



ОСОБЛИВОСТІ НАДАННЯ ПЕРЕВАГИ ХАРАКТЕРИСТИКАМ МОДЕЛІ ЯКОСТІ ПРОГРАМНОГО ПРОДУКТУ

Розроблено систему надання переваг характеристикам моделі якості програмного продукту, яка дає змогу моделювати процедури їх надання відповідним критеріям, а також визначати стан його якості на кожному рівні ієрархічної структури критеріїв. З'ясовано, система надання переваг – завдання вибору альтернативи між можливими управлінськими рішеннями або його обґрунтування, тобто твердження аналітика, що одній альтернативі буде надано більшу перевагу, ніж іншій. Встановлено, модель якості продукту – головний атрибут системи оцінювання якості програмного забезпечення (ПЗ), позаяк містить характеристики, які потрібно враховувати при встановленні його властивостей. Виявлено, функція корисності з математичної точки зору – формальний опис цільових установок аналітика, згідно з якими він визначає рівень користі від наданої ним переваги одному з продуктів проекту залежно від його характеристик. Розроблено метод надання переваг відповідним критеріям якості ПЗ через його функцію корисності шляхом застосування інтерполяції табличних функцій, що дало змогу розробити підхід до моделювання процедури надання переваг одному з параметрів системи управління. Розроблено математичні залежності, які дають змогу подати адитивну функцію корисності для двох, трьох і більше параметрів, а також здійснювати моделювання процедур надання переваг одному з цих параметрів. На підставі стандартної моделі якості програмного продукту вперше розроблено ієрархічну структуру критеріїв якості ПЗ, яка, на відміну від наявних, дає змогу отримати агрегований показник поточної його якості не за двома, а за трьома вхідними параметрами, що уможливило побудову системи управління якістю ПЗ за вхідними критеріями і поточними показниками. Розроблено метод відбору напружених варіантів якості ПЗ за трьома критеріями, яким можна надати різні переваги, що дало змогу визначити поточний стан системи управління якістю ПЗ за відповідним показником з урахуванням вартості розроблення цієї системи. Наведено приклад реалізації системи управління якістю ПЗ, а також проілюстровано особливості застосування методу відбору напружених варіантів за трьома критеріями. З'ясовано основні особливості переходу системи управління якістю ПЗ від одного стану до іншого, а також визначено потенційні витрати для здійснення такого переходу.

Ключові слова: пріоритет; відношення переваги; множина допустимих альтернатив; якість програмного забезпечення; критерії та показники якості; ієрархічна структура; система управління; прийняття управлінських рішень.

Вступ / Introduction

Під якістю програмного продукту розуміють набір властивостей, що сукупно характеризують його здатність задовольнити встановлені або передбачувані потреби замовника, які він висловив у вигляді потреб до нього [28]. В різних літературних джерелах [51, 54] поняття якості продукту має різні пояснення залежно від конкретних його можливостей. Водночас, користувачі вимоги до якості програмного продукту формують залежно від сфери його застосування й конкретного призначення [24, 29, 30]. Для оцінювання якості продукту використовують комплекс критеріїв і показників, які вказують на його функціональні можливості та варіанти використання [30, 35]. Під критеріями якості продукту розуміють деякі ознаки, які можна застосовувати як для його оцінювання й визначення, так і для класифі-

кації певних характеристик чи атрибутів [9]. Показник якості продукту – це кількісна характеристика однієї або декількох його властивостей, яку фахівці розглядають стосовно певних умов його розроблення або використання [4].

Зазвичай під управлінням якістю ПЗ (англ. *Software Quality Management*) розуміють процес, спрямований на розроблення продукту проекту з дотриманням специфікації вимог до нього, які забезпечують відповідність продукту стандартам якості, очікування замовником його можливостей [24, 25, 28]. Професійний підхід до управління якістю ПЗ базується на тому, що його якість – це чітко визначена величина, яку можна виміряти й проконтролювати, позаяк вона піддається як регулюванню, так і удосконаленню з набуттям досвіду керівника проекту [20, 49]. Знання поточних значень показ-

Інформація про автора:

Грицюк Юрій Іванович, д-р техн. наук, професор, кафедра програмного забезпечення. Email: yurii.i.hrytsiuk@lpnu.ua;
<https://orcid.org/0000-0001-8183-3466>

Цитування за ДСТУ: Грицюк Ю. І. Особливості надання переваги характеристикам моделі якості програмного продукту. Науковий вісник НЛТУ України. 2022, т. 32, № 3. С. 79–102.

Citation APA: Hrytsiuk, Yu. I. (2022). Features of giving preference to the characteristics of the software product quality model. *Scientific Bulletin of UNFU*, 32(3), 79–102. <https://doi.org/10.36930/40320313>

ників якості ПЗ дає змогу керівнику проекту простежити, наскільки далеко вони знаходяться від критичних значень чи їх близькості до запланованих. Якщо ж ці значення є вищими (що трапляється вкрай рідко), то потрібно проаналізувати перевитрати наявних ресурсів – як людських і матеріальних, так і фінансових [15, 62]. Також такі знання дають можливість керівнику проекту стежити за динамікою значень поточних показників якості ПЗ, завдяки чому можна прогнозувати й планувати термін завершення програмного проекту або момент переходу до наступного етапу його реалізації [54].

Система якості ПЗ (англ. *Software Quality System*) – набір складових ієрархічної структури, відповідальності, процедур, процесів і ресурсів, що сукупно забезпечують управління його якістю [28, 58]. Під час розроблення ієрархічної структури системи управління якістю ПЗ за основу приймають набір моделей для отримання агрегованих показників якості ПЗ, кожен з яких формується за відповідним правилом, що відображає певні особливості надання переваг відповідним критеріям [9]. Також такі моделі достатньо повно відображають основні особливості функціонування системи управління якістю ПЗ та забезпечують гнучкість прийняття управлінських рішень [39]. Сукупність таких моделей утворює ієрархічну структуру системи управління якістю ПЗ, у вершині якої знаходиться метамодель системи з найбільш загальним уявленням про неї. Водночас, на наступних рівнях ієрархії розміщують функціональні моделі конкретних локальних завдань, які потрібно вирішити для досягнення загальної мети управління якістю ПЗ [6].

Відомо [56], будь-який критерій чи агрегований показник якості ПЗ має відображати важливі пріоритети стратегії запровадження як системи його оцінювання зокрема, так і системи управління його якістю загалом. Встановлення кожного з таких пріоритетів, а значить і утворення такого критерію / показника, який матиме місце у звітній документації ІТ-компанії, мають проводити відповідальні особи (її керівник чи його заступники), тобто такі, що приймають остаточні управлінські рішення [39].

Під *пріоритетом* розуміють визнання чіткої переваги перед чимось, чимось, надання переваги комусь, чомусь [37]. Водночас, *надання переваги* – завдання або обґрунтування вибору між можливими рішеннями (альтернативами); твердження, що одній альтернативі (проекту, придбанню якогось товарного набору, припущенню про результат деякої майбутньої дії тощо) надають більшу перевагу, ніж іншій [55]. Поняття надання переваги знаходиться в основі ординалістської (порядкової) теорії корисності [56], згідно з якою потенційному споживачу достатньо уміти порівнювати між собою різні альтернативи. За наявності функції корисності її числові значення дають змогу споживачу проводити таке порівняння за принципом – більшому значенню функції відповідає краща альтернатива. Однак, поняття корисності в порядковій теорії є суб'єктивним, оскільки в ній відсутній еталон порівняння та одиниці вимірювання. Тому числові значення функції корисності та різниця між ними нічого не вказують на рівень задоволеності споживача і, як наслідок, на ступінь надання переваги одній альтернативі порівняно з іншою. Водночас, у кардиналістській (числовій) теорії корисності числові значення, навпаки, свідчать і про рівень задоволеності спо-

живача, а також й про ступінь надання переваги тій чи іншій альтернативі [38]. Загалом функція корисності – це формальний опис цільових установок споживача, згідно з якими він визначає рівень користі від наданої ним переваги тій чи іншій альтернативі залежно від її характеристик [39].

Не претендуючи на кардинальні зрушення в наявній системі надання переваги будь-якому критерію чи агрегованому показнику якості ПЗ, а також системі управління його якістю, спробуємо внести і свою лепту в розроблення тільки системи управління якістю ПЗ з використанням стандартної моделі його якості. Тому, як на сьогодні, видається нам актуальним дослідження, яке стосується з'ясування особливостей надання переваги характеристикам моделі якості продукту, а також розроблення адекватної системи управління якістю ПЗ методом ієрархічної структури критеріїв, що дасть змогу визначити поточні стани якості продуктів проекту з урахуванням вартості їх розроблення, а також врахувати загальний стан якості програмного продукту.

Об'єкт дослідження – встановлення особливостей надання переваг характеристикам моделі якості програмного продукту.

Предмет дослідження – методи і засоби надання переваг характеристикам моделі якості програмного продукту, що дасть змогу моделювати процедури їх надання відповідним критеріям якості ПЗ.

Мета роботи – розробити систему надання переваг характеристикам моделі якості програмного продукту, яка дасть змогу моделювати процедури їх надання відповідним критеріям якості ПЗ, а також визначити стан його якості на кожному рівні ієрархічної їх структури з урахуванням вартості розроблення.

Для досягнення зазначеної мети визначено такі основні завдання дослідження:

- проаналізувати останні дослідження та публікації, вибрати серед них такі, які дають можливість в повному обсязі зрозуміти сутність об'єкта і предмета дослідження;
- проаналізувати наявну модель якості програмного продукту, затверджену стандартом ISO/IEC, що дасть змогу визначити комплекс критеріїв, які максимально характеризуватимуть властивості ПЗ;
- розробити метод надання переваг відповідним критеріям якості продукту через його функцію корисності шляхом застосування інтерполяції табличних функцій, що дасть змогу моделювати процедури надання переваг одному з двох, трьох і більше параметрів системи управління;
- розробити метод відбору напружених варіантів якості ПЗ за трьома критеріями чи агрегованими показниками з врахуванням їх ієрархічної структури, що дасть змогу визначити поточний стан якості ПЗ з урахуванням вартості його розроблення;
- з'ясувати особливості переходу системи управління якістю ПЗ від одного стану до іншого, а також визначити потенційні витрати для здійснення такого переходу.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Всі методи врахування пріоритетів критеріїв можна умовно поділити на дві групи – методи врахування жорсткого та гнучкого пріоритету [39]. Методи жорсткого пріоритету засновані на тому, що критерії розташовують за важливістю в ряд надання пріоритету $y_1 > y_2 \dots > y_m$, на підставі якого проводять послідовну їх оптимізацію [63]. Принцип послідовної оптимізації на підставі жорсткого пріоритету полягає в тому, що не допускають підвищення рівня значущості менш важливих критеріїв, якщо це викликає хоча б незначне зниження рівня значущості важливішого критерію [5]. Практично це при-

водить до того, що спочатку відшуковують локальний оптимум для найбільш важливого критерію на всій множині допустимих альтернатив X_1 , який фіксують у вигляді додаткового обмеження. Потім шукають локальний оптимум другого за важливістю критерію, але вже для нової допустимої множини альтернатив X_2 і т. д. В такий спосіб проходить поступове звуження множини допустимих альтернатив до єдиного оптимального рішення або оптимальної підмножини. Переваги методу жорсткого пріоритету полягають в тому, що не потрібні кількісні характеристики важливості критеріїв [8].

Методи гнучкого пріоритету передбачають задавання кількісних характеристик пріоритету, що дає змогу при виборі рішення тільки деякою мірою віддавати перевагу дещо важливішим критеріям [49]. Кількісні оцінки пріоритетів задають, як правило, у вигляді вектора значень. Залежно від того, який спосіб компромісу буде застосовано, отримують різні варіанти методу гнучкого пріоритетів: принцип рівномірності з пріоритетом; принцип справедливої поступки з пріоритетом; інші принципи оптимальності з пріоритетом [38]. Переваги методів гнучкого пріоритету в тому, що вони дають можливість в розумних межах віддавати перевагу дещо важливішим критеріям з врахуванням рівня їх значущості. Недоліком є трудність визначення числових значень пріоритетів [56].

Особливості застосування різних методів врахування пріоритетів критеріїв для оцінювання якості ПЗ розглянуто в багатьох роботах як вітчизняних (В. С. Яковина [64, 65], О. В. Поморова [50, 51, 52, 53], Т. О. Говорущенко [14, 17, 54], Д. А. Маєвський [42], В. С. Харченко [40], В. О. Мищенко та ін.), так і закордонних науковців (M. Klas, C. Lampasona, J. Munch [41], Sanjay Kumar Dubey, Soumi Ghosh [57], I. Mistrik, R. Bahsoon [46], J. Ghayathri, E. M. Priya [12], Miguel, J. P., Mauricio, D. & Rodríguez, G. [44] тощо).

Якість ПЗ є основною характеристикою продукту (сервісу або програми) в різних сферах використання інформаційних технологій [20, 49], яка вказує на ступінь його/її відповідності узгодженої специфікації вимог до нього [24, 51]. Зазвичай, такі вимоги різні науковці трактують по-різному [11, 25], що породжує декілька незалежних визначень цього терміна [4, 54]. Водночас, стандарт ISO/IEC 9126 [30] регламентує зовнішні й внутрішні характеристики якості ПЗ. Якщо зовнішні характеристики якості відображають вимоги до функціонування ПЗ [33], то внутрішні характеристики використовують для складання плану досягнення необхідних зовнішніх характеристик його якості [34, 35].

Зазвичай, під оцінюванням якості ПЗ розуміють дії, що визначають, які саме властивості ПЗ відповідають його призначенню [3, 4, 16]. Якість ПЗ оцінюють з використанням моделі якості [31, 32], яка набуває особливого значення із розвитком і вдосконаленням технологій оброблення експертних даних [21]. Усе це призвело до потреби розроблення нових методів і засобів комплексного оцінювання різноманітних характеристик якості ПЗ, які враховують як невизначеності вхідної інформації, так і суб'єктивність оцінок експертів [13, 21, 63]. Особливості застосування моделей оцінювання якості ПЗ за визначеними методиками розглянуто в роботах [6, 9, 47].

Експертні методи оцінювання якості продуктів добре себе зарекомендували в різних виробничих сферах

[13, 49], а тому багато теоретиків і практиків у ІТ-галузі спробували перенести цей досвід на процес розроблення ПЗ та управління його якістю [6, 51]. Загалом, застосування експертних технологій дає змогу бізнес-аналітикам визначити як якість майбутнього та вже розробленого ПЗ, так і складність реалізації програмного проєкту [7, 11, 21]. Щодо особливостей застосування методів і засобів експертного оцінювання якості ПЗ, то ця проблема широко висвітлена в дослідженні [49]. У різних наукових працях процес експертного оцінювання якості ПЗ описано з урахуванням сфери компетентностей експертів і за умови фіксації важливості кожного з них за встановленими критеріями [38]. Водночас, у дослідженнях [5, 21] запропоновано метод оцінювання якості веб-матеріалів на базі оцінок двох груп респондентів – "користувачі" та "експерти".

Проте, процедура оцінювання якості ПЗ та наявні методи і засоби забезпечення цієї якості, як власне і процес розроблення самого ПЗ хоча і забезпечені фундаментальною теорією та ефективною методологією [4], проте багато досліджень, які стосуються пізніх етапів життєвого циклу ПЗ, мають хаотичний, несистематизований характер [11]. Водночас, як доведено у роботах [51, 54], саме в кінці етапу проєктування архітектури ПЗ можна й варто виявляти та усувати до 55 % всіх недоліків майбутнього програмного продукту.

Під ієрархічною структурою управління (англ. *Hierarchical Structure of Management*) розуміють впорядковану сукупність взаємопов'язаних елементів, що знаходяться між собою у стійких взаємовідносинах, які забезпечують їх функціонування та розвиток як єдиного цілого [15, 37, 56]. Наприклад, ретельно розроблена ієрархічна структура ІТ-компанії є логічною передумовою її успішної діяльності на ринку виробників ПЗ та надання послуг [7, 58, 60]. Однак, навіть хороша структура не є достатньою без добре розробленої системи управління [1, 2], яка може слугувати міцною основою для управління компанією та підтримки прийнятих рішень. Щоб бути адекватною сучасним реаліям, система управління повинна враховувати всі контекстуальні та культурні чинники, які можуть вплинути на ефективність роботи ІТ-компанії [7, 9, 16].

Ефективність використання в українських ІТ-компаніях наявних і впровадження нових систем управління якістю ПЗ залежить від багатьох постійних і випадкових чинників, у т.ч. і від процедури прийнятих управлінських рішень і їхнього практичного втілення у виробничий процес [8, 38, 55, 61]. Для того, щоб управлінське рішення було дієвим і ефективним, потрібно дотримуватися відповідних методів, апробованих методик і визначених методологічних основ для їх належної підготовки [10, 39, 56, 59].

Прийняття рішення, як правило, взаємопов'язане з вибором напряму управлінських дій – як стратегічних, так і тактичних, у т.ч. й оперативних [8, 38]. Важко прийняти ефективне рішення без спеціального аналізу різноманітних альтернатив [11, 16, 60]. Як показує практика діяльності ІТ-компаній, більшість рішень, прийнятих керівниками проєктів чи їх менеджерами [3, 9, 51], базуються на їхній інтуїції, власному досвіді роботи, або на горезвісному "може вдасться". Такий підхід нерідко призводить до помилок виконання, розчарувань в отриманих результатах, непередбачених витрат ресурсів і неминучих втрат як авторитету, так і потенційних клієнтів [11, 37].

Отже, проведений аналіз останніх досліджень та публікацій дав змогу вибрати серед них такі, які уможливають в повному обсязі зрозуміти сутність об'єкта і предмета дослідження. Також стало зрозумілим, що система надання переваг деяким характеристикам моделі якості програмного продукту – завдання або обґрунтування вибору альтернативи між можливими управлінськими рішеннями, тобто твердження особи, яка його приймає, що одній альтернативі буде надано більшу перевагу, ніж іншій.

Результати дослідження та їх обговорення / Research results and their discussion

1. Модель якості програмного продукту. Під якістю програмного продукту (англ. *Software Product Quality*) розуміють набір властивостей, що характеризує його здатність задовольнити встановлені або передбачувані потреби замовника. Поняття якості продукту має різні інтерпретації залежно від конкретних вимог до нього [25, 31, 32].

Модель якості програмного продукту (англ. *Software Product Quality Model*) задає його характеристики, які потрібно враховувати при встановленні його властивостей. Затверджена в стандарті ISO/IEC 25010 [32], сучасна модель якості програмного продукту містить вісім характеристик і 31 підхарактеристика якості (рис. 1).



