантаження. Дослідники та фахівці пропонують низку методів, більшість з них спираються на експертні методи, які певною мірою дають змогу вирішувати поставлені задачі. Однак, серед таких відомих методів (MoSCoW, Kano, Story Mapping, KJ, Feature Buckets) практично усі передбачають якісний описовий аналіз, що спирається на техніку інтелектуального штурму. Водночас у сучасних умовах цифровізації більш перспективним є забезпечення підтримки рішень в аналітичній діяльності, особливо в багатокритеріальних випадках на основі вичерпного подання інформаційної картини предметної області та опрацювання за допомогою інформаційних технологій кількісних оцінок альтернатив.

Таким чином існує актуальна проблема визначення кількісного методу та відповідного інформаційно-технологічного інструментарію для вирішення важливого практичного завдання підтримки експертної діяльності в процесах аналізу вимог, зокрема, для їхньої пріоритизації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Ключову роль пріоритизації вимог у процесі розроблення програмного забезпечення демонструє значна кількість публікацій, зокрема присвячених систематичному аналізу важливих факторів у контексті визначення пріоритетів вимог, таких як ризики, вартість, час та ін. [1, 2]. В цих роботах відмічається використання кількох десятків різних методів пріоритизації вимог. Але зазначається, що ці методи пріоритизації мають деякі обмеження та недоліки, існують проблеми з вибором критеріїв пріоритизації, які часто визначаються інтуїтивно. Водночас важливість критеріїв може змінюватися залежно від того, наскільки глибоко опрацьована вимога в процесі розроблення [3].

Існування великої кількості різних методів (технік) визначення пріоритетності вимог пов'язане передусім із різноманіттям специфічних особливостей програмних засобів і систем. Тому дослідники намагаються запропонувати підходи гібридизації існуючих методів для досягнення більшої універсальності і ефективності. В роботі [4] запропоновано метод MCBRank, який включає в себе відомий метод MoSCoW і метод Case-Based Ranking на основі статистичного аналізу випадків для покращення правильності визначення пріоритетів. В роботі [5] розглянуто гібридну модель, що включає відому техніку пріоритизації та використання критичних факторів проєкту на основі їхніх квантованих балів.

У роботі [6] зазначається, що у відомому методі розроблення цільових вимог AGORA (attributed goal oriented requirements analysis) особи, які ухвалюють рішення, використовують суб'єктивні оцінки для визначення пріоритетів вимог, тому для забезпечення обчислення об'єктивних значень цей метод пропонується розширити методом аналізу ієрархій АНР (analytic hierarchy process). В роботі [7] звертається увага на те, що звичайні методи пріоритизації вимог, особливо з урахуванням атрибутів якості ПЗ, є якісними за своєю природою. Тому у цій статті також

пропонується техніка АНР для кількісного ранжування вимог.

Водночас необхідно звернути увагу, що у складних випадках, наприклад, стратегічного аналізу, існує потреба у врахуванні при пріоретизації значної сукупності внутрішніх та зовнішніх факторів, в оцінюванні вимог за такими узагальненими критеріями, як перспективи вигоди, існуючі можливості, можливі витрати та допустимі ризики тощо. Одним із інструментів, що найбільш часто використовується для такого розгляду, є SWOT-аналіз.

Зазвичай SWOT застосовують на макрорівні стратегічного аналізу. Незважаючи на свої переваги та популярність, цей метод зазнав критики, зокрема, щодо відсутності методології кількісної оцінки результатів складання SWOT-матриці. Зручність використання первинного SWOT покращує гібридний метод SWOT/АНР, вперше представлений у [8]. Відтоді цей підхід набув широкої популярності і застосовується в багатьох сферах [9, 10].

Багато дослідників поділяють думку, що підтримка рішень в аналітичній діяльності, особливо в багатокритеріальних випадках, до яких належить й аналіз вимог, безпосередньо пов'язана з вичерпним поданням інформаційної картини предметної області (ПДО). Тому у сучасних умовах забезпечення когнітивного процесу пріоретизації вимог полягає передусім у підтримці доменної інженерії на основі відповідних моделей та знань [11]. У зв'язку із цим як методичну основу для вирішення проблеми прийняття раціонального рішення експертами, необхідно передусім встановити оптимальний склад інформації, потрібної для ефективного вироблення і ухвалення рішень, забезпечити збір, подання та аналіз на різних рівнях значної сукупності гетерогенних даних [12r]. Тому важливим елементом сучасних систем підтримки ухвалення рішень є інформаційна модель ПДО. Серед існуючих підходів до таких моделей останнім часом найбільш адекватним вважається представлення ПДО у вигляді комп'ютерних онтологій [13]. Підвищення ефективності цього підходу полягає у застосуванні механізмів спільного використання онтологій ПДО і онтологій, що належать до процесів програмної інженерії [14].

Багато досліджень, зокрема у галузі соціальних наук, підтверджують, що важливою можливістю сучасних технологій є забезпечення візуалізації процесів, пов'язаних із ухваленням рішень [15]. Широко використовуваними інструментами для поліпшення розуміння проблем і, зрештою, покращення ухвалених рішень є застосування для візуалізації інформації графічних засобів. Візуалізовані у графах дані потребують менших когнітивних зусиль у інтерпретації, ніж текстові (табличні) [16].

Отже, залишаються невирішеними частини загальної проблеми ухвалення ефективних рішень щодо пріоретизації вимог до ПЗ, які пов'язані з інформаційною підтримкою, кількісним обрахуванням та візуалізацією процесу пріоретизації та яким присвячується дана стаття.

Виходячи з цього, метою статті є дослідження комплексного методу підтримки ухвалення рішень щодо пріоретизації вимог з урахуванням інформаційного забезпечення, кількісного оцінювання вимог та візуалізації процесу порівнянь вимог.

Виклад основного матеріалу дослідження

Методи пріоретизації, які зарекомендували себе в усьому світі, та які використовуються у середовищі менеджерів для ранжування вимог до програмних проєктів, оперують в основному якісними категоріями. У Табл. 1 наведено перелік деяких таких методів та сукупності категорій, що ними використовуються.

З даних Табл. 1 не важко помітити, що ці методології базуються на основі достатньо схожих прийомів посилення інтелектуальних зусиль учасників групового штурму, але оперують категоріями, які не мають чіткого визначення. Що таке «найважливіші» вимоги? Або «некритичні» вимоги? Враховуючи, що в цих методах модель відношення переваги, якою користуються експерти, є невизначеною і нечіткою, а уподобання відрізняються у різних експертів, це призводить до розподілу оцінок для одного й того самого об'єкта. Як наслідок, рівень неузгодженості порівнянь часто є вирішальним в результатах аналізу.

Таблиця 1
Категорії відомих методів пріоритезації вимог

Метод	Категорії
MoSCoW	найважливіші вимоги; важливі вимоги; бажані вимоги; некритичні вимоги
Kano	очікувані властивості; основні властивості; властивості, що викликають захоплення
Story Mapping	критичність
KJ	найважливіші групи вимог; найважливіші вимоги в групі найважливіших вимог
Feature Buckets	вимоги, здатні сильно вплинути на цільові показники продукту; додаткові покращення; вимоги, важливі для приємного подиву замовника; стратегічні вимоги, важливі для майбутнього
Impact-effort matrix	вплив; зусилля

Прийнято вважати, що експерти є досвідченими, професійними та чесними. Однак на практиці існують випадки коли експерти намагаються маніпулювати результатами на свою користь, або вагаються і роблять помилки через обмеженість знань і інформації. Це потребує застосування додаткових механізмів, які дозволяють виявити маніпуляторів і мінімізувати їхній вплив на груповий консенсус.