Рис. 1. Модель якості програмного продукту / Software Product Quality Model [29]

Складність запровадження однакової системи управління якістю ПЗ полягає ще й в тому, що для багатьох ІТ-компаній часто важко одночасно враховувати в одному ПЗ всі підхарактеристики моделі ЯПП, адже більшість з них є якісними показниками. Водночас, кількісні підхарактеристики хоча і можна визначити за допомогою відповідних метрик, однак вхідні параметри для багатьох з них є складними не тільки для обліку, а й для об'єктивного їх встановлення.

Вважаємо, що якість ПЗ може мати три стани: незадовільний, задовільний і добрий, що відповідає трибальній шкалі його оцінювання. За більш прискіпливого оцінювання стану якості ПЗ можна використати п'ятибальну шкалу: погано, незадовільно, задовільно, добре і відмінно.

2. Моделювання процедур надання переваг відповідним критеріям якості продукту. Зазвичай, будь-який критерій чи агрегований показник якості програмного продукту має відображати важливі пріоритети стратегії запровадження як системи його оцінювання зокрема, так і системи управління якістю продукту загалом [14]. Встановлення кожного з таких пріоритетів, а значить і утворення такого критерію / показника, який фігуруватиме у звітній документації ІТ-компанії, мають

Цей стандарт є серйозним удосконаленням стандарту ISO/IEC 9126 [31], в який внесено дві додаткові характеристики та 7 підхарактеристик – сумісність та безпеку, а також введені уточнення та перегруповання характеристик для більш ясного їхнього розуміння.

Зазначені в моделі ЯПП підхарактеристики придатні для оцінювання чи встановлення якості як нового, так і модифікованого ПЗ чи будь-якої програмної системи. Водночас, наведені підхарактеристики є основою для запровадження системи управління якістю ПЗ, яка для кожної ІТ-компанії мала б бути однаковою. Однак, залежно від спеціалізації компанії щодо виготовлення того чи іншого ПЗ, а також надання пріоритету її керівництвом тим чи іншим підхарактеристикам моделі ЯПП часто запроваджені системи якості ПЗ дещо відрізняються між собою. Оскільки спеціалізація ІТ-компаній дає їм конкурентну перевагу на ринку ПЗ і свободу встановлювати на свої послуги вищу вартість, то потенційні користувачі готові платити як за кваліфікацію персоналу, так і за отриману якість продукту. Тому багато фахівців [6, 11, 47, 61] вважають, що майбутнє ІТ-компаній за їхньою вузькою спеціалізацією для того, щоб надавати клієнтам такі послуги, які вони не зможуть отримати від інших, забезпечивши при цьому належну їх якість.

проводити відповідальні особи (її керівник, його заступники з маркетингу чи менеджменту тощо), тобто такі, що приймають остаточні управлінські рішення [39]. В цьому тексті важливим є термін пріоритет, а також поки що не зрозуміло, як він пов'язаний з такими поняттями, як перевага чи надання переваги, що і спробуємо з'ясувати нижче. Для цього наведемо відповідні визначення цих понять, доступні в мережі Інтернет.

Пріоритет (від лат. *prior* – старший; англ. *Priority*) – це: 1) першість у чому-небудь (відкритті, винаході, висловленні ідеї); примат, верховенство над кимось, чимось; 2) визнання чийсь переваги перед кимось, чимось; 3) переважне, провідне значення когось, чогось; 4) надання переваги комусь, чомусь [42]. Тут примат (лат. *primatus* – старшинство) – це первинність, перша роль, переважання, верховенство, переважне значення. В цих визначеннях трапляються такі поняття, як перевага і, водночас, надання переваги.

Перевага (англ. *Preference*) – це: переважна увага комусь, чомусь; схвалення когось, чогось; повага до одного з декількох варіантів; бажання вибрати один із декількох варіантів; сукупність уподобань, пріоритетів; визнавати, вважати більш підходящим, найкращим порівняно з іншими із наявних [40]. Якщо визначення прі-

оритету було наведено нижче, то про уподобання дамо пояснення дещо нижче.

Надання переваги (англ. *Preference Relation*) – надання або обґрунтування вибору між можливими рішеннями (альтернативами); твердження, що одній альтернативі (проекту, придбанню якогось товарного набору, припущенню про майбутній результат деякої дії тощо) надається більша перевага, ніж іншій [61]. Поняття надання переваги поряд з бюджетним обмеженням використовують при постановці задачі споживача (англ. *Consumer Task*), про яку йтиметься нижче.

Загалом, поняття надання переваги знаходиться в основі ординалістської (порядкової) теорії корисності [39]. Згідно з цією теорією, потенційному споживачу достатньо уміти порівнювати між собою різні товарні набори (альтернативи). Якщо ж існує так звана функція корисності [38], то її числові значення дають змогу споживачу проводити таке порівняння за принципом – більше значення функції відповідає кращій альтернативі. Однак, поняття корисності в ординалістській теорії є суб'єктивним, оскільки в ній відсутній еталон і загальноприйняті одиниці її вимірювання. Тому самі числові значення функції корисності та різниця між ними нічого не вказують на рівень задоволеності споживача і, як наслідок, на ступінь надання переваги одній альтернативі порівняно з іншою. Водночас, у кардиналістській (числовій) теорії корисності числові значення, навпаки, свідчать і про рівень задоволеності споживача, а також й про ступінь надання переваги альтернативі [13].

Відношення переваги (англ. *Preference Relation*) – це формальний опис здатності споживача порівнювати (упорядковувати за бажанням) різні альтернативи (споживчі блага, товарні набори) [13]. З математичної точки зору будь-яка система надання переваг є бінарним відношенням (передпорядку, строгого порядку або еквівалентності) на множині допустимих альтернатив.

Множина допустимих альтернатив (англ. *Many Valid Alternatives*) – множина всіх товарних наборів, які в принципі можуть бути доступними споживачеві, із яких він робить свій вибір [8]. Сформована множина може мати довільну, не обов'язково числову природу (наприклад, Парадокс Кондорсе). Однак, найчастіше розглядають підмножини товарних наборів, які описують числовими значеннями.

На множині допустимих альтернатив задають [39]:

- відношення (слабкої, нестрогої) переваги $\{ \succeq \}$ – визначають як бінарне відношення повного (лінійного) передпорядку;
- відношення строгої переваги $\{ > \}$ – визначають як бінарне відношення строгого порядку;
- відношення байдужості $\{ \sim \}$ – визначають як відношення еквівалентності.

В теорії корисності на множині допустимих альтернатив також задають *відношення уподобання* (англ. *Attitude Ratio*), які впорядковують товарні набори за ступенем їх бажаності для економічного агента [2, 36]. Уподобання разом із бюджетним обмеженням використовують у постановці задачі споживача, яка описує процедуру оптимального вибору з множини допустимих альтернатив [1].

Для теорії споживання (англ. *Consumption Theory*) основоположне значення має *раціональна перевага* (англ. *Rational Advantage*), тобто така, що задовольняє властивостям повноти і транзитності [6]. З інтуїтивної точки зору раціональна перевага описує здатність спо-

живача до внутрішньо узгодженого, несуперечливого вибору. Проте, вона є необхідною (але не достатньою) умовою існування функції корисності [5].

У теорії споживання *бюджетне обмеження* (англ. *Budget Constraint*) показує які набори товарів і наданих послуг (споживчі набори) може придбати споживач, маючи певну суму (бюджет) при заданих цінах. Бюджетне обмеження, поряд із відношенням переваги, є базовими поняттями при формальній постановці задачі максимізації корисності (задача споживчого вибору).

Отже, наведено визначення таким поняттям, як пріоритет, перевага, надання переваги та відношення переваги, які знадобляться під час моделювання процедур надання переваг відповідним критеріям якості програмного продукту.

Функція корисності та особливості її застосування. Однак, безпосередньо використовувати поняття надання переваги не завжди зручно. Особливо це стосується тих випадків, коли множина допустимих альтернатив нескінченна (зокрема, незліченна). Тому зручно подавати переваги за допомогою *функції корисності* (англ. *Utility Function*). В теорії споживання функція корисності є числовим поданням відношення переваги, позаяк вказує на здатність споживача порівнювати товарні набори [56]. Функція корисності кожному товарному набору ставить у відповідність деяке дійсне число (корисність) так, що кращому набору присвоюють більше значення числа. Наборам, що перебувають у відношенні байдужості, присвоюють однакові числа.

В теорії споживання використовують два типи функції корисності – кількісні та порядкові [56]. У кількісному підході допускають існування одиниці вимірювання корисності товарних наборів, яка має назву ютиль. Однак, найчастіше використовують порядкову функцію корисності, завданням якої є тільки впорядкування товарних наборів згідно з відношенням переваги – слабкої та строгої. Тут для споживача важливою є відповідь на запитання: котрий з товарних наборів має більше значення функції корисності? Проте, ані різниця, ані частка цих значень не є істотною для поведінки споживача.

З математичної точки зору функція корисності – це формальний опис цільових установок споживача, згідно з якими він визначає рівень користі від наданої ним переваги одному з продуктів проекту залежно від його характеристик [8]. Функцією корисності може слугувати будь-яка математична функція $U(x)$, що відповідає такій вимозі: вона встановлює великі значення для тих продуктів проекту, які мають кращі характеристики з точки зору споживача, і однакові значення – для рівноцінних продуктів проекту [62].

Виділяють адитивну і загальну функції корисності. Зазвичай, адитивна функція корисності заснована на ідеї про незалежність корисностей окремих продуктів проекту і можливості вимірювання їхнього значення (кількісний підхід), має такий вигляд [56]:

$$U = \sum_{i=1}^n U_i(x_i),$$

де: x_i – корисність i -го товарного набору; $U_i()$ – функція, що визначає корисність i -го товарного набору. Загальну функцію корисності застосовують тоді, коли визначають розстановку й послідовність класів байдужості, тобто вказують, як потрібно оцінювати різницю в рівнях добробуту, що відповідають кожному з таких класів.

Спробуємо використати наведені вище викладки матеріалу для моделювання процедур надання переваг відповідним критеріям якості програмного продукту. Однак, спочатку коротко нагадаємо уважному читачеві про що саме йтиметься далі, а також про нагальну потребу такого моделювання.

Як було зазначено в роботі [19], для порівняння варіантів поточного стану якості ПЗ, а значить і утворення адекватної системи його оцінювання за двома критеріями було використано експертні оцінки у вигляді відповідної таблиці (матриці). В цій таблиці було застосовано дискретні оцінки як для вхідних критеріїв, так і для агрегованого показника якості ПЗ за п'ятибальною шкалою: критично, погано, задовільно, добре, відмінно. Наприклад, в табл. 1 наведено приклад згорання критерію оцінювання зручності супроводу (ЗС) продукту з критерієм його портативності (П), внаслідок чого було отримано агрегований показник оцінювання зручності використання (ЗВ) продукту. Наведена матриця згорання критеріїв відображає так звані користувацькі (споживчі) пріоритети зацікавлених сторін щодо відбору можливого варіанту якості ПЗ стосовно зазначеного показника ЗВ. Там було сказано, що при критичному рівні портативності продукту та при поганому рівні зручності його супроводу незначний пріоритет має критеріїв, що відповідає за зручність супроводу продукту. При задовільних рівнях портативності продукту та зручності його супроводу пріоритет віддають критерію, що відповідає за рівень зручності супроводу продукту. А на завершення було зазначено, що із зростанням рівня портативності продукту пріоритет зміщується у бік критерію, що відповідає за рівень зручності його супроводу. З цього тексту не зрозуміло, як чому саме було надано пріоритет одному критерію над іншим і, що найважливіше, як це можна формалізувати і математично описати. Все це спробуємо з'ясувати нижче.

Табл. 1. Матриця згорання критерію оцінювання зручності супроводу (ЗС) продукту з критерієм його портативності (П) / Matrix of convolution the criterion for assessing the convenience of the Maintainability (M) of the product with the criterion of its Portability (P)

Рівень П	Стан зручності використання (ЗВ) продукту				
5	2	3	4	5	5
4	2	3	4	5	5
3	2	2	3	4	5
2	1	2	3	3	4
1	1	2	2	3	3
Рівень ЗС	1	2	3	4	5

Отже, у викладеному вище матеріалі важливим є те, що для порівняння варіантів поточного стану якості ПЗ було використано дискретні значення оцінок експертів за п'ятибальною шкалою. Однак, не було вказано джерело, звідки ці дані взято. Хоча в різних наукових виданнях існує значна кількість публікацій [13], де вказано, як група експертів має професійно оцінювати за певними критеріями програмні продукти і за яким правилом має виставляти свої оцінки. Проблема в тому, що для тестування відповідного ПЗ таких експертних оцінок потрібно мати значну кількість. Для їх отримання (генерування адекватної множини) у вигляді відповідних таблиць (матриць) потрібно вміти моделювати процедури надання переваг відповідним критеріям чи агрегованим показникам якості продукту. Для цього використаємо теорію інтерполяції [45], а саме – інтерполя-

цію табличних функцій для двох і більше незалежних змінних.

З'ясовано, що функція корисності з математичної точки зору – формальний опис цільових установок аналітика, згідно з якими він визначає рівень користі від наданої ним переваги одному з продуктів проекту залежно від його характеристик.

Інтерполяція табличних функцій. У математичному формулюванні багатьох задач з інженерії ПЗ присутні табличні функції, для яких відомими є їхні числові значення при деяких значеннях аргументів. Для обчислення значень таких функцій за заданими значеннями аргументів, відмінних від табличних, для подальшої можливості виконання аналітичних перетворень над математичними виразами, що входять в інженерну задачу та містять такі функції, а також для реалізації програмних розрахунків необхідно вміти подавати кожну табличну функцію деяким аналітичним виразом (формулою) [19].

Завдання визначення для табличної функції її аналітичного виразу (формули), що точно задовольняє табличні дані, вирішують методами обчислювальної математики, який має назву теорія інтерполяції (від латинського префікса "inter", що означає "поміж", та латинського слова "polus", що означає "полюс"). Отже, в обчислювальній математиці *інтерполяція* (англ. *Interpolation*) – спосіб знаходження проміжних значень функції за наявним дискретним набором відомих значень [45].

Зазвичай, аналітичний вираз табличної функції називають інтерполянтою. За вираз інтерполянти потрібно брати таку функцію, яка за своїми властивостями найбільш близька до аналітичної функції, вираз якої, переважно, невідомий. Водночас, якщо аналітична функція є наперед відомою з фізичного змісту задачі, але невідомими є тільки її коефіцієнти, то за інтерполянту логічно прийняти саме цей аналітичний вираз. Однак, у переважній більшості інженерних задач додаткові відомості про аналітичну функцію, окрім відображених у самій табличній функції, є недостатніми або зовсім відсутніми. Тоді для інтерполяції табличної функції використовують різні аналітичні вирази, насамперед – степеневі многочлени.

Отже, спробуємо використати інтерполяцію табличних функцій для двох і більше незалежних змінних з метою подання адитивної функції корисності, заснованої на ідеї про незалежність користностей окремих продуктів проекту і можливості легкого вимірювання їхнього значення.

Моделювання процедур надання переваг одному з двох параметрів. Загалом функцію $V = V(x_1, x_2)$ для двох незалежних змінних, задану таблицею, можна подати аналітично інтерполянтою у вигляді степеневого многочлена 1-го степеня

$$V(x_1, x_2) = c_0 + c_1 x_1 + c_2 x_2, \quad (1)$$

чи 2-го степеня

$$V(x_1, x_2) = c_0 + c_1 x_1 + c_2 x_2 + c_3 x_1^2 + c_4 x_1 x_2 + c_5 x_2^2, \quad (2)$$

де: x_1 і x_2 – незалежні змінні; $c_0, \dots, c_5$ – коефіцієнти інтерполянти. Вираз (1) описує площину в просторі, а вираз (2) – просторову квадратичну залежність. Для отримання числових значень коефіцієнтів інтерполянти (1) потрібно мати всього три точки, а для (2) – п'ять точок. Нам же для моделювання процедур надання переваг од-

ному з двох параметрів потрібно мати всього чотири точки (рис. 2). Тобто, для інтерполянти (1) точок замало, а для (2) – забагато. Як вийти з цієї ситуації?

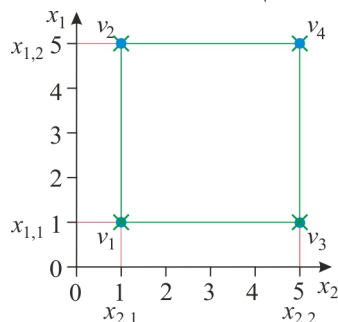


Рис. 2. Планування експерименту на 'квадраті' для двох факторів на двох рівнях / Experiment planning on 'Squaring' for two factors at two levels

В теорії планування експерименту (англ. *Experimental Design*) існує таке поняття як *повний факторний експеримент* (ПФЕ), при реалізації якого визначають значення функції відгуку при всіх можливих поєднаннях рівнів зміни факторів [48]. Якщо маємо справу з k факторами, кожен з яких можна встановити на q рівнях, то для реалізації ПФЕ необхідно провести $n = q^k$ дослідів. Найбільшого поширення набули експерименти, в яких фактори змінюються на двох рівнях, тобто проводять експерименти типу 2^k . Якщо у нашому випадку маємо справу з $k = 2$ факторами, кожен з яких потрібно встановити на $q = 2$ рівнях, то для реалізації ПФЕ необхідно провести $n = 2^2 = 4$ дослідів. В цьому випадку кажуть, що планування експерименту проводять на так званому 'квадраті' (рис. 2). Для математичного опису такого експерименту використовують регресійну залежність у вигляді неповного многочлена 2-го степеня, що нам якраз і знадобиться.

Табл. 2. Подання табличної функції для двох незалежних змінних x_1 та x_2 / Representation of a tabular function for two independent variables x_1 and x_2

Незалежні змінні	Вузлові точки, j			
	1	2	3	4
$x_{1,j}$	$x_{1,1} = 1$	$x_{1,2} = 1$	$x_{1,3} = 5$	$x_{1,4} = 5$
$x_{2,j}$	$x_{2,1} = 1$	$x_{2,2} = 5$	$x_{2,3} = 1$	$x_{2,4} = 5$
V_j	$v_1 = 1$	$v_2 = 2,4$	$v_3 = 3,4$	$v_4 = 6$

З огляду на зазначене вище, табличну функцію для двох незалежних змінних (табл. 2) опишемо інтерполянтою у вигляді неповного многочлена 2-го степеня:

$$V(x_1, x_2) = c_0 + c_1 x_1 + c_2 x_2 + c_3 x_1 x_2, \quad (3)$$

в якому відсутні члени степеневого многочлена зі змінними тільки в квадраті.

Якщо інтерполянта, задана аналітично виразом (1), описує площину в просторі, то аналітичний вираз (3) описує лінійну поверхню в просторі (рис. 3), схожу на площину, але насправді вона як такою не є (хіба як частковий випадок). Хоча, за постійних значень однієї змінної (наприклад, $x_2 = \{1, 2, 3, 4, 5\} - \text{const}$), протабульовані значення функції $V(x_1, x_2)$ за змінною $x_1 = 1(1)5$ й описують прямі лінії, але вони будуть не паралельними між собою. Таке саме можна спостерігати й для змінної $x_1 = \{1, 2, 3, 4, 5\} - \text{const}$ та протабульованих значень функції $V(x_1, x_2)$ за змінною $x_2 = 1(1)5$.