Таким чином подальші проблеми проекту фактично укорінені у здавалося б простому етапі – визначення експертами певних ваг (пріоритету) альтернатив при формуванні ранжованого списку вимог. Безперспективно сподіватись, що в найближчі часи людина в цьому сенсі зміниться на краще. Але вже сьогодні зміну ситуації можуть забезпечити інформаційні технології, що підтримують кількісні методи.

Одним із методів пріоритезації, що базується на кількісних даних, є RICE, аббревіатура якого походить від чотирьох факторів, що використовуються для оцінки та пріоритезації об'єктів: охоплення (Reach), вплив (Impact), впевненість в оцінці охоплення, впливу та трудовитрат (Confidence)

та трудовитрати (Effort). Щоб отримати оцінку за RICE необхідно об'єднати ці фактори, представлені у кількісному вимірі, за визначеною формулою.

Експертні кількісні порівняння для ранжування альтернатив знайшли застосування й у відомому методі аналізу ієрархій (АНР), запропонованому наприкінці 1970-х років американським математиком Т. Сааті. Метод полягає в ієрархічній декомпозиції проблеми на простіші складові і поетапному встановленні пріоритетів оцінюваних компонент із використанням парних порівнянь.

Водночас чимало дослідників поділяють думку, що підтримка рішень в аналітичній діяльності, особливо в багатокритеріальних випадках, безпосередньо пов'язана з вичерпним поданням інформаційної картини предметної області (ПДО). У зв'язку із цим як методичну основу для вирішення проблеми прийняття раціонального рішення експертами щодо вибору вимог необхідно передусім установити оптимальний склад інформації, потрібної для оцінювання вимог, забезпечити збір, подання та аналіз на різних рівнях значної сукупності гетерогенних даних [12]. Серед існуючих підходів до таких інформаційних моделей останнім часом найбільш адекватним вважається представлення ПДО у вигляді комп'ютерних онтологій [13, 14]. У загальному випадку така онтологія містить інформаційні описи на основі об'єктно-орієнтованої процедури формалізації концептів та їхніх бінарних відношень. Враховуючи, що для ухвалення об'єктивних рішень важливе значення має обізнаність експертів із характеристиками альтернатив, одночасне застосування елементів онтологічних описів підвищує рівень конкретності моделі та більш чіткого уявлення щодо значення кожної вимоги ля успішності проекту.

Таким чином в сучасних умовах в системах ухвалення рішень існує перехід від впливу індивідуальних суджень до підвищення значення кількості доступної інформації щодо альтернатив.

З іншого боку, щоб забезпечити експертну діяльність, необхідні структуровані формати для опису альтернатив. Це є сер-

йозною проблемою, оскільки від читабельності і зрозумілості задокументованої інформації багато в чому залежать успіх і ефективність внеску експертів у процес ранжування вимог. У цьому сенсі важливою можливістю сучасних технологій є забезпечення візуалізації процесів, пов'язаних із ухваленням рішень.

Широко використовуваними інструментами для поліпшення розуміння проблем і, зрештою, покращення ухвалених рішень є застосування для візуалізації процедур порівняння графічних засобів. Створення графових моделей для визначення впливів різного типу свідчить про зручність їх застосування. Водночас, у випадку застосування АНР така візуалізація надає експертам ефективний інструментарій запобігання транзитивної неузгодженості, яка, як відомо, в цьому методі не контролюється [12, 16].

На Рис. 1 показано фрагмент інтерфейсу програмного засобу підтримки ранжування альтернатив C_i з візуалізацією на графах.

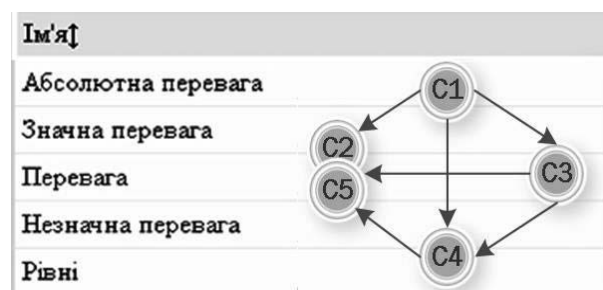


Рис. 1. Приклад візуалізації на графах процесу ранжування альтернатив

У найпростішому випадку при визначенні експертних оцінок вимог C_r їхні кількісні та якісні показники, отримані на основі реальних метрик та доступні з інформаційних джерел, узагальнюються у кількісному (бальному) вимірі за певною умовною шкалою, наприклад: незначний вплив на проєкт – 1 бал, низький – 3, середній – 5, високий – 7, дуже високий – 9 балів. Далі проводиться нормування величин C_r для отримання їхніх відносних величин \bar{C}_r в інтервалі (0,1):

$$\bar{C}_r = \frac{C_r}{\sum_{r=1}^{|O|} C_r}$$

де $|O|$ – кількість вимог, що розглядаються.

Запропонований підхід може бути застосовним для відносно простих задач пріоритизації вимог. У складніших випадках існує потреба у врахуванні при ранжуванні вимог значної сукупності внутрішніх та зовнішніх факторів, в оцінюванні альтернатив за такими критеріями, як перспективи вигоди, існуючі можливості, можливі витрати, допустимі ризики та ін. Одним із інструментів, що найчастіше використовується для такого розгляду, є SWOT-аналіз.

Зазвичай SWOT застосовують на макрорівні стратегічного аналізу, але універсальність методу дозволяє використовувати його і в інших видах розгляду проблем. Особливістю SWOT є те, що він поєднує внутрішні (Strengths, Weaknesses) та зовнішні фактори (Opportunities, Threats), що впливають на об'єкт дослідження. Водночас розглядається позитивний вплив (Strengths, Opportunities) та негативний вплив (Weaknesses, Threats).

Скористуємось особливостями SWOT та ідеями вище розглянутих методологій для формування матриці аналізу у предметній області пріоритизації вимог. За оцінку сильної сторони вимоги, що розглядається, доцільно вибрати її вплив на якість майбутнього програмного продукту (Табл. 2). Водночас слабкою стороною є витрати трудових ресурсів на забезпечення виконання цієї вимоги.

Таблиця 2

Співставлення факторів SWOT та QECR

SWOT	QECR
Strengths (сильні сторони)	Quality (якість)
Weaknesses (слабкі сторони)	Effort (трудовитрати)
Opportunities (можливості)	Consumers (споживачі)
Threats (загрози)	Risks (ризики)

Відповідно можливості розвитку проєкту від реалізації вимоги напряму пов'язані з врахуванням потреб ринку та

споживачів. Нарешті, необхідно є оцінка ризиків для проєкту, пов'язаних з пріоритетною реалізацією вимоги, та вжиттям заходів для зменшення або управління цими ризиками.

Тоді матриця QECR-аналізу вимог буде виглядати як наведено у Табл. 3.

Таблиця 3

Особливості QECR-аналізу вимог

Властивості вимоги	Переваги вимоги	Недоліки вимоги
Внутрішні	(Q) Якість	(E) Трудовитрати
Зовнішні	(C) Споживачі	(R) Ризики

Незважаючи на свої переваги та популярність, метод SWOT-аналізу зазнав критики, зокрема, щодо відсутності методології кількісної оцінки результатів складання SWOT-матриці. Зручність використання первинного SWOT покращує гібридний метод SWOT/АНР.

У цьому дослідженні пропонується зворотне застосування методології SWOT, тобто на мікрорівні, а саме під час аналізу характеристик вимог. Побудова матриці QECR дозволить експерту врахувати важливі фактори, які можуть бути недооцінені при традиційному аналізі вимог.

Підхід передбачає побудову QECR - матриці для кожної вимоги, а її фактори враховуються в кватрилях матриці залежно від впливу вимоги на проєкт.

Застосування цього підходу відбувається за таким алгоритмом.

1. У процесі аналізу предметної області та збирання вимог формується інформаційна модель на основі онтологій (онтологія ПдО, онтології задач).

2. Проводиться преселекція вимог з аналізом їх характеристик.