Отже, для табличної функції (табл. 2) вираз інтерполянти з буквеними коефіцієнтами матиме вигляд (3). Застосувавши цей вираз послідовно до j -ої вузлової

точки, отримаємо таку систему лінійних алгебричних рівнянь:

$$\begin{cases} c_0 + c_1 x_{1,1} + c_2 x_{2,1} + c_3 x_{1,1} x_{2,1} = v_1; \\ c_0 + c_1 x_{1,2} + c_2 x_{2,2} + c_3 x_{1,2} x_{2,2} = v_2; \\ c_0 + c_1 x_{1,3} + c_2 x_{2,3} + c_3 x_{1,3} x_{2,3} = v_3; \\ c_0 + c_1 x_{1,4} + c_2 x_{2,4} + c_3 x_{1,4} x_{2,4} = v_4. \end{cases} \quad (4)$$

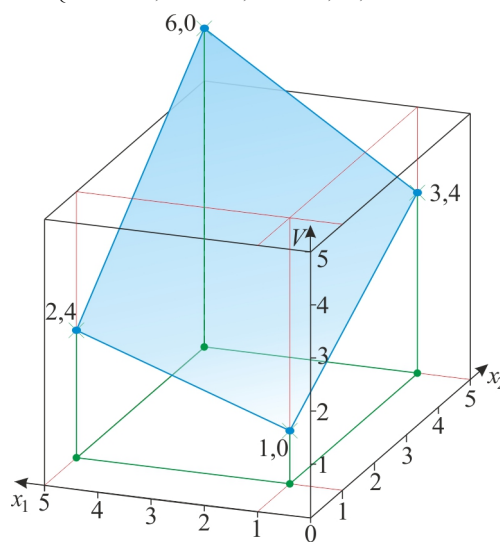


Рис. 3. Графічне подання табличної функції для двох незалежних змінних x_1 та x_2 / Graphical representation of a tabular function for two independent variables x_1 and x_2

З врахуванням табличних значень вузлових точок (табл. 2), система лінійних рівнянь (4) набуде такого скалярного вигляду:

$$\begin{cases} c_0 + c_1 + c_2 + c_3 \cdot 1 = 1,0; \\ c_0 + c_1 + c_2 \cdot 5 + c_3 \cdot 1 \cdot 5 = 2,4; \\ c_0 + c_1 \cdot 5 + c_2 + c_3 \cdot 5 \cdot 1 = 3,4; \\ c_0 + c_1 \cdot 5 + c_2 \cdot 5 + c_3 \cdot 5 \cdot 5 = 6,0. \end{cases} \quad (5)$$

Отримана система (5) є лінійною системою алгебричних рівнянь з чотирма невідомими. Розв'язавши її (наприклад, методом Гауса), отримаємо такі числові значення коренів системи: $c_0 = 0,125$; $c_1 = 0,525$; $c_2 = 0,275$; $c_3 = 0,075$. Підставивши їх у вираз (3) інтерполянти замість буквених коефіцієнтів, отримаємо аналітичний вираз інтерполянти з числовими коефіцієнтами, а саме:

$$V(x_1, x_2) = 0,125 + 0,525x_1 + 0,275x_2 + 0,075x_1x_2, \quad (6)$$

який і є результатом розв'язання поставленої задачі, тобто вираз (3) є інтерполянтою функції, заданої табл. 2.

Якщо за аналітичним виразом (6) обчислити значення функції $V = V(x_1, x_2)$ для певних значень незалежних змінних з інтервалу $x_1 = x_2 = 1(1)5$, то отримаємо табл. 3, графічне подання якої показано на рис. 4. Цей рисунок відрізняється від рис. 3 тільки тим, що на ньому відображено ще внутрішні додаткові точки, яких нам якраз і не вистачало для подальшої роботи.

Табл. 3. Результати розрахунку значень інтерполянти $V(x_1, x_2)$ за двома незалежними змінними / The results of calculating the values of the interpolants $V(x_1, x_2)$ for two independent variables

5	2,4	3,3	4,2	5,1	6
4	2,05	2,875	3,7	4,525	5,35
3	1,7	2,45	3,2	3,95	4,7
2	1,35	2,025	2,7	3,375	4,05
1	1	1,6	2,2	2,8	3,4
$x_1 \setminus x_2$	1	2	3	4	5

Тут таблицю наведено так, як це показано на рис. 2, для того, щоб були очевидні та зрозумілі значення.

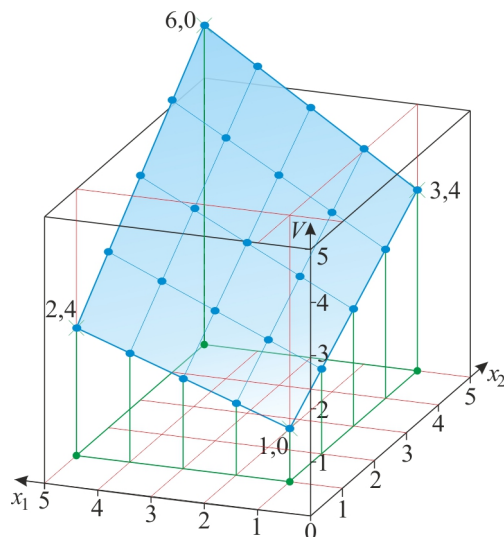


Рис. 4. Графічне подання неперервних значень інтерполанти $V(x_1, x_2)$ за двома незалежними змінними / Graphical representation of continuous values of the interpolant $V(x_1, x_2)$ by two independent variables

Маючи значення табл. 3, проведемо їх дискретизацію за встановленими правилами заокруглення, використовуючи для цього таку формулу

$$U(\Pi, 3C) = \begin{cases} 5, & \text{якщо } V(x_1, x_2) + 0,5 > 5; \\ \text{int}(V(x_1, x_2) + 0,5) - \text{в інш. вип.}, & \end{cases} \quad (7)$$

внаслідок чого отримаємо цілочисельну адитивну функцію корисності $3B = U(\Pi, 3C)$ (табл. 4), значення якої повністю збігаються зі значеннями, наведеними в табл. 1, водночас як її графічне подання наведено на рис. 5. У виразі (7) $\text{int}()$ – функція, що заокруглює значення аргумента до меншого цілого.

Табл. 4. Результати подання адитивної функції корисності ($3B$) за двома параметрами Π і $3C$ / The results of the representation of the additive utility function (EU) for the two parameters P and M

5	2	3	4	5	5
4	2	3	4	5	5
3	2	2	3	4	5
2	1	2	3	3	4
1	1	2	2	3	3
$\Pi \backslash 3C$	1	2	3	4	5

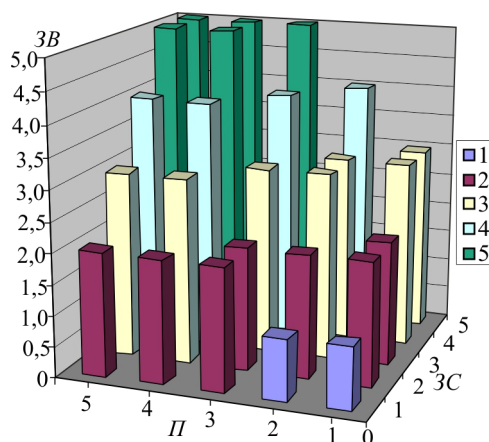


Рис. 5. Графічне подання дискретних значень функції корисності ($3B$) за двома параметрами Π і $3C$ / Graphical representation of discrete values of the utility function (EU) for two parameters P and M

Аналізуючи дані табл. 2 та їх графічне подання (див. рис. 3) для двох незалежних змінних x_1 та x_2 , бачимо,

що в табл. 3, окрім наявних, наведено й відсутні значення функції $V(x_1, x_2)$ для проміжних значень незалежних змінних ($x_1 = x_2 = 2, 3$ і 4), графічне подання якої наведено на рис. 4. Зображена на цьому рисунку просторова поверхня є не що інше як графічне подання неперервних значень функції корисності $U(x_1, x_2)$ за двома параметрами. На цьому ж рисунку можна простежити надання переваги одній з незалежних змінних, а саме – x_2 . Наприклад, якщо при початкових значеннях $x_1 = x_2 = 1$, значення функції $V(1;1) = 1$, то вже при $x_1 = 1, x_2 = 5$ значення $V(1;5) = 3,4$, водночас як при $x_1 = 5, x_2 = 1$ значення $V(5;1) = 2,4$, що значно менше, ніж $3,4$, тобто перевага x_2 над x_1 очевидна. При цьому, якщо $x_1 = x_2 = 5$, то значення функції $V(5;5) = 6$. Аналогічна закономірність простежується й зі зміною проміжних значень незалежних змінних $x_1 = x_2 = 2(1)4$.

Якщо на рис. 2 поміняти місцями значення бокових функцій – $V(5;1) = 3,4$ і $V(1;5) = 2,4$, то надана перевага спостерігатиметься з точністю до навпаки, тобто незалежній змінній x_1 . Водночас, якщо є потреба не надавати перевагу будь-якій змінній, то значення бокових функцій мають співпадати між собою – $V(5;1) = V(1;5)$. Це випадок, коли функція $V(x_1, x_2)$ гарантовано описує площину в просторі. Окрім цього, якщо під час моделювання процедур виникає потреба використати відношення слабкої переваги, то значення початкової функції має становити $V(1;1) = 1,0 \dots 1,5$, а значення бокових функцій мають бути малими – $V(5;1) = V(1;5) = 2,0 \dots 2,5$, водночас як крайня функція має мати таке значення $V(5;5) = 5,0 \dots 5,5$. Якщо ж потрібно використати відношення строгої переваги, то початкове значення функції має становити $V(1;1) = 1,0$, значення бокових функцій – $V(5;1) = V(1;5) = 2,5 \dots 3,5$, а крайня функція – $V(5;5) = 5,5 \dots 7,0$. Якщо ж передбачено використання відношення байдужості, то початкове значення функції має становити $V(1;1) = 1,5 \dots 2,0$, значення бокових функцій – $V(5;1) = V(1;5) = 2,0 \dots 2,5$, а крайня функція – $V(5;5) = 3,0 \dots 4,0$. Тут наведено далеко не всі можливі рекомендації, тому подамо їх в наступних публікаціях.

Стосовно площини в просторі, то функція $V(x_1, x_2)$ буде як такою за умови, що вхідні значення табличної функції набудуть одного з двох варіантів, наведених у табл. 4. У першому варіанті за незмінних значень вузла v_1, v_2 і v_4 , вузол v_3 має мати значення $4,6$ замість $3,4$, водночас як у другому варіанті за незмінних значень вузла v_1, v_3 і v_4 , вузол v_2 має мати значення $3,6$ замість $2,4$. За будь-яким варіантом цих табличних значень отримана за ними аналітична функція $V(x_1, x_2)$ гарантовано описуватиме відповідні площини в просторі.

Табл. 4. Варіанти значень табличної функції для двох незалежних змінних x_1 та x_2 / Variants of values of tabular function for two independent variables x_1 and x_2

Незалежні змінні	Варіанти вузлових точок, j							
	Варіант 1				Варіант 2			
	1	2	3	4	1	2	3	4
$x_{1,j}$	1	1	5	5	1	1	5	5
$x_{2,j}$	1	5	1	5	1	5	1	5
V_j	1	2,4	4,6	6	1	3,6	3,4	6

Отже, розроблено математичну залежність, яка дає змогу подати адитивну функцію корисності для двох параметрів, а також здійснювати моделювання процедур надання переваг одному з двох параметрів. Проведено її аналіз та надано рекомендації щодо ефективного використання.

Моделювання процедур надання переваг одному з трьох параметрів. Згідно з теорією планування експерименту [48], якщо маємо $k = 3$ фактори, кожен з яких можна встановити на $q = 2$ рівнях, то для реалізації ПФЕ необхідно провести $n = 2^3 = 8$ дослідів. В цьому випадку кажуть, що планування експерименту проводять на так званому 'кубі' (рис. 6). Для математичного опису такого експерименту використовують регресійні залежності у вигляді неповного многочлена 3-го степеня, що нам якраз і потрібно.

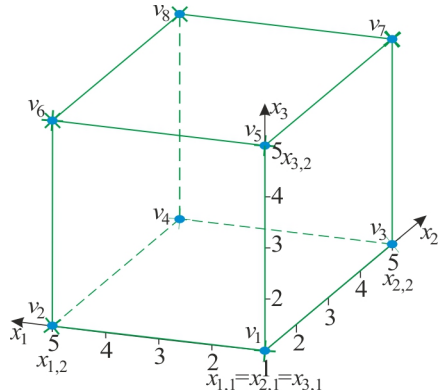


Рис. 6. Планування експерименту на 'кубі' для трьох факторів на двох рівнях / Experiment planning on 'cube' for three factors on two levels

Табл. 5. Подання табличної функції для трьох незалежних змінних x_1, x_2 та x_3 / Representation of a tabular function for three independent variables x_1, x_2 and x_3

Незалежні змінні	Вузлові точки, j							
	1	2	3	4	5	6	7	8
$x_{1,j}$	1	5	1	5	1	5	1	5
$x_{2,j}$	1	1	5	5	1	1	5	5
$x_{3,j}$	1	1	1	1	5	5	5	5
V_j	1	1.5	2.3	3	3.8	5.1	6.2	6.6

Загалом функцію $V = V(x_1, x_2, x_3)$ для трьох незалежних змінних, задану таблицею (табл. 5), подамо аналітично інтерполянтою у вигляді неповного многочлена 3-го степеня:

$$V(x_1, x_2, x_3) = c_0 + c_1 x_1 + c_2 x_2 + c_3 x_3 + c_4 x_1 x_2 + c_5 x_1 x_3 + c_6 x_2 x_3 + c_7 x_1 x_2 x_3, \quad (8)$$

в якому відсутні члени степеневого многочлена зі змінними не тільки в квадраті, але й в кубі.

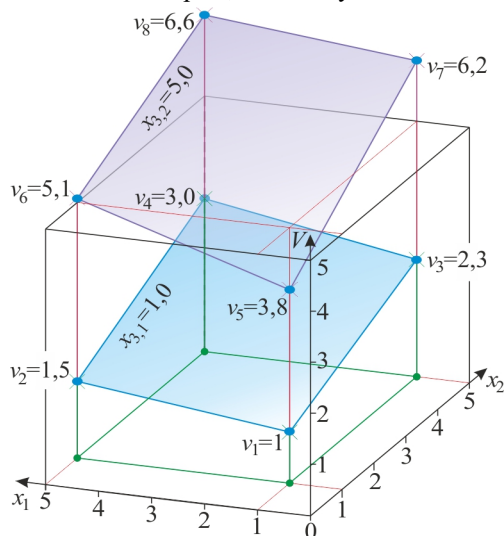


Рис. 7. Графічне подання табличної функції для двох незалежних змінних x_1 та x_2 за постійних значень третьої змінної x_3 / Graphical representation of the tabular function for two independent variables x_1, x_2 with constant values of the third variable x_3

Аналітичний вираз (8) описує набір лінійних поверхонь в просторі (рис. 7), схожих на площини, але насправді вони як такими не є (хіба як частковий випадок). З рисунку видно, що ці поверхні також не є паралельними між собою. Хоча, за постійних значень двох змінних (наприклад, $x_2 = x_3 = \{1, 2, 3, 4, 5\} - \text{const}$), протабульовані значення функції $V(x_1, x_2, x_3)$ за змінною $x_1 = 1(1)5$ й описують прямі лінії для кожної із поверхонь, але вони будуть не паралельними між собою. Таке саме можна спостерігати й для змінних $x_1 = x_3 = \{1, 2, 3, 4, 5\} - \text{const}$ та протабульованих значень функції $V(x_1, x_2, x_3)$ за змінною $x_2 = 1(1)5$. Аналогічне побачимо й для змінних $x_1 = x_2 = \{1, 2, 3, 4, 5\} - \text{const}$ та протабульованих значень функції $V(x_1, x_2, x_3)$ за змінною $x_3 = 1(1)5$.

Отже, для табличної функції (табл. 5) вираз інтерполянти з буквеними коефіцієнтами матиме вигляд (8). Застосувавши цей вираз послідовно до j -ої вузлової точки, отримаємо таку систему лінійних алгебричних рівнянь:

$$\left\{ \begin{array}{l} C_0 + C_1 x_{1,1} + C_2 x_{2,1} + C_3 x_{3,1} + C_4 x_{1,1} x_{2,1} + C_5 x_{1,1} x_{3,1} + C_6 x_{2,1} x_{3,1} + \\ + C_7 x_{1,1} x_{2,1} x_{3,1} = v_1; \\ C_0 + C_1 x_{1,2} + C_2 x_{2,2} + C_3 x_{3,2} + C_4 x_{1,2} x_{2,2} + C_5 x_{1,2} x_{3,2} + C_6 x_{2,2} x_{3,2} + \\ + C_7 x_{1,2} x_{2,2} x_{3,2} = v_2; \\ \dots \qquad \dots \qquad \dots \qquad \dots \qquad \dots \\ C_0 + C_1 x_{1,8} + C_2 x_{2,8} + C_3 x_{3,8} + C_4 x_{1,8} x_{2,8} + C_5 x_{1,8} x_{3,8} + C_6 x_{2,8} x_{3,8} + \\ + C_7 x_{1,8} x_{2,8} x_{3,8} = v_8. \end{array} \right. \quad (9)$$

З врахуванням табличних значень вузлових точок (табл. 5), система лінійних рівнянь (9) набуде такого скалярного вигляду:

$$\left\{ \begin{array}{l} c_0 + c_1 + c_2 + c_3 + c_4 \cdot 1 + c_5 \cdot 1 + c_6 \cdot 1 + c_7 \cdot 1 \cdot 1 = 1, 0; \\ c_0 + c_1 + c_2 + c_3 \cdot 5 + c_4 \cdot 1 + c_5 \cdot 1 \cdot 5 + c_6 \cdot 1 \cdot 5 + c_7 \cdot 1 \cdot 5 = 1, 5; \\ c_0 + c_1 + c_2 \cdot 5 + c_3 \cdot 1 + c_4 \cdot 1 \cdot 5 + c_5 \cdot 1 \cdot 5 + c_6 \cdot 5 \cdot 1 + c_7 \cdot 1 \cdot 5 \cdot 1 = 2, 3; \\ c_0 + c_1 + c_2 \cdot 5 + c_3 \cdot 5 + c_4 \cdot 1 \cdot 5 + c_5 \cdot 1 \cdot 5 + c_6 \cdot 5 \cdot 5 + c_7 \cdot 1 \cdot 5 \cdot 5 = 3, 0; \\ c_0 + c_1 \cdot 5 + c_2 \cdot 1 + c_3 \cdot 1 + c_4 \cdot 5 \cdot 1 + c_5 \cdot 5 \cdot 1 + c_6 \cdot 1 \cdot 1 + c_7 \cdot 5 \cdot 1 \cdot 1 = 3, 8; \\ c_0 + c_1 \cdot 5 + c_2 \cdot 1 + c_3 \cdot 5 + c_4 \cdot 5 \cdot 1 + c_5 \cdot 5 \cdot 5 + c_6 \cdot 1 \cdot 5 + c_7 \cdot 5 \cdot 1 \cdot 5 = 5, 1; \\ c_0 + c_1 \cdot 5 + c_2 \cdot 5 + c_3 \cdot 1 + c_4 \cdot 5 \cdot 5 + c_5 \cdot 5 \cdot 1 + c_6 \cdot 5 \cdot 1 + c_7 \cdot 5 \cdot 5 \cdot 1 = 6, 2; \\ c_0 + c_1 \cdot 5 + c_2 \cdot 5 + c_3 \cdot 5 + c_4 \cdot 5 \cdot 5 + c_5 \cdot 5 \cdot 5 + c_6 \cdot 5 \cdot 5 + c_7 \cdot 5 \cdot 5 \cdot 5 = 6, 6. \end{array} \right. \quad (10)$$

Отримана система (10) є лінійною системою алгебричних рівнянь з вісьмома невідомими. Розв'язавши її (наприклад, методом Гауса), отримаємо такі числові значення коренів системи: $c_0 = -0,00156$; $c_1 = 0,564$; $c_2 = 0,227$; $c_3 = 0,0453$; $c_4 = 0,0859$; $c_5 = 0,0672$; $c_6 = 0,0297$; $c_7 = -0,0172$. Підставивши їх у вираз (8) інтерполянти замість буквених коефіцієнтів, отримаємо аналітичний вираз інтерполянти з числовими коефіцієнтами, а саме:

$$V(x_1, x_2, x_3) = -0,00156 + 0,564x_1 + 0,227x_2 + 0,0453x_3 + 0,0859x_1x_2 + 0,0672x_1x_3 + 0,0297x_2x_3 - 0,0172x_1x_2x_3, \quad (11)$$

який i є результатом розв'язання поставленої задачі, тобто вираз (8) є інтерполянтою функції, заданої табл. 5.