3. Для кожної з відібраних вимог формується матриця QECR, кожен елемент зі складових секторів якої розглядається на основі конкретних параметрів вимоги, які доступні зі сформованих інформаційних джерел (бази даних проєкту) і оцінюється в кількісному (бальному) вимірі. Наприклад, за вище наведеною умовною шкалою від 1 до 9 балів. Таким чином знаходимо для ко-

жної вимоги оцінки складових секторів, відповідно C_Q, C_E, C_C, C_R .

4. Визначається сила кожної вимоги C_i за чотирьома секторами QECR:

$$C_i = \frac{C_Q + C_C}{C_E + C_R}$$

5. Далі, особливо у разі участі в оцінюванні вимог групи експертів, необхідно провести парне порівняння вимог на основі отриманих оцінок C_i з використанням АНР з візуалізацією процесу порівнянь.

Розглянемо спрощений приклад застосування підходу QECR/АНР.

У Табл. 4 наведено результати оцінювання п'яти вимог одним експертом за методологією QECR.

Таблиця 4

Оцінювання характеристик вимог за методологією QECR

Вимоги	Q	E	C	R	Сила вимог
C1	9	1	3	1	6,00
C2	7	1	5	3	3,00
C3	1	9	3	3	0,33
C4	5	3	7	5	1,50
C5	9	1	3	5	2,00

На Рис. 2 показано приклад візуалізації на графах процесу ранжування вимог з використання цього методу (дуги графу навантажені оцінками переваг за шкалою Сааті, що використовується в АНР).

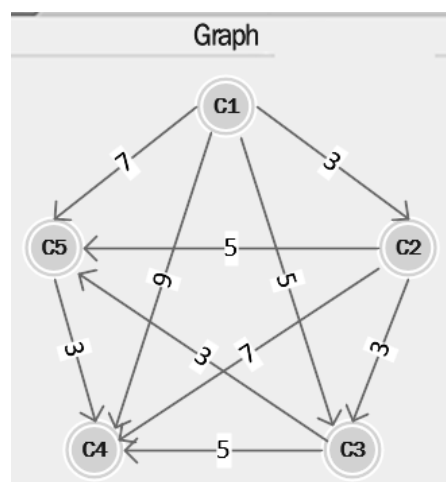


Рис. 2. Приклад візуалізації на графах процесу ранжування вимог з використання методу аналізу ієрархій

Автоматизація запропонованого методу дозволяє відносно швидко проводити ітеративні експерименти з ранжування вимог та, за необхідності, з коригуванням інформаційної моделі, поки не буде досягнуто узгодженого результату.

Висновки

У статті запропоновано вирішення актуальної проблеми визначення кількісного методу та відповідного інформаційно-технологічного інструментарію для підтримки експертної діяльності в процесах аналізу вимог, зокрема, для їхньої пріоритизації.

Метод базується на комплексному використанні онтологічної моделі предметної області, методології SWOT-аналізу вимог та методу аналізу ієрархій з візуалізацією на графах процесів парних порівнянь.

Подяка

Щира подяка колективу співробітників державного підприємства «Український науковий центр розвитку інформаційних технологій», які брали участь у розробці теоретичних основ і відповідного програмного інструментарію підтримки експертної діяльності в процесах ухвалення рішень.

Література

1. M. Sufian, Z. Khan, S. Rehman, W. Haider Butt, A systematic literature review: Software requirements prioritization techniques, in: Proceedings of the 2018 International Conference on Frontiers of Information Technology (FIT 2018), 2018, pp. 35–40. doi: 10.1109/FIT.2018.00014.
2. H. Ahuja, Sujata, G. N. Purohit, Understanding requirement prioritization techniques, in: Proceeding of the IEEE International Conference on Computing, Communication and Automation (ICCCA 2016), 2016, pp. 257-262. doi: 10.1109/CCAA.2016.7813759
3. R. Berntsson Svensson, R. Torkar, Not all requirements prioritization criteria are equal at all times: A quantitative analysis, in: Journal of Systems and Software, 2024, 209, art. no. 111909. doi: 10.1016/j.jss.2023.111909
4. S. Ahmad, R. Rizawanti, T. Woodings, I. Ermahani A. Jalil, MCBRank Method to Improve Software Requirements Prioritization, in: International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA), 2022, 13(7),

- pp. 215-222. doi: 10.14569/IJACSA.2022.0130728.
5. H. Arshad, S. Shaheen, J.A. Khan et al., A novel hybrid requirement's prioritization approach based on critical software project factors, in: Cogn Tech Work, 2023, 25, pp. 305–324. doi: 10.1007/s10111-023-00729-3
6. M. Sadiq, T. Hassan, S. Nazneen, AHP_GORE_PSR: Applying analytic hierarchy process in goal oriented requirements elicitation method for the prioritization of software requirements, in: Proceedings of the 2017 3rd International Conference on Computational Intelligence & Communication Technology (CICT), 2017, pp. 1-5. doi: 10.1109/CICT.2017.7977366.
7. M. Kassab, N. Kilicay-Ergin, Applying analytical hierarchy process to system quality requirements prioritization, in: Innovations in Systems and Software Engineering, 2015, 11 (4), pp. 303-312. doi: 10.1007/s11334-015-0260-8.
8. M. Kurttila, J. Pesonen, M. Kangas, M. Kajanus, Utilizing the analytic hierarchy process (AHP) in SWOT analysis hybrid method and its application to a forest-certification case, in: Forest Policy and Economics, 2000, 1, pp. 41-52.
9. G. Popescu, C. Gasparotti, SWOT-AHP hybrid method for ranking the strategies in the shipbuilding sector, in: Journal of Business Economics and Management, 2022, 23 (3), pp. 706–730.
10. R. Ariyana, R. Amalia, D. S. Salsabilah, et al., Strategy for increasing lowland rice productivity in West Java Province with the SWOT-AHP model approach, in: Proceedings of the 3rd International Conference on Biosciences. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, IOP Publishing, 2020, 457, 012058.
11. O. V. Chebanyuk, O. V. Palahin, K. K. Markov. Domain engineering approach of software requirements analysis. *Проблеми програмування*, 2020. № 2-3, с. 164-172. doi: 10.15407/pp2020.02-03.164
12. O. Nesterenko, I. Netesin, V. Polischuk, Y Selin. Multifunctional Methodology of Expert Evaluation Alternatives in Tasks of Different Information Complexity, in: Proceedings of the IEEE 3rd International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT). 2021, pp. 226-231.
13. Ю. В. Рогушина. Засоби та методи аналізу неструктурованих даних. *Проблеми програмування*, 2019, № 1. С. 57-77. doi: 10.15407/pp2019.01.057
14. Л. П. Бабенко. Онтологический подход к спецификации свойств программных систем и их компонентов. *Кибернетика и системный анализ*, 2009, Т. 45, № 1. С. 180-187.
15. K. Eberhard, The effects of visualization on judgment and decision-making: a systematic literature review. in: *Management Review*

Quarterly, 2021, 73(1). doi:10.1007/s11301-021-00235-8

16. O. Nesterenko, I. Netesin, V. Polischuk, Y Selin. Graph-based decision making for varying complexity multicriteria problems, in: Computer Science Journal of Moldova. 2022, 30(3), pp. 391-412. doi:10.56415/csjm.v30.21