Якщо за аналітичним виразом (11) обчислити значення функції $V = V(x_1, x_2, x_3)$ для певних значень незалежних змінних з інтервалу $x_1 = x_2 = x_3 = 1(1)5$, то отримаємо табл. 6, графічне подання якої показано на рис. 8. Цей рисунок відрізняється від рис. 7 тільки тим, що на ньому відображено ще три внутрішні лінійні поверхні, яких нам якраз і не вистачало для подальшої роботи. Йдеться про те, що змінна x_3 міняє своє значення на п'ятьох рівнях, а на рис. 7 початково маємо всього два рівня – 1-ий і 5-ий, а в табл. 6 вже наведено всі 5 рівнів.

Табл. 6. Результати розрахунку значень інтерполянти $V(x_1, x_2, x_3)$ за трьома незалежними змінними / The results of calculating the values of the interpolants $V(x_1, x_2, x_3)$ for three independent variables

x_1	$V = V(x_1, x_2, x_3)$					x_3
5	1,50	1,88	2,25	2,63	3,00	1
4	1,38	1,74	2,10	2,46	2,83	
3	1,25	1,60	1,95	2,30	2,65	
2	1,13	1,46	1,80	2,14	2,48	
1	1,00	1,33	1,65	1,98	2,30	
5	2,40	2,78	3,15	3,53	3,90	2
4	2,23	2,60	2,98	3,36	3,74	
3	2,05	2,43	2,82	3,20	3,59	
2	1,88	2,26	2,65	3,04	3,43	
1	1,70	2,09	2,49	2,88	3,28	
5	3,30	3,68	4,05	4,43	4,80	3
4	3,08	3,47	3,87	4,27	4,66	
3	2,85	3,27	3,69	4,11	4,53	
2	2,63	3,07	3,51	3,95	4,39	
1	2,40	2,86	3,33	3,79	4,25	
5	4,20	4,58	4,95	5,33	5,70	4
4	3,93	4,34	4,75	5,17	5,58	
3	3,65	4,10	4,56	5,01	5,46	
2	3,38	3,87	4,36	4,85	5,34	
1	3,10	3,63	4,16	4,69	5,23	
5	5,10	5,48	5,85	6,23	6,60	5
4	4,78	5,21	5,64	6,07	6,50	
3	4,45	4,94	5,43	5,91	6,40	
2	4,13	4,67	5,21	5,76	6,30	
1	3,80	4,40	5,00	5,60	6,20	
$x_1 \setminus x_2$	1	2	3	4	5	

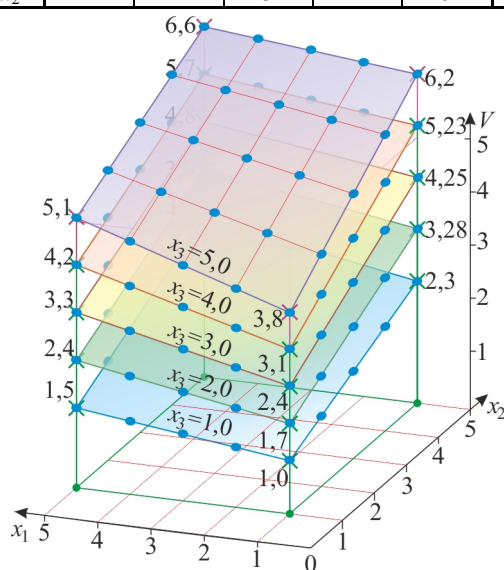


Рис. 8. Графічне подання неперервних значень інтерполянти $V(x_1, x_2, x_3)$ за трьома незалежними змінними / Graphical representation of continuous values of the interpolant $V(x_1, x_2, x_3)$ by three independent variables

Маючи значення табл. 6, проведемо їх дискретизацію за встановленими правилами заокруглення, використовуючи для цього таку формулу

$$U(\Pi, 3C, 3B) = \begin{cases} 5, \text{ якщо } V(x_1, x_2, x_3) + 0,5 > 5; \\ \text{int}(V(x_1, x_2, x_3) + 0,5) - \text{в інш. вип.}, \end{cases} \quad (12)$$

внаслідок чого отримаємо цілочисельну адитивну функцію корисності $\Pi_1 = U(\Pi, 3C, 3B)$ (табл. 7), значення якої нам потрібно для проведення аналізу якості продукту за трьома параметрами, а її графічне подання наведено на рис. 9 при $3B = 5$. У виразі (12) функція $\text{int}()$ заокруглює значення аргумента до меншого цілого.

Табл. 7. Результати подання адитивної функції корисності (Π_1) за трьома параметрами Π , $3C$ і $3B$ / The results of the representation of the additive utility function (P_1) for the three parameters P , M and EU

Рівень Π	Стан агрегованого показника якості продукту Π_1					Рівень $3B$
5	2	2	2	3	3	1
4	1	2	2	2	3	
3	1	2	2	2	3	
2	1	1	2	2	2	
1	1	1	2	2	2	
5	2	3	3	4	4	2
4	2	3	3	3	4	
3	2	2	3	3	4	
2	2	2	3	3	3	
1	2	2	2	3	3	
5	3	4	4	4	5	3
4	3	3	4	4	5	
3	3	3	4	4	5	
2	3	3	4	4	4	
1	2	3	3	4	4	
5	4	5	5	5	5	4
4	4	4	5	5	5	
3	4	4	5	5	5	
2	3	4	4	5	5	
1	3	4	4	5	5	
5	5	5	5	5	5	5
4	5	5	5	5	5	
3	4	5	5	5	5	
2	4	5	5	5	5	
1	4	4	5	5	5	
Рівень $3C$	1	2	3	4	5	

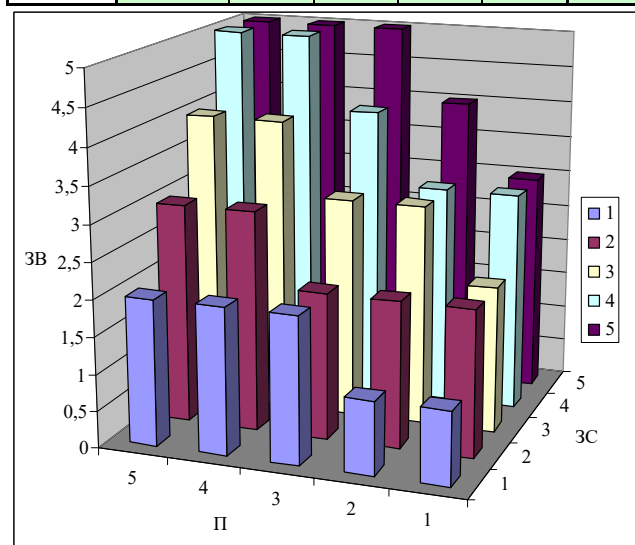


Рис. 9. Графічне подання дискретних значень функції корисності (Π_1) за двома параметрами Π і $3C$ та постійному значенні параметра $3B = 5$ / Graphical representation of discrete values of the utility function (P_1) for the two parameters P and M and the constant value of the parameter $EU = 5$

Аналізуючи дані табл. 5 та їх графічне подання (див. рис. 7) для трьох незалежних змінних x_1 , x_2 та x_3 , бачимо, що в табл. 6, окрім наявних, наведено й відсутні значення функції $V(x_1, x_2, x_3)$ для проміжних значень незалежної змінної $x_3 = 2, 3$ і 4 , графічне подання якої наведено на рис. 8. Зображені на цьому рисунку просторові поверхні є графічним поданням неперервних значень функції корисності $U(x_1, x_2, x_3)$ за трьома параметрами. На цьому ж рисунку можна простежити надання переваги одній з незалежних змінних, а саме x_2 .

Для розуміння основних особливостей надання переваги одному чи іншому параметру спочатку розглянемо рис. 7 і проаналізуємо детальніше лінійну поверхню $x_{3,1} = 1$. З рисунку видно, що її лівий кут ($v_2 = 1,5$) порівняно з правим ($v_3 = 2,3$) має менше значення, а це означає, що перевагу надано змінній x_2 . Зрозуміло, перевагу було б надано з точністю до навпаки, якщо б лівий кут поверхні v_2 мав значення більше порівняно з правим кутом v_3 . Також зрозуміло, що за наявності однакових значень перевага не надавалась би жодній незалежній змінній. Таку саму закономірність можна простежити і для лінійної поверхні $x_{3,2} = 5$, в чому допитливому читачу пропонуємо вияснити самостійно. Аналогічні закономірності можна простежити й на рис. 8, якщо уважно придивитися до кожної лінійної поверхні.

Під час моделювання процедур надання переваг одному з трьох параметрів досліднику також варто мислити не конкретними числовими значеннями, а лінійними поверхнями для того, щоб отримати відношення слабкої та строгої переваги, а також відношення байдужості. Тут варто пам'ятати, що для відношення строгої переваги лінійна поверхня має мати більшу крутість підйому від вузла v_1 та v_4 , і мінімальний підйом – для відношення байдужості. Водночас, перевага надаватиметься тому параметру (вузли v_2 та v_3), в якого більше значення, і чим ця різниця більша, ти більша перевага. При цьому кмітливий дослідник, експериментуючи різними числовими значеннями вузлів v_1 , v_2 , v_3 та v_4 зможе досягти прийнятні для себе результати, які з успіхом використає у своєму дослідженні.

Стосовно площини в просторі, то функція $V(x_1, x_2, x_3)$ буде як такою за умови, що вхідні значення табличної функції набудуть одного з двох варіантів, наведених у табл. 8. Спочатку розглянемо лінійну поверхню $x_{3,1} = 1$ (див. рис. 7). У першому варіанті за незмінних значень вузла v_1 , v_2 і v_4 , вузол v_3 має мати значення 2,5 замість 2,3, водночас як у другому варіанті за незмінних значень вузла v_1 , v_3 і v_4 , вузол v_2 має мати значення 1,7 замість 1,5. Аналогічні зміни значень можна побачити і для лінійної поверхні $x_{3,2} = 5$. За будь-яким варіантом цих табличних значень отримана за ними аналітична функція $V(x_1, x_2, x_3)$ гарантовано описуватиме відповідні площини в просторі.

Табл. 8. Варіанти значень табличної функції для трьох незалежних змінних x_1 , x_2 та x_3 / Variants of values of the table function for three independent variables x_1 , x_2 and x_3

Незалежні змінні	Варіанти вузлових точок, j							
	1	2	3	4	5	6	7	8
$x_{1,j}$	1	5	1	5	1	5	1	5
$x_{2,j}$	1	1	5	5	1	1	5	5
$x_{3,j}$	1	1	1	1	5	5	5	5
Вар. 1: V_j	1	1,5	2,5	3	3,8	5,1	5,3	6,6
Вар. 2: V_j	1	1,7	2,3	3	3,8	4,2	6,2	6,6

Отже, розроблено математичну залежність, яка дає змогу подати адитивну функцію корисності для трьох параметрів, а також здійснювати моделювання процедур надання переваг одному з трьох параметрів. Проведено її аналіз та надано рекомендації щодо ефективного використання.

3. Побудова системи управління якістю програмного забезпечення методом ієрархічної структури критеріїв. Щоб врахувати декілька критеріїв у системі управління якістю ПЗ [9], доводиться розв'язувати бага-

токритеріальну задачу пошуку оптимального варіанту з множини допустимих [2, 51]. Як правило, різні цілі запровадження таких систем у кожній ІТ-компанії зазвичай суперечливі між собою [39]. Наприклад, збільшення портативності ПЗ часто призводить до зменшення зручності його супроводу. Великі витрати на підвищення безпеки ПЗ значно ускладнюють програмно-апаратні засоби досягнення його портативності. Надмірна сумісність ПЗ викликає значні нарікання адміністраторів мережі щодо його обслуговування. Забезпечення високої надійності роботи ПЗ часто призводить до погіршення зручності його використання, а ефективність виконання – до функціональної придатності. Тому завдання вибору оптимального набору напружених варіантів системи управління якістю ПЗ з урахуванням таких критеріїв, як зручність супроводу продукту та його портативності, безпеки продукту та його сумісності, а також надійності роботи продукту, зручності використання та функціональної придатності належить до задач багатокритеріальної оптимізації [38, 63].

Існує декілька підходів до розв'язання такого класу задач, більшість з яких пов'язані з формуванням узагальненого показника ефективності допустимого варіанту [2, 23, 55], значення якого в агрегованому вигляді за певних умов поєднання наявних критеріїв може адекватно відображати задану керівником ІТ-компанії стратегію запровадження системи управління якістю ПЗ. Тому, свого часу для прийняття обґрунтованих управлінських рішень велику популярність отримав метод формування комплексного показника ефективності проектного об'єкта на підставі побудови ієрархічної структури (дерева) критеріїв його відбору. Ідея методу полягає в тому, що всі початкові критерії організовують в певну ієрархічну структуру, на кожному рівні якої будують агрегований показник поточної ефективності об'єкта тільки за двома критеріями, агрегованими показниками чи їхнім поєднанням з попереднього ієрархічного рівня [23].

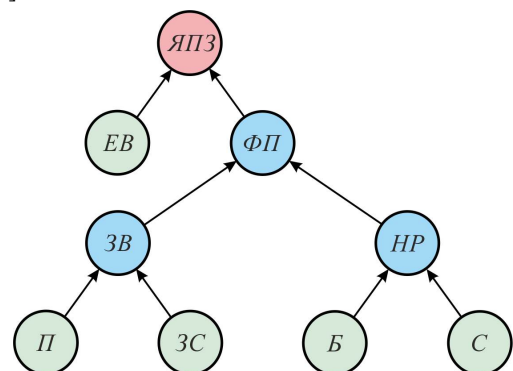


Рис. 10. Ієрархічна структура системи оцінювання якості ПЗ / Hierarchical structure of software quality assessment system

В роботі [18] було запропоновано ієрархічну структуру для восьми критеріїв комплексного оцінювання якості ПЗ (рис. 10), які забезпечують його безпеку (Б) і сумісність (С), гарантують відповідний рівень портативності (П) та зручність супроводу (ЗС), уможливають зручність використання (ЗВ) та надійність роботи (НР), гарантують ефективність виконання (ЕВ) та функціональну придатність (ФП). Загалом ці критерії, які достеменно відображають модель ЯПП (див. рис. 1), дають можливість керівнику ІТ-компанії отримати належну якість як нового, так і модифікованого ПЗ [20]. З

цього рисунку також видно, що для отримання комплексного показника якості продукту *ЯПЗ* спочатку потрібно об'єднати критерій оцінювання портативності (*П*) продукту з критерієм зручності його супроводу (*ЗС*) в один агрегований показник зручності його використання (*ЗВ*). Далі потрібно об'єднати критерії оцінювання безпеки (*Б*) та сумісності (*С*) продукту в один агрегований показник надійності його роботи (*НР*). Потім, об'єднуючи два агреговані показники зручності використання (*ЗВ*) продукту з надійністю його роботи (*НР*), отримуємо один агрегований показник функціональної придатності (*ФП*) продукту. І, на завершення, об'єднуючи критерій оцінювання ефективності виконання (*ЕВ*) продукту з агрегованим показником його функціональної придатності (*ФП*), отримуємо агрегований і, водночас, комплексний показник якості продукту (*ЯПЗ*), екстремальне значення якого вказує на таку систему його оцінювання, яку можна прийняти за оптимальну з множини допустимих.

Перевагою запропонованої в роботі [18] ієрархічної структури критеріїв оцінювання якості ПЗ, наведеної на рис. 10, є те, що до неї не внесено жодного додаткового показника оцінювання поточної якості продукту з відповідною йому назвою. Для цього використано наявні критерії оцінювання поточної якості ПЗ, що дало можливість надавати їхні назви агрегованим показникам, аналогічні з назвами характеристик, встановлені в моделі ЯПП [32]. Однак, основним недоліком такої ієрархічної структури є те, що, згортаючи два критерії з нижчого рівня якості ПЗ в один агрегований показник стану його якості, який отримав назву одного з критеріїв моделі ЯПП, в роботі [18] було враховано підхарактеристики тільки цих двох критеріїв і свідомо відкинуто підхарактеристики третього критерію з вищого рівня якості ПЗ. Водночас, агрегований показник поточного стану якості ПЗ має враховувати підхарактеристики кожного з критеріїв оцінювання рівня його якості.