References

1. M. Sufian, Z. Khan, S. Rehman, W. Haider Butt, A systematic literature review: Software requirements prioritization techniques, in: Proceedings of the 2018 International Conference on Frontiers of Information Technology (FIT 2018), 2018, pp. 35–40. doi: 10.1109/FIT.2018.00014.
2. H. Ahuja, Sujata, G. N. Purohit, Understanding requirement prioritization techniques, in: Proceeding of the IEEE International Conference on Computing, Communication and Automation (ICCCA 2016), 2016, pp. 257-262. doi: 10.1109/CCAA.2016.7813759.
3. R. Berntsson Svensson, R. Torkar, Not all requirements prioritization criteria are equal at all times: A quantitative analysis, in: Journal of Systems and Software, 2024, 209, art. no. 111909. doi: 10.1016/j.jss.2023.111909
4. S. Ahmad, R. Rizawanti, T. Woodings, I. Ermahani A. Jalil, MCBRank Method to Improve Software Requirements Prioritization, in: International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA), 2022, 13(7), pp. 215-222. doi: 10.14569/IJACSA.2022.0130728.
5. H. Arshad, S. Shaheen, J.A. Khan et al., A novel hybrid requirement's prioritization approach based on critical software project factors, in: Cogn Tech Work, 2023, 25, pp. 305–324. doi: 10.1007/s10111-023-00729-3
6. M. Sadiq, T. Hassan, S. Nazneen, AHP_GORE_PSR: Applying analytic hierarchy process in goal oriented requirements elicitation method for the prioritization of software requirements, in: Proceedings of the 2017 3rd International Conference on Computational Intelligence & Communication Technology (CICT), 2017, pp. 1-5. doi: 10.1109/CICT.2017.7977366.
7. M. Kassab, N. Kilicay-Ergin, Applying analytical hierarchy process to system quality requirements prioritization, in: Innovations in Systems and Software Engineering, 2015, 11 (4), pp. 303-312. doi: 10.1007/s11334-015-0260-8.
8. M. Kurttila, J. Pesonen, M. Kangas, M. Kajanus, Utilizing the analytic hierarchy process (AHP) in SWOT analysis hybrid method and its application to a forest-certification case, in: Forest Policy and Economics, 2000, 1, pp. 41-52.
9. G. Popescu, C. Gasparotti, SWOT-AHP hybrid method for ranking the strategies in the shipbuilding sector, in: Journal of Business Economics and Management, 2022, 23 (3), pp. 706–730.
10. R. Ariyana, R. Amalia, D. S. Salsabilah, et al., Strategy for increasing lowland rice productivity in West Java Province with the SWOT-AHP model approach, in: Proceedings of the 3rd International Conference on Biosciences. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, IOP Publishing, 2020, 457, 012058.
11. O. V. Chebanyuk, O. V. Palahin, K. K. Markov. Domain engineering approach of software requirements analysis. *Проблеми програмування*, 2020. № 2-3, с. 164-172. doi: 10.15407/pp2020.02-03.164
12. O. Nesterenko, I. Netesin, V. Polischuk, Y Selin. Multifunctional Methodology of Expert Evaluation Alternatives in Tasks of Different Information Complexity, in: Proceedings of the IEEE 3rd. International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT). 2021, pp. 226-231.
13. Ю. В. Рогушина. Засоби та методи аналізу неструктурованих даних. *Проблеми програмування*, 2019, № 1. С. 57-77. doi: 10.15407/pp2019.01.057
14. Л. П. Бабенко. Онтологический подход к спецификации свойств программных систем и их компонентов. *Кибернетика и системный анализ*, 2009, Т. 45, № 1. С. 180-187.
15. K. Eberhard, The effects of visualization on judgment and decision-making: a systematic literature review. in: Management Review Quarterly, 2021, 73(1). doi:10.1007/s11301-021-00235-8
16. O. Nesterenko, I. Netesin, V. Polischuk, Y Selin. Graph-based decision making for varying complexity multicriteria problems, in: Computer Science Journal of Moldova. 2022, 30(3), pp. 391-412. doi:10.56415/csjm.v30.21

Одержано: 12.03.2024

Внутрішня рецензія отримана: 19.03.2024

Зовнішня рецензія отримана: 08.04.2024

Про автора:

¹Нестеренко Олександр Васильович,
Доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри
<https://orcid.org/0000-0001-5329-889X>.

Місце роботи автора:

¹Міжнародний європейський університет,
E-mail: oleksandr_nesterenko@ieu.edu.ua
<https://ieu.edu.ua>