Тому наведена на рис. 10 ієрархічна структура наявних критеріїв і отриманих агрегованих показників поточної якості ПЗ не зовсім придатна для практичного її використання. Хоча така структура надзвичайно проста, позаяк не містить додаткових показників оцінювання поточної якості ПЗ, однак агреговані показники *НР*, *ЗВ* і *ФП* враховують всі підхарактеристики тих критеріїв, які їх утворюють, водночас як їхні підхарактеристики не беруться до уваги взагалі (див. рис. 1). Наприклад, агрегований показник надійності роботи (*НР*) продукту утворений двома критеріями, які характеризують його безпеку (*Б*) та сумісність (*С*). Водночас, агрегований показник, який характеризує зручність використання (*ЗВ*) продукту утворений двома критеріями, які гарантують відповідний рівень портативності (*П*) та зручність супроводу (*ЗС*). Понад це, агрегований показник функціональної придатності (*ФП*) продукту утворений двома агрегованими показниками, які характеризують його зручність використання (*ЗВ*) та надійність роботи (*НР*). При цьому, не врахування підхарактеристик цих трьох критеріїв у наведеній на рис. 10 ієрархічній структурі призведе до того, що, будучи присутніми в моделі якості програмного продукту, це може негативно вплинути не тільки на виробничо-господарську діяльність навіть потужної ІТ-компанії, але й не коректно відобразитись на її бухгалтерському обліку та фінансовій звітності [15, 62].

Для виходу з цієї ситуації проаналізуємо дещо детальніше характеристики програмного продукту з їхньої моделі якості (див. рис. 1) і спробуємо зробити деякі логічні висновки щодо порядку їх агрегування, що дасть нам змогу дещо уточнити ієрархічну структуру критеріїв, у т.ч. й агрегованих показників, для комплексного оцінювання якості ПЗ (див. рис. 10). Насамперед, як на думку багатьох виробничників [13, 15, 56, 59], потреба зацікавлених сторін щодо сумісності програмного продукту повністю співпадає з вимогою безпосередніх користувачів щодо його безпеки, що, як наслідок, сукупно значно покращують надійність роботи продукту. Поєднання цих трьох критеріїв у один агрегований показник поточної якості програмного продукту спонукав би керівництво ІТ-компанії до виділення декількох кваліфікованих працівників з команди розробників в одну підгрупу, яка б забезпечувала його як якісне виконання, так і належний супровід під час експлуатації. Водночас, вимога користувачів щодо зручності супроводу продукту значною мірою залежить від його портативності, що, як наслідок, разом неабияк сприяють зручності його використання. Поєднання й цих трьох критеріїв у один агрегований показник також сприяло б утворенню другої підгрупи кваліфікованих працівників.

Окрім цього, поєднання зазначених вище двох агрегованих показників поточної якості програмного продукту разом з критерієм, що характеризує ефективність його виконання, у один агрегований показник також сприятиме утворенню третьої підгрупи кваліфікованих працівників. І, на завершення, поєднання цього агрегованого показника поточної якості продукту разом з критерієм, що характеризує ефективністю його виконання, забезпечить належну якість програмного продукту загалом, що, водночас, задовольнить вимоги найвибагливіших потенційних його користувачів. Наведені міркування, як на наш погляд, не є аксіомою, тобто вони вимагають додаткового дослідження й належного обґрунтування. Однак, такий логічний ланцюжок наших далеко не приватних висновків сприяє вирішенню поставленого завдання дослідження насамперед стосовно розроблення адекватної ієрархічної структури критеріїв для комплексного оцінювання якості ПЗ у загальній системі управління нею (якістю).

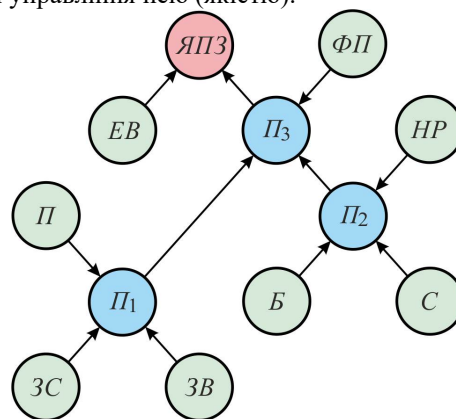


Рис. 11. Ієрархічна структура системи управління якістю ПЗ / Hierarchical structure of software quality management system

На рис. 11 наведено ієрархічну структуру системи управління якістю ПЗ, яка містить всі вісім критеріїв з моделі якості програмного продукту (див. рис. 1). Належне врахування всіх підхарактеристик цих критеріїв

дає можливість забезпечити як безпеку і сумісність ПЗ, так і гарантуватиме йому відповідний рівень портативності та зручності супроводу, уможливить зручність використання та забезпечить надійність роботи, а також надасть функціональну придатність і забезпечить ефективність виконання. Загалом така ієрархічна структура критеріїв і відповідних агрегованих показників дасть змогу керівнику проекту отримати від підлеглих належну якість як поточних продуктів проекту зокрема, так і якість ПЗ загалом.

З рисунку також видно, що спочатку потрібно об'єднати критерій оцінювання портативності (*П*) продукту з критеріями зручності його супроводу (*ЗС*) та зручності використання (*ЗВ*) в один агрегований показник поточної якості продукту P_1 . Далі потрібно об'єднати критерії оцінювання безпеки (*Б*) та сумісності (*С*) продукту з критерієм надійності його роботи (*НР*) в один агрегований показник поточної якості продукту P_2 . Потім, об'єднуючи агреговані показники поточної якості продукту P_1 і P_2 з критерієм оцінювання його функціональної придатності (*ФП*) отримуємо один агрегований показник поточної якості продукту P_3 . І, на завершення, об'єднуючи критерій оцінювання ефективності виконання (*ЕВ*) продукту з агрегованим показником його поточної якості P_3 , отримуємо агрегований і, водночас, комплексний показник якості ПЗ, екстремальне значення якого вказує на таку систему управління цією якістю, яку можна прийняти за оптимальну з множини допустимих.

Перевагою запропонованої ієрархічної структури критеріїв оцінювання якості ПЗ, наведеної на рис. 11, є те, що до неї хоча і внесено всього три додаткові агреговані показники оцінювання поточної якості продукту, проте вона враховує всі підхарактеристики всіх восьми критеріїв з моделі якості програмного продукту (див. рис. 1). Однак, основний недолік такої ієрархічної структури полягає в тому, що на сьогодні відсутня методика агрегування показників поточної ефективності об'єкта за трьома критеріями, агрегованими показниками чи їхнім поєднанням з попереднього ієрархічного рівня, яку в цій роботі якраз і спробуємо реалізувати. Також поточні агреговані показники якості продукту не мають відповідних назв, які б відповідали не тільки бухгалтерському обліку та фінансовій звітності будь-якої ІТ-компанії, але й її виробничо-господарській діяльності [15, 62]. Будемо вдячні, якщо в когось із допитливих читачів виникнуть логічні міркування щодо таких влучних назв, які перейдуть в обґрунтовані ідеї для їх практичної реалізації.

Отже, основною особливістю запропонованої ієрархічної структури критеріїв оцінювання якості ПЗ (рис. 11) є агрегування в поточних вузлах дерева рішень не двох, а трьох критеріїв чи агрегованих показників поточної якості продукту, а в останньому вузлі об'єднаємо всього два параметри – критерій *ЕВ* та агрегований показник поточної якості продукту P_3 . Зауважимо, що в жодній із попередніх робіт [18, 23, 19] не було використано агрегування у вузлах дерева рішень одночасно трьох критеріїв чи агрегованих показників, де нижче спробуємо також довести значну перевагу такого підходу до прийняття обґрунтованих управлінських рішень порівняно з двома показниками.

Справа у тому, що комплексний показник якості ПЗ має відображати важливі пріоритети стратегії запровадження системи як його оцінювання зокрема, так і сис-

теми управління якістю програмного продукту загалом. Встановлення кожного з цих пріоритетів, а значить і утворення такого показника, який фігуруватиме у звітній документації установи, мають проводити відповідальні особи (керівник ІТ-компанії, його заступники з маркетингу чи менеджменту тощо), тобто особи, які приймають остаточні управлінські рішення. Не секрет, що вище керівництво будь-якої установи в таких ситуаціях часто стикається з чисто психологічною проблемою. Йдеться про те, що відповідальна особа, зазвичай, здатна ефективно оцінювати (порівнювати) тільки обмежену кількість варіантів можливих рішень і, краще за все, якщо на кожному кроці доводиться цій особі порівнювати потенційні варіанти рішення не більше, ніж за двома критеріями чи агрегованими показниками. Однак, з розвитком сучасних засобів візуалізації обробленої інформації [21, 22, 43], а також управлінської обізнаності керівників ІТ-компаній [39], які можуть вирішувати не тільки складні виробничі проблеми, але й аналізувати великий обсяг розрізненої інформації, вказані вище психологічні проблеми практично не притаманні. Вважаємо, що сучасному менеджеру чи керівнику ІТ-компанії під силу проаналізувати не тільки два, але й три і більше виробничих показників, а також приймати обґрунтовані управлінські рішення. Тому запропонована ієрархічна структура критеріїв (див. рис. 11) практично повністю унеможливляє появи в керівництва компанії психологічних проблем, а також запобігає виникненню багатьох інших ризиків реалізації програмного проекту [26, 27], про які йтиметься нижче.

Порівняння варіантів поточного стану якості ПЗ, а значить й утворення адекватної системи його оцінювання за трьома критеріями зручно виконувати, подаючи їх значення (експертні оцінки) у вигляді відповідної таблиці, що містить набір певних матриць. Для цього використаємо для кожного критерію дискретні оцінки якості ПЗ за п'ятибальною шкалою: критично, погано, задовільно, добре, відмінно, або в числових значеннях – один, два, три, чотири, п'ять. За аналогічними назвами/балами відображатимемо комплексний остаточний та агреговані показники, що характеризуватимуть поточні стани якості ПЗ.

Тут важливо дати деякі застереження потенційним аналітикам щодо особливостей відбору двох критеріїв для формування матриці їх згортання та третього критерію для утворення набору таких матриць. Отже, в будь-якій із матриць згортання стан агрегованого показника якості продукту відповідає всім п'ятьом рівням двох критеріїв його оцінювання, водночас як кожна така матриця – одному рівню третього критерію. Зрозуміло, таких матриць згортання в таблиці буде п'ять – за кількістю рівнів критеріїв оцінювання якості продукту. Для аналітика важливо визначити пріоритети, згідно з якими два вхідні критерії потраплять до назв рядків і стовпців матриці згортання, а який з критеріїв до назв самих матриць (табл. 9). Бо, як виявиться згодом, вибір так званих напружених варіантів будемо здійснювати по кожній матриці загалом, а також по рядках і стовпцях кожної матриці зокрема. Зміна ж пріоритетів може призвести до дещо інших результатів, про що буде повідомлено в наступних публікаціях за цією тематикою дослідження.

В табл. 9 наведено приклад згортання критерію оцінювання портативності (*П*) продукту з критерієм зруч-

ності його супроводу (ЗС) залежно від критерію, що відповідає за зручність використання (ЗВ) продукту, внаслідок чого отримуємо агрегований показник поточної якості продукту P_1 , якому відповідатиме поточний стан якості ПЗ. Стосовно стратегії експертного оцінювання поточного стану якості ПЗ, то в таблиці наведено п'ять матриць згортання для кожного рівня критерію, що характеризує зручність використання (ЗВ) продукту. Тому в цій таблиці кожену матрицю варто розглядати окремо для того, щоб зрозуміти стратегію надання переваг тому чи іншому вхідному критерію.

Табл. 9. Стан агрегованого показника якості продукту P_1 залежно від критеріїв, що характеризують портативність (П) й зручність супроводу (ЗС) продукту та зручність його використання (ЗВ) / The state of the aggregate product quality indicator P_1 depending on the criteria characterizing the Portability (P) and Maintainability (M) of the product and Ease of Use (EU)

Рівень П	Стан агрегованого показника якості продукту P_1					Рівень ЗВ
5	1	2	2	2	2	1
4	1	1	2	2	2	
3	1	1	2	2	2	
2	1	1	1	2	2	
1	1	1	1	2	2	
5	2	3	3	3	3	2
4	2	2	3	3	3	
3	2	2	3	3	3	
2	2	2	2	3	3	
1	1	2	2	3	3	
5	3	4	4	4	5	3
4	3	3	4	4	4	
3	3	3	4	4	4	
2	2	3	3	4	4	
1	2	3	3	4	4	
5	4	5	5	5	5	4
4	4	4	5	5	5	
3	4	4	4	5	5	
2	3	4	4	5	5	
1	3	4	4	5	5	
5	5	5	5	5	5	5
4	5	5	5	5	5	
3	4	5	5	5	5	
2	4	5	5	5	5	
1	4	4	5	5	5	
Рівень ЗС	1	2	3	4	5	

Примітка: 27 / 125, $P_1 = 1...5$

Як приклад, розглянемо матрицю, що відповідає критерію зручності використання продукту, а саме ЗВ = 3. Бачимо, що при поганому рівні портативності (П) продукту та при критичному рівні зручності його супроводу (ЗС) незначний пріоритет має критерій, що відповідає за зручність супроводу продукту. При задовільних рівнях портативності продукту та зручності його супроводу пріоритету немає жоден з критеріїв. Із зростанням рівня портативності продукту пріоритет зміщується у бік критерію, що відповідає за зручність його супроводу. Зокрема, агрегованому показнику поточної якості продукту P_1 притаманна оцінка "добре" тільки за оцінки "добре" за критерієм зручності супроводу продукту, водночас як рівень його портативності може мати тільки максимальну оцінку "задовільно". Аналогічну ситуацію можна спостерігати і за інших значень критерію зручності використання продукту $ZB = \{1, 2, 4, 5\}$, про що переконливо свідчать дані табл. 9.

В табл. 10 наведено приклад згортання критерію оцінювання безпеки (Б) продукту з критерієм рівня його сумісності (С) залежно від критерію, що відповідає за надійність роботи (НР) продукту, внаслідок чого отримуємо агрегований показник поточної якості продукту P_2 , якому відповідатиме поточний стан якості ПЗ. Стосовно стратегії експертного оцінювання поточного стану якості ПЗ, то в таблиці наведено п'ять матриць згортання для кожного рівня критерію, що характеризує надійність роботи (НР) продукту. Тому в цій таблиці кожену матрицю варто розглядати окремо для того, щоб зрозуміти стратегію надання переваг тому чи іншому вхідному критерію. Як приклад, розглянемо матрицю, що відповідає критерію $HP = 4$. Бачимо, що при поганому рівні безпеки продукту та при задовільному рівні його сумісності незначний пріоритет має критерій, що відповідає за безпеку продукту. При задовільних рівнях як безпеки продукту, так і його сумісності пріоритету немає жоден із критеріїв його оцінювання. Однак, якщо рівень безпеки ПЗ має оцінку "добре", а рівень його сумісності – "задовільно", то агрегований показник оцінювання якості продукту P_2 набуває значення "відмінно". Якщо ж навпаки (оцінка "добре" відповідає якості продукту за рівнем його сумісності та "задовільно" – щодо рівня його безпеки), то агрегований показник поточної якості продукту P_2 оцінюють також на "відмінно".

Табл. 10. Стан агрегованого показника якості продукту P_2 залежно від критеріїв, що характеризують безпеку (Б) і сумісність (С) продукту та надійність його роботи (НР) / The state of the aggregate product quality indicator P_2 depending on the criteria characterizing the Safety (S) and Compatibility (C) of the product and the Reliability of its Work (RW)

Рівень Б	Стан агрегованого показника якості продукту P_2					Рівень НР
5	2	2	2	2	2	1
4	2	2	2	2	2	
3	1	1	2	2	2	
2	1	1	1	1	2	
1	1	1	1	1	1	
5	3	3	3	3	4	2
4	3	3	3	3	3	
3	2	2	3	3	3	
2	2	2	2	2	3	
1	1	2	2	2	2	
5	4	4	4	5	5	3
4	4	4	4	4	4	
3	3	3	4	4	4	
2	3	3	3	3	4	
1	2	2	3	3	3	
5	5	5	5	5	5	4
4	5	5	5	5	5	
3	4	4	5	5	5	
2	4	4	4	4	5	
1	3	3	4	4	4	
5	5	5	5	5	5	5
4	5	5	5	5	5	
3	5	5	5	5	5	
2	4	5	5	5	5	
1	4	4	4	5	5	
Рівень С	1	2	3	4	5	

Примітка: 28 / 125, $P_2 = 1...5$

Отже, із зростанням рівня сумісності продукту пріоритет зміщується у бік критерію рівня його безпеки. Зокрема, значення показника якості продукту P_3 з оцін-

кою "відмінно" можливе як за оцінки "добре" за критерієм рівня його безпеки, а за рівнем його сумісності має оцінку відмінно, тобто пріоритет надано критерію, що відповідає за безпеку (B) продукту. Аналогічну ситуацію можна спостерігати і за інших значень критерію $HP = \{1, 2, 3, 5\}$, про що переконливо свідчать дані, наведені в табл. 10.

Маючи значення поточних станів якості ПЗ, можемо побудувати матриці згортання агрегованих показників якості продукту P_1 і P_2 залежно від критерію, що відповідає за функціональну його придатність ($\Phi\P$), внаслідок чого отримуємо агрегований показник поточної якості продукту P_3 , якому відповідатиме поточний стан якості ПЗ. (табл. 11).

Табл. 11. Стан агрегованого показника якості продукту P_3 залежно від агрегованих показників якості продукту P_1 і P_2 , а також критерію, що характеризує функціональну його придатність ($\Phi\P$) / The state of the aggregate quality indicator of the product P_3 depending on the aggregate quality indicators of the product P_1 and P_2 , as well as the criterion that characterizes its Functional Suitability (FS)

Стан P_1	Стан агрегованого показника якості продукту P_3					Рівень $\Phi\P$
5	2	2	2	2	2	1
4	1	2	2	2	2	
3	1	1	2	2	2	
2	1	1	1	2	2	
1	1	1	1	2	2	
5	3	3	3	3	3	2
4	2	2	3	3	3	
3	2	2	3	3	3	
2	2	2	2	3	3	
1	1	2	2	2	3	
5	3	4	4	4	4	3
4	3	3	4	4	4	
3	3	3	3	4	4	
2	2	3	3	4	4	
1	2	2	3	3	4	
5	4	5	5	5	5	4
4	4	4	5	5	5	
3	4	4	4	5	5	
2	3	4	4	4	5	
1	3	3	4	4	5	
5	5	5	5	5	5	5
4	5	5	5	5	5	
3	4	5	5	5	5	
2	4	4	5	5	5	
1	4	4	5	5	5	
Стан P_2	1	2	3	4	5	

Примітка: $23 / (125 - 39) = 86$, $P_1 = 1...5$, $P_2 = 1...5$

Стосовно стратегії експертного оцінювання поточного стану якості ПЗ, то в таблиці наведено п'ять матриць згортання для кожного рівня критерію, що характеризує функціональну придатність ($\Phi\P$) продукту. Тому в цій таблиці кожену матрицю варто розглядати окремо для того, щоб зрозуміти стратегію надання переваг тому чи іншому вхідному критерію. Як приклад, розглянемо матрицю, що відповідає критерію $\Phi\P = 5$. Бачимо, що при задовільному стані агрегованого показника якості продукту P_1 та навіть поганому стані показника його якості P_2 пріоритет має агрегований показник поточної якості продукту P_3 . При задовільних значеннях показників якості продукту P_1 та P_2 пріоритет зміщується у бік агрегованого показника якості продукту P_2 . Таку закономірність надання пріоритету показнику

якості продукту P_2 можна спостерігати навіть при оцінюванні їхніх станів на "відмінно". Наприклад, за оцінки "задовільно" показника якості продукту P_2 стан агрегованого показника якості продукту P_3 сягає значення "відмінно", однак значення показника якості продукту P_1 при цьому становить "добре". Водночас, за оцінки "відмінно" показника якості продукту P_1 стан агрегованого показника якості продукту P_3 набуває значення "відмінно" тоді, коли значення показника якості продукту P_2 становить "критично". Аналогічну ситуацію можна спостерігати і за інших значень критерію $\Phi\P$, про що переконливо свідчать дані табл. 11.

Граничні межі, що відокремлюють погані поточні стани якості ПЗ від задовільних, задовільні від добрих і добрі від відмінних, можна також визначати по різному як у різних ІТ-компаніях, так і в різний час. Йдеться про те, що ці межі можуть і мають мінятися з плином часу, позаяк ніщо не вічне. Наприклад, стан якості ПЗ з оцінкою "погано" відповідає сьогоденню у територіальних ІТ-компаніях (знаходяться в районних центрах деяких областей України) і за забезпеченням надійності його роботи, і за ступенем зручності супроводу, і за рівнем його портативності. Стан системи "задовільно" відповідає середнім значенням відповідних показників у наявних системах оцінювання якості ПЗ, що належать переважно регіональним ІТ-компаніям (знаходяться в обласних центрах України) та в деяких інших відомчих організаціях, що відповідають за соціально-економічний розвиток регіону. Стан системи "добре" відповідає кращим значенням показників у багатьох приватних організаціях країни з міжнародним установчим капіталом, а "відмінно" – середнім станам справ переважно у банківській системі як самої країни, так і її партнерів з інших країн світу. При зростанні рівня зручності використання продукту, покращення рівня зручності його супроводу та портативності для всіх потенційних його користувачів систему пріоритетів можна змінювати як з плином часу, так і з настанням різних соціально-економічних проблем [36]. Наприклад, стан системи "відмінно" може відповідати кращим значенням відповідних показників функціональної придатності програмного продукту та ефективності його виконання для провідних країн світу, а відповідне значення надійності роботи ПЗ стосується переважно об'єктів критичної інфраструктури, а також цивільної чи військової авіаційної техніки або техніки для освоєння космічного простору.

Табл. 12. Стан комплексного показника якості ПЗ ($ЯПЗ$) залежно від критерію ефективності виконання (EB) продукту та агрегованого показника його якості P_3 / The state of the complex Indicator of Software Quality (ISQ) depending on the criterion of Performance Efficiency (PE) of the product and the aggregate indicator of its quality P_3

Рівень EB	Стан комплексного показника якості ПЗ $ЯПЗ$				
5	2	3	4	5	5
4	2	3	4	4	5
3	2	2	3	4	5
2	1	2	3	3	4
1	1	2	2	3	3
Стан P_3	1	2	3	4	5

Примітка: $27 \cdot 28 \cdot 23 \cdot 3 = 52\,164$ шт.

І, на завершення, побудуємо матрицю згортання критерію ефективності виконання (EB) продукту з агрегованим показником його поточної якості P_3 , внаслідок чого отримаємо значення комплексного показника

оскільки є варіант $\tilde{X}_2^z = \{2, 3\}: (3)$, який має аналогічне значення цього показника, водночас значення критерію EB , який його утворює, менше від аналогічного критерію за варіантом $\tilde{X}_1^z$. Аналогічно, варіант $\tilde{X}_3^z = \{2, 4\}: (3)$, маючи значення показника якості продукту $ЯПЗ$ "задовільно", також не є напруженим, оскільки існує варіант $\tilde{X}_2^z = \{2, 3\}: (3)$, який має аналогічне значення цього показника, водночас значення агрегованого показника P_3 , який його утворює, менше від аналогічного показника за варіантом $\tilde{X}_3^z$. Оскільки для варіанта $\tilde{X}_2^z$ інших можливих варіантів немає, тому він і є напруженим, тобто, придатним для подальшого аналізу.

Поняття напружених варіантів використаємо для того, щоб серед усіх можливих варіантів якості ПЗ, які відповідатимуть комплексному показнику його якості, вибрати ті з них, які будуть придатними для подальшого аналізу. Фактично, напружені варіанти – це Парето-оптимальні альтернативи в просторі розглядуваних критеріїв [9, 61]. Отож, при розв'язанні задачі вибору множини допустимих варіантів системи управління якістю ПЗ, яка забезпечуватиме перехід системи управління якістю ПЗ від стану "задовільно" до стану "добре", обмежимося аналізом тільки напружених її варіантів. Тому нижче опишемо метод пошуку всіх напружених варіантів якості ПЗ з множини допустимих, який складається з декількох кроків.

Крок 1. Оскільки поставлено завдання переходу системи управління якістю ПЗ із стану $\tilde{X}_0^z = \{3, 3\}$ зі значенням комплексного показника його якості "задовільно" в стан $\tilde{X}_1^z = \{4, 4\}$ з оцінкою "добре", то спочатку проаналізуємо стан показника $ЯПЗ$ залежно від критерію ефективності виконання (EB) продукту та агрегованого показника його якості P_3 (див. табл. 12) Для цього на рис. 12 відзначаємо всі елементи матриці EB/P_3 , які мають значення показника "добре" і, водночас, є напруженими, тобто тільки ті з них, які *знаходяться зліва і знизу від них*. Так, стан системи управління якістю ПЗ із значенням комплексного показника "добре" можна досягнути, набувши значення "добре" за критерієм ефективності виконання продукту (EB) і значення "задовільно" – за агрегованим показником його поточної якості P_3 . Аналогічний стан системи можна досягнути, набувши значення "задовільно" за критерієм EB , і значення "добре" за агрегованим показником P_3 і т.д. Внаслідок виконання таких дій отримаємо три напружених варіанти якості ПЗ, а саме: $\tilde{X}_{1,3}^{EB,P_3} = (\{4;3\}, \{3;4\}, \{2;5\}): (4)$.

На рис. 12 (див. табл. 12) у матриці EB/P_3 відзначено кружечком значення комплексного показника якості продукту $ЯПЗ$, які потрібно досягнути для отримання бажаного стану системи управління якістю ПЗ. Цей показник формують три рівні критерію ефективності виконання (EB) продукту – 2, 3 і 4, а також три стани агрегованого показника поточної якості продукту P_3 , а саме – 3, 4 і 5. Тому далі встановимо, які саме стани агрегованого показника P_3 забезпечують перехід системи управління якістю ПЗ від одного стану до іншого.

Крок 2. Проаналізуємо стан агрегованого показника якості продукту P_3 залежно від агрегованих показників його якості P_1 і P_2 , а також критерію, що характеризує функціональну його придатність ($\Phi\P$) (див. табл. 11, рис. 12). На підставі значень елементів матриць цієї таблиці потрібно вказати всі напружені варіанти якості

ПЗ, які для показника P_3 мають оцінки 3, 4 і 5. Так, оцінку "задовільно" можна отримати з трьох матриць, що відповідають критерію $\Phi\P = \{2, 3 \text{ і } 4\}$, тобто за вісьмома напруженими варіантами: $\tilde{X}_{1,8}^{P_1,P_2,\Phi\P} = (\{5;1;2\}, \{3;3;2\}, \{2;4;2\}, \{1;5;2\}, \{3;1;3\}, \{2;2;3\}, \{1;3;3\}, \{1;1;4\}): (3)$; оцінку "добре" – за вісьмома напруженими варіантами: $\tilde{X}_{9,16}^{P_1,P_2,\Phi\P} = (\{5;2;3\}, \{4;3;3\}, \{2;4;3\}, \{1;5;3\}, \{3;1;4\}, \{2;2;4\}, \{1;3;4\}, \{1;1;5\}): (4)$, а оцінку "відмінно" мають всього сім напружених варіантів: $\tilde{X}_{17,23}^{P_1,P_2,\Phi\P} = (\{5;2;4\}, \{4;3;4\}, \{3;4;4\}, \{1;5;4\}, \{4;1;5\}, \{3;2;5\}, \{1;3;5\}): (5)$. Отже, серед усіх 84 можливих варіантів стану агрегованого показника поточної якості продукту P_3 тільки 23 з них виявилися напруженими.

З табл. 11 видно, що стани агрегованого показника поточної якості продукту P_3 формують всі п'ять станів агрегованого показника P_1 і P_2 , а саме – 1, 2, 3, 4 і 5. Тому далі проаналізуємо агрегований показник поточної якості продукту P_2 , де встановимо, які саме рівні критеріїв забезпечують перехід системи управління якістю ПЗ від одного стану до іншого.

Крок 3. Тепер проаналізуємо стани агрегованого показника якості продукту P_2 залежно від критеріїв, що характеризують безпеку (B) і сумісність (C) продукту та надійність його роботи (HP) (див. табл. 10, рис. 12). На підставі значень елементів матриць цієї таблиці потрібно вказати всі напружені варіанти якості ПЗ, які для показника P_2 мають оцінки 1, 2, 3, 4 і 5. Так, оцінку "критично" можна отримати за двома напруженими варіантами: $\tilde{X}_{1,2}^{B,C,HP} = (\{1;1;1\}, \{1;1;2\}): (1)$; оцінку "погано" – за шістьма напруженими варіантами: $\tilde{X}_{3,8}^{B,C,HP} = (\{5;2;1\}, \{3;3;1\}, \{1;4;1\}, \{2;1;2\}, \{1;2;2\}, \{1;1;3\}): (2)$; оцінку "задовільно" – за шістьма напруженими варіантами: $\tilde{X}_{9,14}^{B,C,HP} = (\{5;2;2\}, \{3;3;2\}, \{1;4;2\}, \{3;1;3\}, \{1;2;3\}, \{1;1;4\}): (3)$; оцінку "добре" – за шістьма напруженими варіантами: $\tilde{X}_{15,20}^{B,C,HP} = (\{5;2;3\}, \{3;3;3\}, \{1;4;3\}, \{3;1;4\}, \{1;2;4\}, \{1;1;5\}): (4)$, а оцінку "відмінно" мають сім напружених варіантів: $\tilde{X}_{21,27}^{B,C,HP} = (\{5;5;3\}, \{5;2;4\}, \{4;3;4\}, \{1;4;4\}, \{4;2;5\}, \{2;2;5\}, \{1;3;5\}): (5)$. Отже, серед усіх 125 можливих варіантів стану агрегованого показника поточної якості продукту P_2 тільки 27 з них виявилися напруженими.

Далі проаналізуємо агрегований показник поточної якості продукту P_1 , де встановимо, які саме рівні критеріїв забезпечують перехід системи управління якістю ПЗ від одного стану до іншого.

Крок 4. Тепер проаналізуємо стан агрегованого показника якості продукту P_1 залежно від критеріїв, що характеризують портативність (P) й зручність супроводу ($3C$) продукту та зручність його використання ($3B$) (див. табл. 9, рис. 12). На підставі значень елементів матриць цієї таблиці потрібно вказати всі напружені варіанти якості ПЗ, які для показника P_1 мають оцінки 1, 2, 3, 4 і 5. Так, оцінку "критично" можна отримати за двома напруженими варіантами: $\tilde{X}_{1,2}^{P,3C,3B} = (\{1;1;1\}, \{1;1;2\}): (1)$; оцінку "погано" – за шістьма напруженими варіантами: $\tilde{X}_{3,8}^{P,3C,3B} = (\{4;1;1\}, \{3;3;1\}, \{2;5;1\}, \{2;1;2\}, \{1;2;2\}, \{1;1;3\}): (2)$; оцінку "задовільно" – за шістьма напруженими варіантами: $\tilde{X}_{9,14}^{P,3C,3B} = (\{4;1;2\}, \{3;3;2\}, \{2;5;2\}, \{2;1;3\}, \{1;3;3\}, \{1;1;4\}): (3)$; оцінку "добре" –

за сімома напруженими варіантами: $\tilde{X}_{15...20}^{П,ЗС,ЗВ} = (\{5;5;2\}, \{4;1;3\}, \{3;3;3\}, \{2;5;3\}, \{2;1;4\}, \{1;3;4\}, \{1;1;5\})$: (4), а оцінку "відмінно" мають сім напружених варіанти: $\tilde{X}_{21...28}^{П,ЗС,ЗВ} = (\{5;4;3\}, \{4;1;4\}, \{3;3;4\}, \{2;5;4\}, \{3;1;5\}, \{2;2;5\}, \{1;4;5\})$: (5). Отже, серед усіх 125 можливих ва-

ріантів стану агрегованого показника поточної якості продукту Π_1 тільки 28 з них виявилися напруженими.

Визначення множини напружених варіантів якості ПЗ на кожному рівні ієрархічної структури (дерева) критеріїв / показників його відбору завершено.

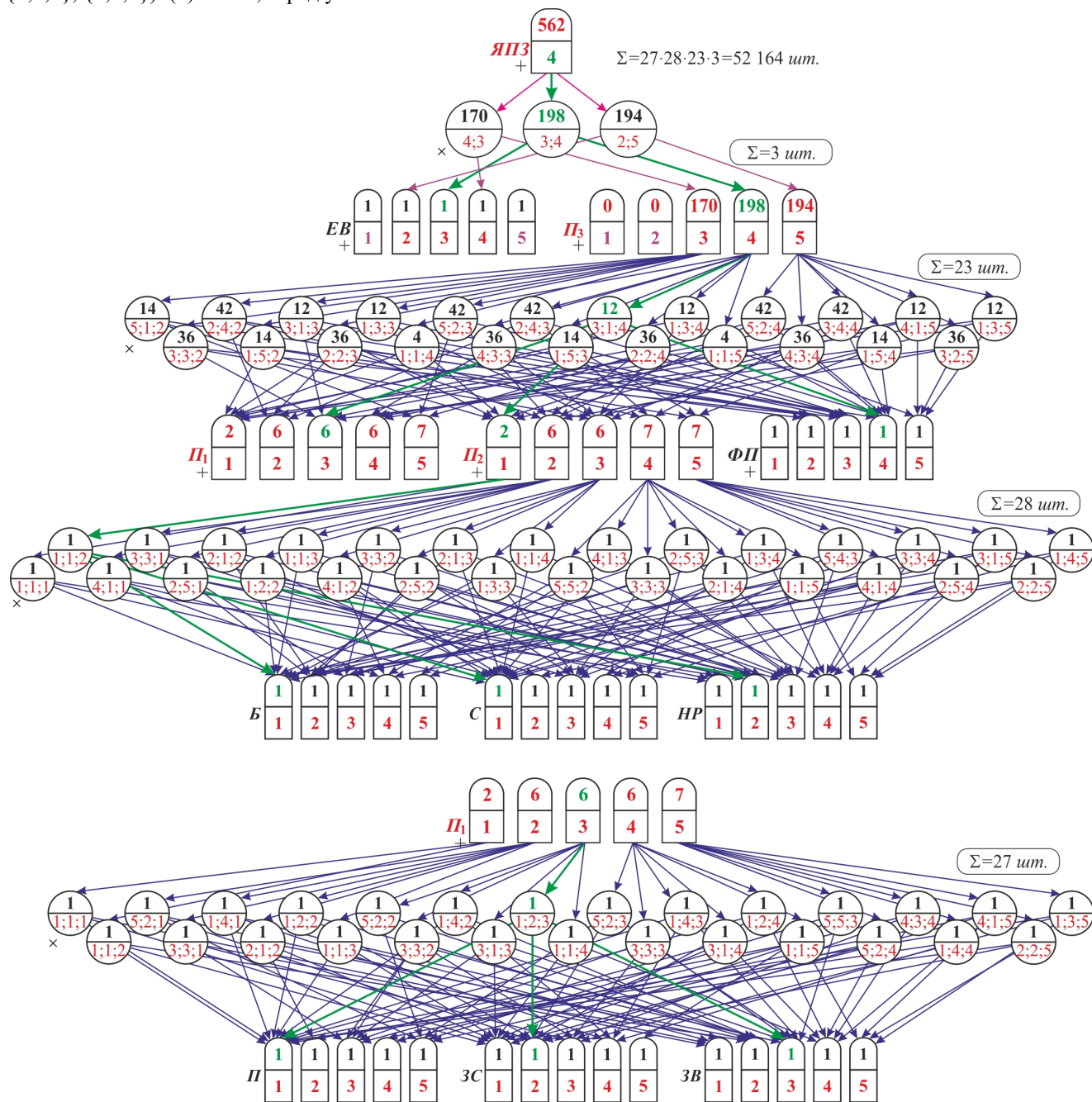


Рис. 13. Граф процедури формування множини напружених варіантів якості ПЗ / Graph of the procedure for forming a plural of tensile options for the state of software quality

Метод індексації вершин графа. Тепер, маючи на кожному ієрархічному рівні множину напружених варіантів якості ПЗ за відповідним критерієм чи/та агрегованим показником, неважко визначити ту їх кількість, які зможуть забезпечити отримання потрібного значення комплексного показника оцінювання його якості. Для цього застосовуємо такий метод індексації вершин графа (множини розв'язків задачі) [18]:

- 1-ий крок – позначасмо початкові вершини-квадрати множини розв'язків індексами зі значенням 1 (на рис. 13 індекси вказані у верхній половині квадратів і кружечків);
- 2-ий крок – рухаючись знизу до верху, послідовно позначасмо всі інші вершини відповідними індексами.

Далі використаємо таке числове маркування вершин відповідними індексами. Індекс вершини-кружка дорівнює добутку індексів суміжних з нею двох вершин нижнього рівня. Наприклад (див. рис. 13), для вершини $\tilde{X}_5^{П_1,П_2,ФП} = \{3;1;3\}:(3)$ отримаємо $6 \cdot 2 \cdot 1 = 12$ шт., а для вершини $\tilde{X}_{14}^{П_1,П_2,ФП} = \{2;2;4\}:(4)$ матимемо $6 \cdot 6 \cdot 1 = 36$ шт. Індекс вершини-квадрата на рис. 13 відповідає сумі індексів суміжних з нею вершин нижнього рівня. Наприклад, для агрегованого показника поточної якості продукту Π_1 з оцінкою "4" отримаємо $1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 = 6$ шт, а для агрегованого показника поточної якості про-

дукту P_3 з оцінкою "3" матимемо $14 + 36 + 42 + 14 + 12 + 36 + 12 + 4 = 170$ шт. Водночас, індекс початкової вершини-квадрата визначає початкову кількість напружених варіантів, зазвичай одиницю.

Обґрунтування адекватності роботи цього алгоритму безпосередньо виходить з описаного вище методу визначення індексів вершин графа, внаслідок чого отримуємо відповідну множину розв'язків задачі, придатну для подальшого аналізу (див. рис. 13).

Внаслідок виконання розглянутих вище дій отримуємо граф (рис. 13), який містить множину всіх напружених варіантів якості ПЗ (Парето-оптимальних альтернатив у просторі розглядуваних критеріїв), що мають значення комплексного показника їх оцінювання зі значенням "добре". З рисунку також видно, що отриману кількість напружених варіантів якості ПЗ для кожного агрегованого показника їх оцінювання показано справа від вершин графа, а саме: 27, 28, 23 і 3 шт. Тоді загальна кількість можливих варіантів якості ПЗ становитиме $27 \cdot 28 \cdot 23 \cdot 3 = 52\,164$ шт. Водночас, кількість напружених варіантів якості ПЗ, які забезпечують перехід системи управління якістю ПЗ від стану з оцінкою "задовільно" до стану з оцінкою "добре", становить всього 562 шт, тобто 1,077 % від загальної кількості.

Для отримання якого-небудь набору напружених варіантів системи управління якістю ПЗ потрібно виконати такі дії. Розглядаємо остаточно вершину (вихід) множини розв'язків (ЯПЗ) зі значенням 562. З неї виходять три дуги. Беремо будь-яку з них, наприклад, дугу, яка веде у вершину $\tilde{X}_2^{EB, P_3} = \{3; 4\}$, з якої також виходять дві дуги, які запам'ятовуємо. Дуга, яка веде у вершину 3 за критерієм (EB), вказує на те, що за ним потрібно досягти рівня якості ПЗ з оцінкою "задовільно". Дуга, яка веде у вершину 4 за агрегованим показником поточної якості продукту P_3 , вказує на те, що за ним потрібно досягти стану якості ПЗ з оцінкою "добре". З восьми перехідних варіантів досягнення значення "добре" за показником якості продукту P_3 вибираємо будь-який варіант (наприклад, вершину $\tilde{X}_{13}^{P_1, P_2, \Phi P} = \{3; 1; 4\}$) стану якості ПЗ, яка відповідає оцінці "задовільно" за агрегованим показником P_1 , оцінці "критично" – за P_2 , і оцінці "добре" – за критерієм ΦP . Оскільки тут є два агреговані показники поточної якості продукту P_1 і P_2 , то далі вибираємо показник P_2 , а вже потім розглянемо показник P_1 . З наступних перехідних варіантів досягнення значення "критично" за показником P_2 вибираємо будь-який з двох можливих варіантів, наприклад, вершину $\tilde{X}_2^{B, C, HP} = \{1; 1; 2\}$, яка вказує на те, що за нею потрібно досягти рівня якості продукту з оцінкою "критично" за критеріями B і C, та оцінку "погано" – за критерієм HP.

Тепер розглянемо агрегований показник поточної якості продукту P_1 . З наступних перехідних варіантів досягнення значення "задовільно" за показником P_1 вибираємо будь-який з шести можливих варіантів, наприклад, вершину $\tilde{X}_{13}^{P_1, 3C, 3B} = \{1; 2; 3\}$, яка вказує на те, що за нею потрібно досягти рівня якості продукту з оцінкою "критично" за критерієм B, з оцінкою "погано" за критерієм C, та оцінку "задовільно" – за критерієм 3B.

Отриманому набору напружених варіантів системи управління якістю ПЗ відповідає підграф множини розв'язків, виділений на рис. 13 товстими дугами. Він визначає множину початкових і поточних напружених

варіантів якості ПЗ, а саме: $\tilde{X}^{ЯПЗ} = \{1; 2; 3; 3; 1; 1; 2; 1; 4; 3; 4\}$, що відповідає такій послідовності критеріїв і показників якості ПЗ: $P_1; 3C; 3B; P_1; B; C; HP; P_2; \Phi P; EB; P_3$. Тут жирним шрифтом наведено варіанти агрегованих показників поточної якості продукту, а саме P_1, P_2 і P_3 .

Отже, розроблений метод відбору напружених варіантів якості ПЗ за вхідними критеріями чи агрегованими показниками дає змогу визначити поточний стан якості продукту за відповідним агрегованим показником. З'ясовано, що основною особливістю ієрархічної структури є агрегування в кожному вузлі дерева рішень як двох, так і трьох критеріїв чи агрегованих показників якості ПЗ, що є основним достоїнством цього методу. Водночас, розроблений метод вибору оптимального набору напружених варіантів системи управління якістю ПЗ з множини допустимих альтернатив враховує ієрархічну структури критеріїв і агрегованих показників його якості на кожному ієрархічному рівні.

5. Формування системи управління якістю ПЗ з урахуванням вартості її розроблення. Побудувавши множину напружених варіантів якості ПЗ, можна розв'язувати різні задачі, в т.ч. й формування множини допустимих варіантів системи управління якістю ПЗ з урахуванням його вартості та/чи ризику розроблення [26, 27]. Розглянемо спочатку задачу вибору варіанта запровадження системи управління якістю ПЗ, який забезпечує досягнення поставленої мети з мінімальними витратами на його розроблення. Нехай для i -го критерію/показника та j -го рівня/стану його оцінювання визначено відповідні витрати

$$\tilde{S}_i^{(k)} = \{\tilde{S}_i^{(k)} = s_{ij}^{(k)}, i, j = \overline{1, n}, k = \overline{1, m}\}, \quad (13)$$

потрібні для забезпечення переходу системи управління якістю ПЗ від одного стану до іншого, де m – кількість ієрархічних рівнів системи. Це означає, що розроблена множина допустимих варіантів системи управління якістю ПЗ може успішно забезпечити відповідний перехідний процес. Вважатимемо, що варіанти переходу за різними критеріями/показниками незалежні, тобто варіант системи оцінювання за i -им критерієм не впливає на інші варіанти системи управління якістю ПЗ. В цьому випадку існує ефективний алгоритм визначення оптимального набору напружених варіантів системи управління якістю ПЗ з мінімальною вартістю його розроблення, основою якого є метод індексації вершин графа.

Позначаємо початкові вершини графу (множини розв'язків задачі) елементами $s_{ij}^{(k)}$, $k = \overline{1, m}$. Вершини наступного (вищого) рівня множини напружених варіантів якості ПЗ позначатимемо тільки після того, як позначимо всі суміжні вершини рівня, що знаходяться нижче. При цьому елемент вершини-квадрата (у таких вершинах записуємо одне число – значення відповідного агрегованого показника якості) відповідає мінімальному з елементів суміжних вершин-кружечків нижчого рівня, а елемент вершини-кружечка (у кружечку записано два числа – це пара значень показників нижнього рівня, агрегування яких дає відповідне значення показника верхнього рівня) дорівнює сумі елементів суміжних вершин-квадратів нижчого рівня.

За умови дотримання такого алгоритму значення елемента початкової вершини-квадрата становить мінімальним витратам на реалізацію відповідного варіанту системи управління якістю ПЗ. Оптимальний набір нап-

ружених варіантів знаходимо "зворотним ходом" – зверху вниз. Для розв'язання задачі вибору оптимального набору напружених варіантів системи управління якістю ПЗ, який забезпечує досягнення переходу системи із стану "задовільно" в стан "добре" з мінімальними витратами на його реалізацію, задамо відповідною матрицею витрат S (ум. од.) (табл. 13).

Значення елементів вершин графа (множини розв'язків задачі), отримані на підставі описаного вище алгоритму, вказано на рис. 14 у верхній половині відповідних вершин. Оптимальний набір напружених варіантів виділено товстими лініями. Ця система містить такий набір напружених варіантів $\tilde{X}^{ЯПЗ} = \{1; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 5; 3; 4\}$ з сукупними витратами на їх реалізацію в сумі $s_0 = 306$ ум. од., що відповідає збалансованому варіанту системи управління якістю ПЗ за всіма вісьмома крите-

ріями і трьома агрегованими показниками. Поставлена задача вибору множини напружених варіантів системи управління якістю ПЗ розв'язана.

Табл. 13. Матриця витрат (ум. од.) на реалізацію системи управління якістю ПЗ / The Cost matrix (conventional units) of the implementation of software quality assessment system

$i \setminus j$	1	2	3	4	5
Π	6	11	14	17	18
B	8	16	21	24	26
$3C$	14	29	37	45	47
C	18	36	46	54	59
$3B$	24	48	62	72	80
HP	29	58	75	87	96
$\Phi\Pi$	33	67	86	102	111
EB	37	74	96	112	124

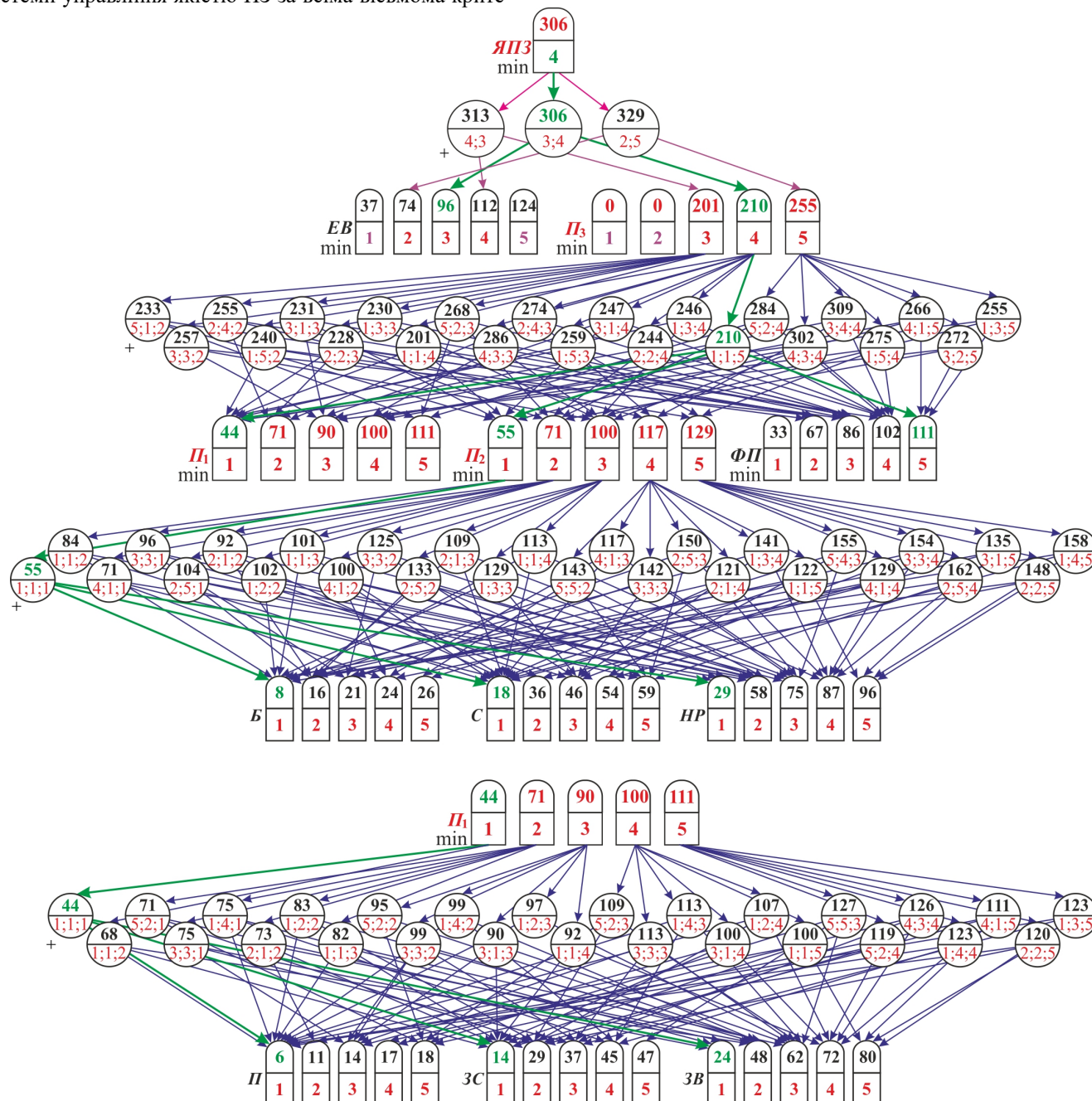


Рис. 14. Граф процедури формування множини напружених варіантів якості ПЗ з врахуванням вартості його розроблення / Graph of the procedure for forming a set of stressful options for the quality of software, taking into account the cost of its development

Отже, у наведеному прикладі реалізації системи управління якістю ПЗ показано сутність зазначеного методу вибору оптимального набору напружених її варі-

антів, а також проілюстровано особливості застосування методу відбору напружених варіантів за трьома критеріями чи агрегованими показниками. Також з'ясовано

основні особливості переходу системи управління якістю ПЗ від одного стану до іншого, а також визначено потенційні витрати для здійснення такого переходу.

Обговорення результатів дослідження. Для прийняття адекватних управлінських рішень свого часу велику популярність отримав метод формування показника комплексного оцінювання об'єктів за критеріями / показниками відбору на підставі побудови їхньої ієрархічної структури (дерева) [23]. Ідея методу належить Thomas L. Saaty [60] і полягає в тому, що всі критерії організовують в певну ієрархічну структуру. На кожному рівні цієї ієрархії здійснюють побудову агрегованого показника з двох вхідних критеріїв / показників з попереднього рівня. Цей метод досліджували такі вчені, як А. Н. Воронін [63], М. Г. Грещак [15], М. В. Кармінська-Белоброва [37], В. Є. Снитюк [13], В. Ф. Ситник [59], Y. Budaretskiy [7], Challa, Jagat Sesh [9], H. Ghanbari [11], Gül Çalıklı [16] та інші. Ми ж пропонуємо здійснювати побудову агрегованого показника поточної якості ПЗ не за двома, а за трьома вхідними критеріями / показниками з попереднього рівня, що успішно, як на наш погляд, було реалізовано в цьому дослідженні.

У процесі вироблення управлінських рішень особи, яка їх приймає (ОПР), доводиться враховувати велику кількість показників, критеріїв, чинників, що впливають на мету реалізації проекту, поставлену в технічному завданні [2, 21, 61]. Прийняти "правильне" рішення означає вибрати таку альтернативу (такий варіант дії) з множини допустимих, яка максимально сприятиме досягненню поставленої мети [1, 55]. Окрім цього, практично в будь-яких реальних завданнях існують різного роду невизначеності, пов'язані з суперечністю критеріїв / показників відбору, неповнотою знань ОПР про вирішувану проблему, неможливістю кількісного вимірювання тих або інших показників чи врахування випадкових чинників [10, 23, 38, 39]. Досягнення сучасних інформаційних технологій дає змогу досліджувати й розробляти досконалі методи й сучасні моделі прийняття управлінських рішень [13, 56, 59], головним призначенням яких є допомога керівнику чи менеджеру проекту під час вибору оптимального його варіанту, в т.ч. й варіанту системи управління якістю ПЗ з множини допустимих.

Отже, внаслідок проведеного дослідження отримано такі *основні результати*: розроблено систему надання переваг характеристикам моделі якості програмного продукту, яка дає змогу моделювати процедури їх надання відповідним критеріям якості ПЗ, а також визначати стан його якості на кожному рівні ієрархічної їх структури з урахуванням вартості розроблення.

Наукова новизна отриманих результатів дослідження – вперше на підставі стандартної моделі якості програмного продукту розроблено ієрархічну структуру критеріїв і агрегованих показників якості ПЗ, яка, на відміну від наявних, дає змогу отримати агрегований показник поточної його якості не за двома, а за трьома вхідними критеріями / показниками з попереднього рівня, що уможливило побудову системи управління якістю ПЗ за всіма вісьмома вхідними критеріями і тільки трьома поточними агрегованими показниками.

Практична значущість результатів дослідження – розроблену систему управління якістю ПЗ на підставі стандартної моделі якості програмного продукту можна

використовувати в інженерії ПЗ для встановлення його властивостей за критеріями, яким можна надати різні переваги, та вироблення рекомендацій щодо управління ними і встановлення оптимальних значень, а також для з'ясування поточного стану якості продуктів проекту та потенційних витрат для переходу системи управління якістю від одного стану до іншого.

Висновок / Conclusions

Розроблено систему надання переваг характеристикам моделі якості програмного продукту, яка дає змогу моделювати процедури їх надання відповідним критеріям якості ПЗ, а також визначати стан його якості на кожному рівні ієрархічної їх структури з урахуванням вартості розроблення. Запропонована ієрархічна структура системи управління якістю ПЗ надає можливість встановити потенційні витрати для її переходу від одного стану до іншого. За результатами проведеного дослідження можна зробити такі основні висновки.

1. Проаналізовано останні дослідження та публікації, вибрано серед них такі, які дали можливість в повному обсязі зрозуміти сутність об'єкта і предмета дослідження. З'ясовано, що система надання переваг деяким характеристикам моделі якості програмного продукту – завдання або обґрунтування вибору альтернативи між можливими управлінськими рішеннями, тобто твердження особи, яка його приймає, що одній альтернативі буде надано більшу перевагу, ніж іншій. Водночас, багатопланове поняття якості ПЗ можна виразити адекватно тільки деякою структурованою системою характеристик і атрибутів, яку прийнято називати моделлю якості програмного продукту.

2. Проаналізовано наявну модель якості програмного продукту, затверджену стандартом ISO/IEC, що дало змогу встановити характеристики та підхарактеристики системи якості ПЗ, а також визначити комплекс критеріїв / показників для побудови ієрархічної їх структури. Встановлено, що модель якості – головний атрибут системи оцінювання якості ПЗ, позаяк містить характеристики якості продукту, які потрібно враховувати при встановленні його властивостей.

3. Наведено визначення таким поняттям, як пріоритет, перевага, надання переваги та відношення переваги, які знадобляться під час моделювання процедур надання переваг відповідним критеріям якості програмного продукту. З'ясовано, що функція корисності з математичної точки зору – формальний опис цільових установок споживача, згідно з якими він визначає рівень корисності від наданої ним переваги одному з продуктів проекту залежно від його характеристик. Розроблено математичні залежності, які дають змогу подати адитивну функцію корисності для двох, трьох і більше параметрів, а також здійснювати моделювання процедур надання переваг одному з цих параметрів. Проведено її аналіз та надано рекомендації щодо ефективного використання.

4. На підставі стандартної моделі якості програмного продукту вперше розроблено ієрархічну структуру критеріїв і агрегованих показників якості ПЗ, яка, на відміну від наявних, дає змогу отримати агрегований показник поточної його якості не за двома, а за трьома вхідними критеріями / показниками з попереднього рівня, що уможливило побудову системи управління якістю ПЗ за всіма вісьмома вхідними критеріями і тільки трьома поточними агрегованими показниками.

5. Розроблено метод відбору напружених варіантів якості ПЗ за трьома входними критеріями / показниками, яким можна надати різні переваги, що дало змогу визначити поточний стан системи управління якістю ПЗ за відповідним агрегованим показником з урахуванням вартості її розроблення, що є основним достоїнством цього методу.

6. Наведено приклад реалізації системи управління якістю ПЗ, що дає змогу зрозуміти сутність запропонованого методу вибору оптимального набору напружених її варіантів, а також проілюстровано особливості застосування методу відбору напружених варіантів за трьома критеріями чи агрегованими показниками. З'ясовано основні особливості переходу системи управління якістю ПЗ від одного стану до іншого, а також визначено потенційні витрати для здійснення такого переходу.

References

- Alyoshin, G. V., Panchenko, S. V., & Prikhodko, S. I. (2019). *Optimization of digital transmission systems: textbook*. Kharkiv: Publishing house UkrDUZT, 142 p. [In Ukrainian].
- Alyoshin, G., Kolomiitsev, O., & Tretyak, V. (2020). Features of optimal synthesis of rich information systems. *Collection of scientific works AIOGOS*, 81–84. <https://doi.org/10.36074/24.04.2020.v2.23>
- Azar D., Harmanani, H., & Korkmaz, R. (2009, September). A hybrid heuristic approach to optimize rule-based software quality estimation models. *Information and Software Technology*, 1365–1376. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2009.05.003>
- Boegh, J. (2008, March-April). A new Standard for Quality Requirements. *IEEE Software*, 25(2), 57–63. <https://doi.org/10.1109/MS.2008.30>
- Botsula, M. P., & Morhun, I. A. (2011). Metod otrymannia kompleksnoi otsinky yakosti veb-materialiv z vykorystanniam poliarnoi systemy koordynat. *Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu*, 1, 84–88. Retrieved from: <https://visnyk.vntu.edu.ua/index.php/visnyk/article/view/1367/conferences.vntu.edu.ua>. [In Ukrainian].
- Botsula, M. P., & Morhun, I. A. (2014). Novyi metod ta informatychna tekhnolohiia obroblyennia danykh dlia upravlinnia yakistiu elektronnykh navchalnykh kursiv. *Informatsiini tekhnolohii ta kompiuterna inzheneriia: mizhnarodnyi naukovo-tekhnichnyi zhurnal*, 3, 25–33. Retrieved from: https://nbuv.gov.ua/UJRN/Itki_2014_3_6. [In Ukrainian].
- Budaretskiy, Y., Shchavinskiy, Y., Kuznetsov, V., & Nikolayev, S. (2021). Application of the method of analysis of hierarchies to assess the software of complexes of automation means. *Military Technical Collection*, 25, 3–12. <https://doi.org/10.33577/2312-4458.25.2021.3-12>
- Butko, M. P. (Ed.), Butko, I. M., Mashchenko, V. P., et al. (2015). *Decision theory: textbook*. Kyiv: Publishing house "Center for Educational Literature", 360 p. [In Ukrainian].
- Challa, Jagat Sesh, Paul, Arindam, Dada, Yogesh, Nerella, Venkatesh, Srivastava, Praveen Ranjan, & Singh, Ajit Pratap. (2011). Integrated Software Quality Evaluation: A Fuzzy Multi-Criteria Approach. *Journal of Information Processing Systems*, 7(3), 473–518. <https://doi.org/10.3745/JIPS.2011.7.3.473>
- Gevko, I. B. (2009). *Methods of making managerial decisions: textbook*. Kyiv: Condor, 187 p.
- Ghanbari, H., Vartiainen, T., & Siponen, M. (2019, March). Omission of Quality Software Development Practices: A Systematic Literature Review. *ACM Computing Surveys*, 51(2), 1–27. <https://doi.org/10.1145/3177746>
- Ghayathri, J., & Priya, E. M. (2013). Software Quality Models: A Comparative Study. *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Electronics Engineering*, 2(1), 42–51.
- Gnatienko, G., & Snytyuk, V. Ye. (2008). *Expert decision-making technologies: monograph*. Kyiv: McLaugh Limited Liability Company, 444 p. [In Ukrainian].
- Hovorushchenko, T. O. (2017). Methodology for assessing the adequacy of information in the specification of software requirements to determine its quality: a monograph. Khmelnytsky: Khmelnytsky National University, 310 p. [In Ukrainian].
- Greshchak, M. G. (Ed.), Grebeshkova, O. M., & Kotsyuba, O. S. (2001). *Internal economic mechanism of the enterprise: Tutorial*. Kyiv: KNEU Publishing House, 228 p. [In Ukrainian].
- Gül Çalık & Ayşe Başar Bener. (2013). Influence of confirmation biases of developers on software quality: an empirical study. *Software Quality Journal*, 21(2), 377–416. <https://doi.org/10.1007/s11219-012-9180-0>
- Hovorushchenko, T. (2017). Method of Evaluating the Weights of Software Quality Measures and Indicators. *Application and Theory of Computer Technology*. Vol. 2. No. 2. Issue 2, 16–25.
- Hrytsiuk, Yu. I. (2022). Comprehensive software quality assessment system. *Scientific Bulletin of UNFU*, 32(2), 81–95. <https://doi.org/10.36930/40320213>
- Hrytsiuk, Yu. I. (2022). Software quality management system. *Ukrainian Journal of Information Technology*, 4(1), 01–20. <https://doi.org/10.23939/ujit2022.01.001>
- Hrytsiuk, Yu. I., & Andrushchakkevych, O. T. (2018). Means for determining software quality by metric analysis methods. *Scientific Bulletin of UNFU*, 28(6), 159–171. <https://doi.org/10.15421/40280631>
- Hrytsiuk, Yu. I., & Buchkovska, A. Yu. (2018). Visualization of the results of expert evaluation of software quality using polar diagrams. *Scientific Bulletin of UNFU*, 27(10), 137–145. <https://doi.org/10.15421/40271025>
- Hrytsiuk, Yu. I., & Dalyavskyy, V. S. (2018). Using Petal Diagram for Visualizing the Results of Expert Evaluation of Software Quality. *Scientific Bulletin of UNFU*, 28(9), 97–106. <https://doi.org/10.15421/411832>
- Hrytsiuk, Yu. I., & Kuzmenko, I. S. (2013). Comprehensive evaluation of information security implementation projects. *Bulletin of the National University "Lviv Polytechnic". Series: Automation, measurement and control*, 743, 118–122. [In Ukrainian].
- Hrytsiuk, Yu. I., & Nemova, E. A. (2018). Management Features Process of Developing Software Requirements. *Scientific Bulletin of UNFU*, 28(8), 161–169. <https://doi.org/10.15421/40280832>
- Hrytsiuk, Yu. I., & Nemova, E. A. (2018). Peculiarities of Formulation of Requirements to the Software. *Scientific Bulletin of UNFU*, 28(7), 135–148. <https://doi.org/10.15421/40280727>
- Hrytsiuk, Yu. I., & Zhabych, M. R. (2018). Risk Management of Implementation of Program Projects. *Scientific Bulletin of UNFU*, 28(1), 150–162. <https://doi.org/10.15421/40280130>
- Hrytsiuk, Yu., Grytsyuk, P., Dyak, T., & Hrynyk, H. (2019). Software Development Risk Modeling. *IEEE 2019 14th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT 2019)*, (Vol. 2, pp. 134–137), 17–20 September, Lviv, Ukraine. Lviv: Lviv Polytechnic National University, 206 p. <https://doi.org/10.1109/stc-csit.2019.8929778>
- ISO 9001:2015 Quality Management System – Requirements. Retrieved from: <https://www.iso.org/standard/62085.html>
- ISO/IEC 25010. (2017). ISO/IEC 25000. Software and Data Quality. Retrieved from: <https://iso25000.com/index.php/en/iso-25000-standards/iso-25010?limit=3>
- ISO/IEC 9126. (1991). Information technology – Software product evaluation – Quality characteristics and guidelines for their use. Geneva: International Organization for Standardization, International Electrotechnical Commission, 136 p. (International Standard)
- ISO/IEC 9126-1:2001. (2022). Software Engineering – Product Quality. Part 1: Quality model. Retrieved from: <https://www.iso.org/standard/22749.html>
- ISO/IEC CD 25010.2. (2022). Systems and software engineering – Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuARE) – Product quality model. Retrieved from: <https://www.iso.org/ru/standard/78176.html>
- ISO/IEC TR 9126-2:2003 Software Engineering – Product Quality – Part 2: External metrics. Retrieved from: <https://www.iso.org/standard/22750.html>
- ISO/IEC TR 9126-3:2003 Software Engineering – Product Quality – Part 3: Internal metrics. Retrieved from: <https://www.iso.org/standard/22891.html>

35. ISO/IEC TR 9126-4:2004 Software Engineering – Product Quality – Part 4: Quality in use metric. Retrieved from: <https://www.iso.org/standard/39752.html>
36. Jones, C., & Bonsignour, O. (2012). *The economics of software quality*. Boston: Pearson Education, 588 p.
37. Karminskaya-Belobrova, M. V. (2012). Organizational structures of enterprise management. *BusinessInform*, 12, 192–195. [In Ukrainian].
38. Katrenko, A. V., & Pasichnyk, V. V. (2009). *Decision theory*: textbook stamped by the Ministry of Education and Science. Kyiv: BHV Publishing Group, 448 p. Retrieved from: <https://vlp.com.ua/node/7110>. [In Ukrainian].
39. Katrenko, A. V., & Pasichnyk, V. V. (2020). *Decision making: theory and practice*: textbook. Lviv: Publishing house "New World – 2000", 447 p. Retrieved from: https://ns2000.com.ua/wp-content/uploads/2019/07/Pryniattia_rishen-.pdf. [In Ukrainian].
40. Kharchenko, O., & Yatsishin, V. (2009). Development and management of software requirements using the software quality model. *Bulletin of Ternopil State Technical University*, 14(1), 201–207. [In Ukrainian].
41. Klas, M., Lampasona, C., & Munch, J. (2011). Adapting Software Quality Models: Practical Challenges, Approach, and First Empirical Results. *The 37-th EUROMICRO Conference on Software Engineering and Advanced Applications*, August 30 – September 2, 2011: Proceedings. Oulu (Finland), 341–348.
42. Maevsky, D. A. (2013). Theoretical and applied bases of quality assurance of dynamic information systems. *Doctoral Dissertation for Technical Sciences* (05.13.06 – Information technologies). Odesa: Odessa National Polytechnic University, 440 p. [In Ukrainian].
43. Mazza, R. (2009). Introduction to Information Visualization, University of Lugano Switzerland. Springer-Verlag London Limited 2009. 139 p. <https://doi.org/10.1007/978-1-84800-219-7>
44. Miguel, J. P., Mauricio, D., & Rodríguez, G. (2014). A review of software quality models for the evaluation of software products. *International Journal of Software Engineering & Applications*. Vol. 5. No. 6, 31–54.
45. Mikhailets, V. A., & Murach, A. A. (2010). Hörmander spaces, interpolation and elliptic problems: with preface. Yu. M. Berezansky. Kyiv: IM NAS of Ukraine, 370 p. [In Russian].
46. Mistrik, I., Bahsoon, R., Eeles, P., Roshandel, R., & Stal, M. (2014). *Relating System Quality and Software Architecture*. Elsevier Inc, 379 p.
47. Nazemi, K. (2014). Adaptive Semantics Visualization. Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktor-Ingenieurs. *Eurographics Association for Computer Graphics*. 360 p. Retrieved from: <https://diglib.eg.org/handle/10.2312/12076>
48. NIST/SEMATECH. (2012). e-Handbook of Statistics Methods. <https://doi.org/10.18434/M32189>
49. Pleskach, V. L., Zatonatska, T. H. (2011). *Information systems and technologies in enterprises*. Kyiv: Znannia. 718 p. Retrieved from: https://pidruchniki.com/1194121347734/informatika/analiz_yakosti_programnogo_zabezpechennya#42. [In Ukrainian].
50. Pomorova, O. V., & Hovorushchenko, T. O. (2011). Intellectual support for the process of assessing and forecasting the complexity and quality of software. *Bulletin of the National University "Lviv Polytechnic"*. Series: *Information Systems and Networks*, 717, 134–141. [In Ukrainian].
51. Pomorova, O. V., & Hovorushchenko, T. O. (2013). Modern problems of software quality assessment. Radio electronic and computer systems, 5, 319–327. [In Ukrainian].
52. Pomorova, O. V., & Ivanchishin, D. O. (2011). Research of quality assessment tools at different stages of software development. Bulletin of the National University "Lviv Polytechnic". Series: *Information Systems and Networks*, 717, 141–146. [In Ukrainian].
53. Pomorova, O. V., Hovorushchenko, TO, & Tarasek, J. (2010). Analysis and development of software quality metrics at the design stage. Bulletin of Khmelnytsky National University. Series: *Technical Sciences*, 1, 54–63. [In Ukrainian].
54. Pomorova, O., & Hovorushchenko, T. (2013). Intelligent Assessment and Prediction of Software Characteristics at the Design Stage. *American Journal of Software Engineering and Applications (AJSEA)*, 2(2), 25–31. Retrieved from: <https://article.sciencepublishinggroup.com/pdf/10.11648.j.ajsea.20130202.11.pdf>.
55. Ponomarenko, V. S., Pavlenko, L. A., Besedovsky, O. M., et al. (2012). Methods and systems of decision support in the management of environmental and economic processes of enterprises: Tutorial. Kharkiv: Publishing house KhNEU, 272 p. [In Ukrainian].
56. Prymak, V. M. (2008). *Management Decision Making: Tutorial*. Kyiv: Attica Publishing House, 240 p. [In Ukrainian].
57. Sanjay Kumar Dubey, Soumi Ghosh, & Ajay Rana (2012). Comparison of Software Quality Models: An Analytical Approach. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*. Vol. 2. Issue 2, 111–119.
58. Stephen R. Tiller. (2012, January). Organizational Structure and Management Systems. *Leadership and Management in Engineering*, 12(1), 20–23. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)LM.1943-5630.0000160](https://doi.org/10.1061/(ASCE)LM.1943-5630.0000160)
59. Sytnyk, W. F. (2004). *Decision Support Systems: Tutorial*. Kyiv: Publishing house KNEU, 614 p. [In Ukrainian].
60. Thomas L. Saaty. (1990, September). How to make a decision: The analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, 48(1), 9–26. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90057-I](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-I)
61. Voloshin, O. F., & Mashchenko, S. O. (2010). Models and methods of decision making: Tutorial for students. University. 2nd ed., Revised. and add. Kyiv: Kyiv University Publishing and Printing Center, 336 p. [In Ukrainian].
62. Volskaya, K. O. (2019). The procedure of evaluating the quality of accounting software. *Problems of Theory and Methodology of Accounting. Control and Analysis*, 2(43), 22–28. [https://doi.org/10.26642/pbo-2019-2\(43\)-22-28](https://doi.org/10.26642/pbo-2019-2(43)-22-28)
63. Voronin, A. N., Ziatdinov, Yu. K., & Kulinsky, M. V. (2011). Multicriteria tasks: models and methods: monograph. Kyiv: NAU Publishing House. 348 p. [In Russian].
64. Yakovyna, V. S., Fedasyuk, D. V., & Mamrokh, N. M. (2010). Software quality. *Software engineering*, 2, 24–29. [In Ukrainian].
65. Yakovyna, V. S., & Symetsl. I. (2021). Software defect prediction using neural network ensemble. *Scientific Bulletin of UNFU*, 31(6), 104–111. <https://doi.org/10.36930/40310616>

Yu. I. Hrytsiuk

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

FEATURES OF GIVING PREFERENCE TO THE CHARACTERISTICS OF THE SOFTWARE PRODUCT QUALITY MODEL

A system for giving preferences to the characteristics of the software product quality model has been developed. The system allows you to model the procedures for providing them with the appropriate criteria, as well as to determine the state of product quality at each level of the hierarchical structure of criteria. It is found that the system of giving preferences – the task of choosing an alternative between possible management decisions or its justification. This is the analysts statement that one alternative will be given more advantage over the other. It is established that the product quality model is the main attribute of the software quality assessment system (software). The model defines characteristics that must be taken into account when establishing the properties of the software. It is revealed that the utility function from the mathematical point of view is a formal description of the analyst's target settings. The settings determine the level of benefit from the provided by the analyst preference for one of the project products depending on its

characteristics. A method of giving preferences to the relevant product quality criteria through its utility function by applying interpolation of tabular functions has been developed. The method has made it possible to develop an approach to modelling the procedure of giving preferences to one of the parameters of the management system. Mathematical dependencies have been developed, which make it possible to present an additive utility function for two, three or more parameters, as well as to model the procedures for giving preferences to one of these parameters. With help of the standard software product quality model for the first time a hierarchical structure of software quality criteria was developed. This structure, in contrast to the existing ones, allows to obtain an aggregate indicator of the current quality of software not for two, but for three input parameters. The proposed structure made it possible to build a software quality management system based on input criteria and current indicators. A method for selecting tensile software quality options based on three criteria, which can be given different preferences, has been developed. The method made it possible to determine the current state of the software quality management system according to the relevant indicator, taking into account the cost of system development. An example of software quality management system implementation is given. The peculiarities of application of the method of selection of tensile options according to three criteria are illustrated. The main features of the transition of the software quality management system from one state to another are clarified. The potential costs for carrying out such a transition have been identified.

Keywords: priority; the relationship of preference; plural of acceptable alternatives; software quality; quality criteria and indicators; hierarchical structure; management system; making managerial decisions.

Ознайомитись з вимогами до авторів статей можна на сайті видання:

<https://www.nv.nltu.edu.ua>

Підп. до друку 05.07.22. Формат 60×84/8. Папір офсетний. Друк офсетний.
Ум. др. арк. 11,86. Ум. фарбо-відб. 12,32. Облік.-вид-арк. 12,09. Тираж 150 прим.
Зам. № 09/2022

Видавець: Редакційно-видавничий центр НЛТУ України
79057, м. Львів, вул. Генерала Чупринки, 103
Тел.: (032) 240-23-50

Email: nv@nltu.edu.ua <https://www.nv.nltu.edu.ua>

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до
Державного реєстру видавців, виготовників і розповсюджувачів видавничої продукції
(Серія ДК, № 2062 від 17.01.2005 р.)

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації
(Серія КВ, № 11889-760ПР від 26.10.2006 р.)

Згідно з наказом Міністерства освіти і науки України від 17.03.2020 р., № 409,
"Науковий вісник НЛТУ України" належить до Переліку наукових фахових видань України (категорія Б),
в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора
і кандидата наук за галузями науки – біологічні, сільськогосподарські, технічні та економічні
й такими спеціальностями: 051 – економіка; 091 – біологія; 101 – екологія; 187 – деревообробні та меблеві
технології; 205 – лісове господарство; 206 – садово-паркове господарство, а наказом від 2.07.2020 р.,
№ 886 – такими спеціальностями: 122 – комп'ютерні науки; 126 – інформаційні системи та технології.